

中國科學教科書  
初中物理學

上 冊

楊孝述 胡剛復 胡慤風  
合 編

中國科學圖書儀器公司  
印 行

中國科學教科書

初中物理學

上冊

楊孝述 胡剛復 胡慤風

合編

中國科學圖書儀器公司

印行

中國科學教科書  
初中物理學  
上冊

一九四八年九月初版  
一九五〇年八月三版

版權所有 翻印必究

編輯者 楊孝述 胡剛復 胡慤風

發行人 馬 蔭 良

發行所 中國科學圖書儀器公司  
印刷所 上海(18)延安中路537號

分發行所 中國科學圖書儀器公司  
北京 南京 廣州 重慶 漢口 瀋陽

## 編 輯 大 意

1. 編排本書，處處顧到初中學生之經驗，興味，與需要，故所選教材以能引導學生了解其日常所見之物理現象為範圍。

2. 全書編次重在能適於教學，即以最簡易之教材列於最先，例如力學從秤與輪軸等簡單機械入手，不獨因其原理簡單，且與學生在物質界之經驗最為接近，實物試驗隨手可取，日常應用又極繁廣，最易引起初學者之興趣。

3. 本書對於基本原理，不厭反覆求詳，便於學生課外自修，俾教師於上課時得有充分之時間，從事問答及習題之演算。

4. 本書每討論一問題，必引幾種一般學生所習見之事物為先導，而後引到一種普通原理，再舉實例以示原理之如何應用。蓋惟如是，方能免枯燥無味之弊。

5. 本書教材大綱，以初中實際程度為取材標準。

6. 質量與重量之分別，雖不必在初中教科書中詳細討論，但編者以為欲使學生有正確的物理觀念，不可不於入手之初，略予提醒；故特在力與動之部分，88至91四節中，特加入質量與力之陳述。如教師以為對於學生有困難，或因時間不足，可酌量刪去，不致妨及前後之連貫。

7. 本書特別列入“能”之一章，則以“能量不滅”定律為科學中最基本之一種概論。近來國人中頗有妄擬不合理之永動機

識，以爲心得，送請學術機關審查，甚且喧傳報章，是皆坐不明基本原理之弊，故宜及早有以補救之。

8. 本書課文每約二三面隨附若干習題，自成一段落，故亦可視爲一課。全書約分八十課。平均以三小時授二課，適可供給一學年之用。至於所附習題，計算與問答並重，藉以使學生熟悉基本原理。每章之末，特加復習題若干則，以資復習。

9. 本書譯名，根據近年來公定之物理學名詞，隨附英文原名，爲進求西籍之預備。

10. 本書掛漏之處在所難免，所望海內博雅指教，俾得於重版時修正，則幸甚矣。

# 目次

## 第一章 簡單機械 . . . . . 1

- 1. 機械的功用 2. 權度的單位 3. 槓桿 4. 桿秤和天平 5. 獨輪小車 6. 鋤子 7. 槓桿的普通原理 8. 重心 9. 輪軸 10. 滑輪
- 11. 功 12. 功的原理 13. 斜面 14. 劈 15. 螺旋 16. 功與功率
- 17. 馬力 18. 摩擦 19. 效率

## 第二章 水 . . . . . 24

- 20. 液體 21. 水能傳力的實驗 22. 水壓機 23. 力與壓力 24. 重  
度及比重 25. 密度 26. 比重表 27. 水重所生的壓力 28. 水的  
上壓力 29. 水的旁壓力 30. 壺中的水平 31. 水的浮力 32. 阿  
基米得原理 33. 阿基米得原理的解釋 34. 浮體 35. 阿基米得原  
理之公式 36. 測固體比重法 37. 測液體比重法 38. 城市給水
- 39. 救火水栓及放嘴 40. 水壓的量法 41. 水力發動機 42. 液  
體的分子力 43. 毛細現象

## 第三章 空氣 . . . . . 46

- 44. 氣體與液體的高別 45. 空氣的重量 46. 空氣的壓力 47. 托  
里拆利試驗 48. 巴斯噶實驗 49. 氣壓計 50. 氣壓計的用途
- 51. 空氣的壓縮性 52. 壓氣機 53. 空氣的體積與壓力的關係
- 54. 空氣唧筒 55. 大氣的高度 56. 空氣的浮力 57. 抽水唧筒
- 58. 虹吸管 59. 浮沈子 60. 氣體的擴散 61. 氣體動力論 62. 液  
體吸收氣體 63. 固體吸收氣體

## 第四章 力之合成及分解 . . . . . 64

- 64. 力的量法 65. 力的圖示 66. 一直線上的二力的合力 67. 平  
行四邊形定律 68. 合力的幾個實例 69. 力的分解 70. 拉繃的船
- 71. 帆船怎樣能逆風行駛 72. 飛機怎樣能騰空 73. 坡上的車

第五章 力與應變	75
74. 材料的強弱 75. 彈性 76. 虎克定律	
第六章 力與運動	79
77. 平均速度 78. 變速 79. 加速度 80. 等加速運動 81. 落體 82. 落下是等加速運動 83. 重力所生的加速度之值 84. 牛頓運動 定律 85. 牛頓第一定律——慣性 86. 離心力 87. 牛頓第二定律 ——加速度 88. 動量與牛頓第二定律 89. 質量與重量 90. 力之 單位 91. 動量與力之衝量 92. 牛頓第三定律——互作用	
第七章 能	104
93. 能 94. 動能與位能 95. 動能的計算 96. 能的單位 97. 位能 的計算 98. 能的轉變 99. 能量不滅 100. 永動機	
第八章 溫度與膨脹	112
101. 溫度 102. 溫度計 103. 溫度標 104. 水銀溫度計與酒精溫 度計 105. 固體的膨脹 106. 線脹係數 107. 熱脹性的應用 108. 液體與氣體的膨脹 109. 查理定律 110. 絕對溫度	
第九章 熱的傳遞	122
111. 固體的傳導 112. 液體及氣體都是不良導體 113. 傳導與感 覺 114. 對流與通風 115. 輻射 116. 熱水瓶	
第十章 熱量	128
117. 熱容量 118. 比熱 119. 熔解 120. 凝固 121. 沸騰 122. 氣化熱 123. 蒸發生冷效	
第十一章 空氣中的水分	135
124. 空氣中的水蒸氣 125. 露點 126. 相對濕度 127. 露霧雨雪	
第十二章 熱與功	139
128. 功轉變為熱 129. 熱轉變為功 130. 汽機 131. 內燃機 132. 熱的來源	

## 第一章

### 簡單機械——槓桿及斜面

1. 機械的功用。 初民工作，只靠他們的體力。人類因經驗與思想的進步，漸知怎樣利用器械來節省自己的體力。例如用棍撬起重物；用斧劈開樹柴；把河中的巨木在斜面上滾上岸；舟子張帆，利用滑車與繩索，升帆到高桅的頂上。凡這種撬棍，劈斧，斜面，滑車等簡單的器械，用來幫助人力而便利工作的，都稱為簡單機械 (simple machines)。人類的思想愈進步，機械的構造愈複雜，甚至助力很大，工作很巧，進而利用天然的力，如風，水，蒸氣，煤氣，或電來完全代替人力。使近世的生產，運輸，交通等偉大的工程，都靠着天然力而發展；使人類的活動更便利，更宏大。文明人所以異於野蠻人的一端，就是能利用天然力來幫助他們生活的進步。倘使人類的一切工作，只靠着自己的體力，決不會看到今日的文明。所以對於使用各種機械的知識，在我們有重大的價值及意義。

2. 權度的單位。 欲求正確的知識，須先明瞭怎樣去比較物量的長短，多寡，與輕重。用作比較的標準量，稱為權度的單位 (units of weights and measures)。現今世界科學家所通用的一種權度制度，名米制 (metric system)。其中習用的幾種



單位之名稱如下。

(a) 長(length)的單位為米(meter, 簡作 m)。  $\frac{1}{100}$  米為厘米(centimeter, 簡作 cm)。  $\frac{1}{1000}$  [米]為毫米(millimeter, 簡作 mm)。 1000 [米]為千米(kilometer, 簡作 Km)。 [厘米]的長度如下圖所示。



圖 1. [厘米]的長度。

(b) 權量(weight, 亦稱重量)的單位為仟克(kilogram, 簡作 Kg)。  $\frac{1}{1000}$  [仟克]為克(gram, 簡作 g)。  $\frac{1}{1000}$  克為毫克(milligram, 簡作 mg)。

(c) 時(time)的單位為秒(second)。 60 [秒]為 1 分(minute), 60 [分]為 1 小時(hour), 24 [小時]為 1 日(day)。

從以上三種單位, 可以推出任何其他單位。 例如用每邊 10 [厘米]來做成一個立方的容器, 這個容器就有一升\*(liter)的容量(capacity), 即 1000 [立方厘米](cubic centimeter, 簡作 cc)的容量。

1 [升]的純水, 在百分溫度計 4° 時的重量, 適為 1 [仟克]。 這個事實並非偶然。 我們因為希望各種權度量之間, 有合理的簡單關係, 並且因為知道純水在百分溫度計 4 度時的重量最大, 所以故意造出 1 [仟克]的重量, 等於 1 [升]純水在那種標準狀況時的重。 在米制中, 長與權量都是十進的, 而且彼此簡便的關

\*部頒物理學名詞譯 liter 為 [升], 但此非中國的舊 [升], 讀者應注意。

係，爲別種權度制所不及。

### 習 題 一

1. 化 3.56 [米] 爲 [厘米]。
2. 化 2540 [克] 爲 [仟克]。
3. 化 5.5 [立方米] 爲 [升]。
4. 國民政府公布的市用制，1 [市尺] =  $\frac{2}{3}$  [米]，1 [市升] = 1 [升]，1 [市斤] =  $\frac{1}{2}$  [仟克]。1 [立方市尺] 的水重多少 [市斤]？
5. 某生身高 5 [呎] 10 [吋]，試化爲 [米]。（1 [英尺] = 12 [吋]，1 [吋] = 2.54 [厘米]）。
6. 火車二等車乘客，從前攜帶行李 120 [磅]，現在已改爲 60 [仟克]，相差多少？（英制 1 [磅] = 16 [噶]，1 [仟克] = 2.2 [磅]）。

3. 槓桿。機械之最簡單者要算槓桿 (lever)。這是一根棍子，用來擡起重物 (圖 2)。凡應用槓桿，必先預備一個很堅固的支撐點，稱爲支點 (fulcrum)。其次那根槓桿必須有較長的柄，使我們得用很小的力量，起很大的重物。我們施力的點叫做着力點，或簡稱力點。加重的點叫做重點。力點離開支點愈遠，愈容易起重。所以要研究槓桿的作用，必須注意力點，支點，重點三者之間的相對位置。

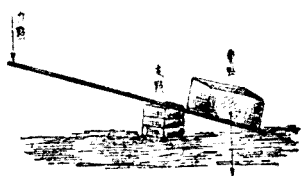


圖 2. 用槓桿擡重物。

槓桿通常分爲三類。(1) 支點在力點與重點之間者。(2) 重點在支點與力點之間者。(3) 力點在支點與重點之間者。

#### 4. 槓桿與天平。 桿秤及天平是第一類槓桿的代表。 圖 3

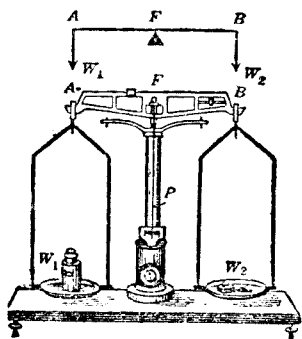


圖 3. 天平——等臂槓桿。

爲一天平，桿的中點支於柱頂的一稜角上。桿的兩端各懸一盤，左盤盛物，右盤盛砝碼。支點離懸盤的二距離相等。若以二相等之重，同時加於二懸盤上，則桿必成水平，如圖 3 所示，故稱天平 (balance)。

桿秤或戥秤的支點，不在桿的中點，故可稱做不等臂槓桿。我們從稱物的經驗，知道不相等的兩重，同

時分置於槓桿支點兩邊相等的距離，則較大的重有使槓桿傾側之勢。又，若把相等的重，分置於支點兩邊不相等的地方，則距離較長的一邊，有使槓桿傾側之勢。故用兩不相等的重，要使槓桿平衡，惟有置較大的重於較短的距離，而置較小的重於較長的距離。

用一根米尺，支於中點。懸 1 [仟克] 的重 ( $W_1$ ) 於支點之左 40 [厘米] (A)。再懸 2 [仟克] 的重 ( $W_2$ ) 於支點之右，而求尺之平衡，則  $W_2$  必在距支點約 20 [厘米] 之 B 點上，就是  $BF$  爲距離  $AF$  的一半。

據試驗，可知不等臂槓桿的平衡條件，是：

一邊的力，乘其力點至支點的距離，等於他一邊的重，乘其重點至支點的距離。

例如圖 4 中，

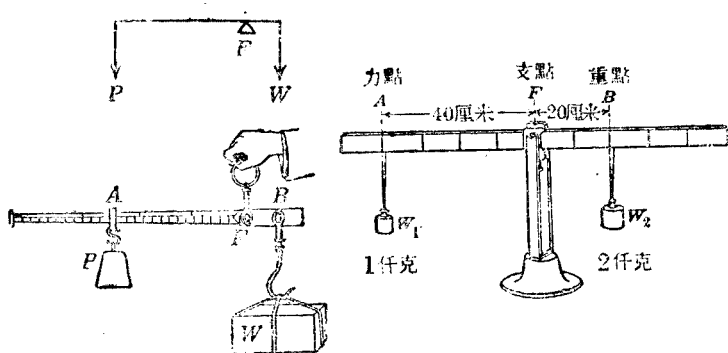


圖 4. 不等臂槓桿.

$$W_1 \times AF = W_2 \times BF,$$

即 
$$W_1 : W_2 = BF : AF$$

就是說，力及重與其至支點的距離互成反比例。

剪刀，撬棍，鉗，櫓，都屬這類槓桿。

5. 獨輪小車。一輛手推的獨輪小車(圖 5)，就是第二類槓桿的極好例子，亦可稱做單臂槓桿。獨輪的軸(F)就是槓桿的支點。槓桿上所載的重(W)有使桿向下轉動的趨勢；手提的力(P)有使桿向上轉動的趨勢。欲求槓桿平衡，這二種相反的趨勢必須相等。

用一根米尺(圖 5 右)支其一端於 F，使能自由轉動。懸 2 [仟克]的重(W)於 A，距支點 50 [厘米]。若於距支點 100 [厘米]的 B 點上用秤來稱，所得的力(P)約為 1 [仟克]。(尺本身的重未計)。

據實驗可知，使這槓桿向下轉動的趨勢，以重乘其重點至支點的距離來量計；使其向上轉動的趨勢，以力乘其力點至支點的距離來量計。故槓桿在平衡時，

$$W \times AF = P \times BF.$$

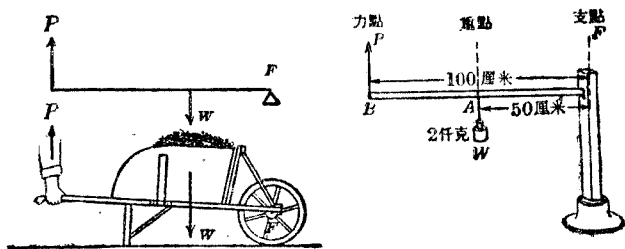


圖 5. 第二類槓桿與獨輪小車。

圖 5 中，倘把 2 [仟克] 的重  $W$  掛於  $B$  點，而在  $A$  點上用秤來稱，則所得的力 ( $P$ ) 當為  $2 \times 100/50 = 4$  [仟克]。又倘把這槓桿支於  $B$  點，重仍懸於  $A$  點，而在原支點 ( $F$ ) 上用秤來稱，則所得的力 ( $R$ ) 當為  $2 \times 50/100 = 1$  [仟克]，就是支點 ( $F$ ) 上所受的力。故不論其重與力的位置如何，或用那一端做槓桿的支點，原理是相同的。又可知在任一種情形下，

$$R + P = W.$$

6. 鑷子。裁縫打鈕結，或銀匠鎔金箔的鑷子 (圖 6)，是第三類槓桿的代表。在此類槓桿中，力點處於重點及支點之間，平衡時的條件公式均與前二類相同。表面上看來，用力大而力效小，似乎並無好處。但細細一想，假使我們要檢起一個很輕微

而嬌嫩的物體，用力當然不能過猛，故力效較小，反是好處。我們手臂上的肌肉(圖7)亦是如此構造，故能運用自如。

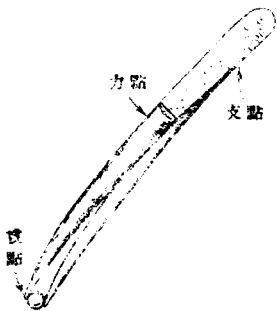


圖6. 第三類槓桿與錘子。

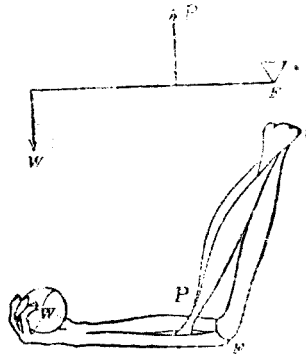


圖7. 手臂。

## 習題二

1. 試在下圖所列各器上指出力點，重點，與支點。

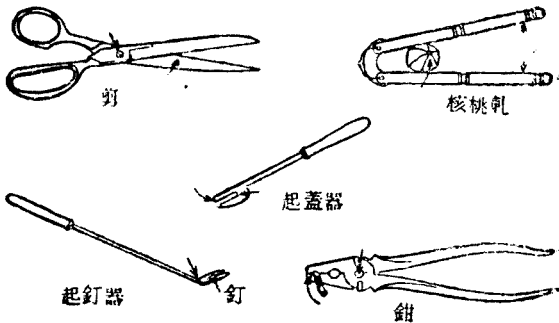


圖8. 槓桿的幾種應用。

2. 試就你所知的，說出槓桿應用的例子六個。

3. 怎樣應用槓桿原理於划船的槳，榨甘蔗的榨牀，夾取食物的筷子？
4. 用剪刀剪硬紙板，為何須把剪口張開而在靠近支點處剪？
5. 搨竹竿挑物於背後，物應近肩，還是應近竿梢？
6. 用一根 2 [米] 長的棍來撬起一個 250 [仟克] 的重，置支點於距重 15 [厘米] 的地方，需用多少力？（有二種解法。）

7. 槓桿的普通原理。圖 9 是一輛手推小車，上裝一箱，重  $W_1$ ，又一桶，重  $W_2$ ，倘不計車身的重，求手提的力  $P$  與支點 ( $F$ ) 上的力  $R$ 。

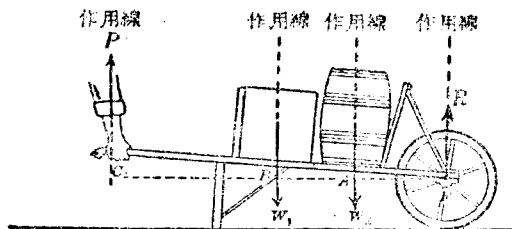


圖 9. 載二重的貨車。

前兩節已經說過，一個力能生轉動，須有二個要件：(1) 力的量，(2) 力的作用線（看圖 9）至支點的垂直距離。這二者的相乘積，特稱為力矩 (moment of force)。欲求  $P$  力，只須計算  $W_1$  與  $W_2$  對於支點  $F$  的二個力矩。這二個力矩之和，必須等於使車身轉於反對方向的  $P$  力的力矩。就是

$$P \times CF = W_1 \times BF + W_2 \times AF.$$

（假定  $CF$  與作用線垂直。）

又從第 5 節所述試驗的結果，知支點 ( $F$ ) 上所受向上的力  $R$

與手提力  $P$  之和，必等於向下的兩重力 ( $W_1$ ) 與 ( $W_2$ ) 之和。就是

$$R + P = W_1 + W_2$$

上邊二個公式通用於各種槓桿，故我們可陳述槓桿的普遍原理如下：

凡槓桿在平衡狀況 (equilibrium) 時，

(1) 使其轉動於一方向的諸力矩之和，必等於使其轉動於反對方向的諸力矩之和。

(2) 在一方向內的諸力之和，必等於在反對方向內的諸力之和。

8. 重心。前論各種槓桿，沒有計入槓桿自身的重，但在實用上不可漠視。現欲討論怎樣把槓桿的重加入計算。

載兩個重的槓桿能支在兩重間的一點而平衡 (圖 10)，這個支點亦可稱為這兩重的重心 (center of gravity)。

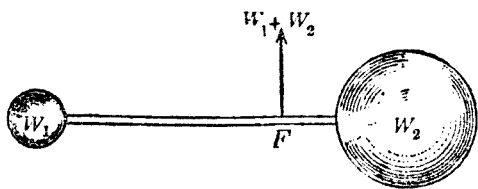


圖 10. 兩重的重心。

這支點上的力，可視為其全重量集中於此的力。同樣，一載許多個重的槓桿，包括它本身的重，在平衡時，它的支點就是這許多個重的重心。概括地說，凡物體的重，可視為由無數小重集合而成，故一物體的重心，可視為其全重量的集中點。



若物體具簡單的形狀與均勻的質料，其幾何的形心與它的重心相合。若是形狀不整，或是質料不勻，其幾何的形心就不是重心。例如童子軍用的軍棍，求其重心最簡易的方法，是把棍

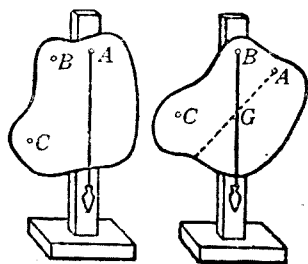


圖 11. 求重心法。

平衡於一刀口之上。那時的支點，便是重心的所在。若是一塊薄的平板，可就板上近邊處任何二點(圖 11, A, B)先後掛起，同時在懸點上垂掛一錘線於板的前面。每次依錘線的位置繪一直線於板上。先後所繪二線的相交點，就是板的重心。

### 習 題 三

1. 甲乙二孩用桿扛一隻重 10 [仟克]的箱，兩肩相距 2 [米]，箱距甲孩 120 [厘米]，問每人負重多少？

2. 一根竹竿長 6 [米]，重 3 [仟克]。若懸 2 [仟克]的重於其一端，而支於距同端 1.5 [米]的一點，則竿適平衡。求這竿的重心。

3. 一人持鏟運煤，左手執柄，右手執柄端，兩手相距 40 [厘米]。倘鏟與煤的重心距右手 1 [米]，共重 10 [仟克]，那麼他的右手下推的力多大？又他的左手上拉的力多大？

4. 用爪鏟拔釘如圖 12。試在圖上繪出在相反方向的一個力矩。

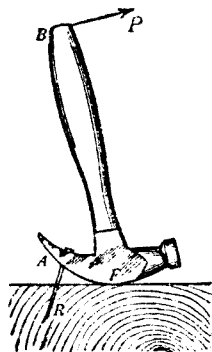


圖 12. 爪鏟。

9. 輪軸。 輪軸(wheel and axle)有一輪  $H$  (圖 13), 固着於一軸  $Y$ , 共轉於同一軸線之上。 井上的轆轤(圖 14)亦是輪

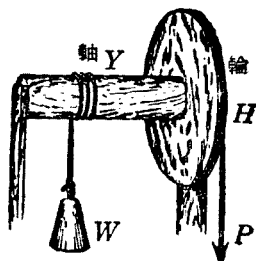


圖 13. 輪軸。

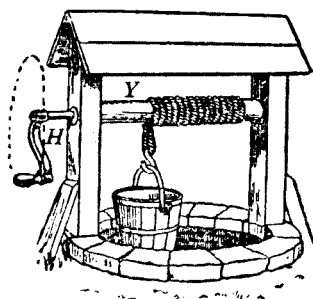


圖 14. 井上轆轤。

軸, 其柄端行於圓上, 故搖柄與輪的功用相同。圖 15 是一個輪軸的端視圖,  $F$  點代表軸線, 就是輪軸的支點, 欲起的重  $W$  作用於軸周, 重臂就是軸半徑  $r$ 。起重的拉力  $P$  作用於輪周或搖柄, 力臂就是輪半徑或柄的長  $R$ 。從這圖看來, 我們知道: 輪軸是一個變相的不等臂槓桿。故從槓桿的原理, 得

$$\text{重} \times \text{軸半徑} = \text{力} \times \text{輪半徑}$$

即 
$$W \times r = P \times R$$

或 
$$W : P = R : r$$

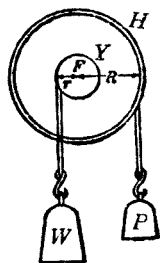


圖 15. 輪軸。

起錨盤(圖 16)與起重機(圖 17)都是輪軸的應用。這起重機是一個雙輪軸, 用力搖曲柄而轉動軸上的小齒輪, 賴此傳力於大齒輪而轉動第二軸。

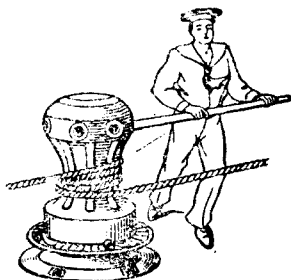


圖 16. 起錨盤。

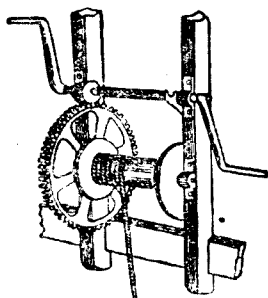


圖 17. 起重機。

10. 滑輪。滑輪(pulley)是一個緣上有槽的輪，能自由轉動於一個固裝在輪殼內的軸上。並且有一條柔韌的索經過輪緣的槽。若輪殼的位置是固定的，則稱為定滑輪(圖 18)。把等重或等力加於索的兩端，則因它們距支點的距離各為輪的半徑，二力必互相平衡，就是拉力  $P$  等於重  $W$ 。故定滑輪沒有省力的利益，但是可用以改變起重的力的方向，而得工作上的便利。這種滑輪是一個等臂槓桿的變相，是顯而易見的。

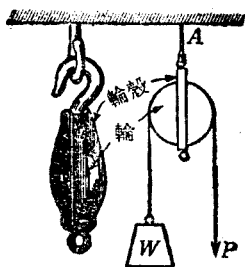


圖 18. 定滑輪。

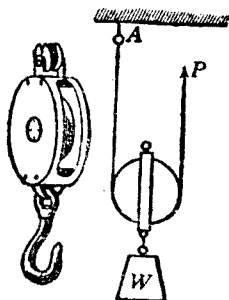


圖 19. 動滑輪。

逆着於所起的重而與重同時升降的滑輪，稱為動滑輪(圖 19)。連於這動滑輪上的重  $W$  有二根索維持着，故這裏的拉力  $P$  不等於重，而只等於  $W$  的一半，就是

$$P = \frac{1}{2}W, \quad \text{即} \quad W/P = 2$$

重或受制的抵抗力，與致用力的比率，稱為機械利益(mechanical advantage)。例如獨個單定滑輪的機械利益為 1，獨個動滑輪的機械利益為 2。

二個輪殼內各裝幾個輪，配成的滑輪組，可增加機械利益。例如圖 20 中，一對三輪滑輪上的重  $W$ ，有六根索提着，倘不計滑輪自身的重與摩擦力，每根索上的拉力為重  $W$  的六分之一。因定滑輪的機械利益為 1，故拉力  $P$  等於每根索上的拉力，就是  $P = \frac{1}{6}W$ ，故這滑輪組的機械利益  $W/P$  為 6。倘不計摩擦與動滑輪的重，用 50〔仟克〕的力可起 300〔仟克〕的重。

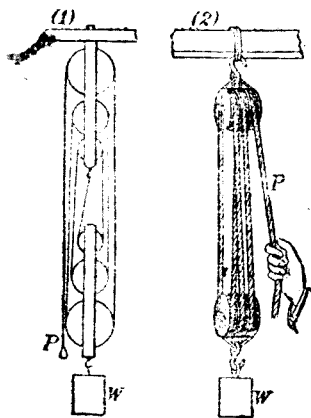


圖 20. 滑輪組。

概括地說，任何滑輪組的機械利益，等於提着重量的索數。

#### 習 題 四

1. 我國鄉間農具，應用輪軸原理的很多，試就所見的說幾件。
2. 要用 40〔仟克〕的力拉住 360〔仟克〕的重，輪與軸的直徑應有怎樣

的比？它的機械利益是多少？

3. 四個水手用起錨盤起一重 1800 [仟克] 的鐵錨，捲筒的直徑是 22 [厘米]，若手推的棍各長 2.2 [米]，每人用力多少？

4. 用二個定滑輪升起重 100 [仟克] 的桶(圖 18)。求馬的拉力。

5. 用一個三輪定滑輪固定於桅頂，一個二輪動滑輪連於帆頂，索的一端繫於動滑輪的殼上。若帆的重是 160 [仟克]，須拉力多大？試繪繩索繞過滑輪的圖，並言其機械利益。



圖 21.

6. 有一輛汽車陷入泥中，今欲用一匹馬，一根索，一對三輪滑輪，把車拉出。若這匹馬能施 200 [仟克] 的拉力於索上，一個輪殼繫於樹上，其他一個輪殼繫於車上，則所能制勝的抵抗力是多大？把索結於定滑輪與把索結於動滑輪，有何分別？

11. 功。機械的任務在作功(work)。在科學上，功的意義為制勝抵抗。例如要從地板舉箱至桌上，或在地上推箱。倘舉不起或推不動，雖用力至猛，亦不得謂為作功。換句話說，功是以成就來計量，而不以勞苦或疲乏來計量的。

舉 1 [仟克] 的重，升高 1 [米]，稱為做 1 [仟克·米] (kilo-gram-meter) 的功。若舉 3 [仟克] 升高 5 [米]，或舉 5 [仟克] 升高 3 [米]，都稱為做 15 [仟克·米] 的功，用算式來表示，則

$$\text{功[仟克·米]} = \text{力[仟克]} \times \text{距離[米]}$$

較小的單位則有〔克·厘米〕(gram centimeter)等。

在英國制中，功的單位為〔呎·磅〕(foot pound)。

所應注意的，其距離的量計，須在力所作用的方向，就是力與距離須在同一的方向。例如一個體重 60〔仟克〕的人，登 1000〔米〕高的山，因體重向下，故不論山路怎樣曲折險阻，達於山巔時，他所完成的功為重力乘在體重方向內的距離，就是

$$60 \text{ [仟克]} \times 1000 \text{ [米]} = 60,000 \text{ [仟克·米]}。$$

**12. 功的原理。** 前述輪軸或滑輪可用小力起大重。我們現欲從功的方面推考這種機械為何能省力。輪軸(圖 15)旋轉一次，力( $P$ )下降的距離是  $2\pi R$ ，重( $W$ )上升的距離是  $2\pi r$ 。故輪軸上輸入的功是  $P \times 2\pi R$ ，輸出的功是  $W \times 2\pi r$ 。但輪軸為變相的槓桿，依槓桿的原理，

$$P \times R = W \times r。$$

故

$$P \times 2\pi R = W \times 2\pi r。$$

可見在一機械中，若不計摩擦力的損失，功的輸入(input)等於功的輸出(output)。簡言之，

$$\text{輸入} = \text{輸出}，$$

是功的原理。輪軸雖能省力，但須犧牲距離。就是機械雖能省力，而決不能省功。

再就圖 20 的滑輪組而論，力  $P$  下降  $d$ 〔尺〕，重  $W$  因有 6 根索提着，故僅升高  $\frac{1}{6}d$ 〔尺〕。依功的原理， $P \times d = W \times \frac{1}{6}d$ ，

即  $W/P = 6$ ，與前所得的結果相同。

13. 斜面。 不容易舉起的重桶，每藉斜攔的木板（圖 22 右）而升起，這是斜面（inclined plane）的一例。由經驗知道，板的斜度愈大，起重時用力亦愈大。 設用力  $P$ 〔克〕，起重  $W$ 〔克〕



圖 22. 斜面。

（圖 22 左），從斜面的底到頂上。 重被升高  $H$ 〔厘米〕，故在重上做的功是  $WH$ 〔克·厘米〕。但重在斜面上行動  $L$ 〔厘米〕時，力  $P$  亦行動  $L$ 〔厘米〕，故這力所做的功是  $PL$ 〔克·厘米〕。若不計摩擦力，依功的原理，得

$$P \times L = W \times H.$$

或  $P/W = H/L$ 。在道路上，這  $H/L$  的百分率，稱為坡度（grade）。坡度愈小，上坡愈省力，山上築路，盤旋曲折，就是這個道理。

14. 劈。 劈（wedge）是一個雙斜面，用以裂物，例如伐木之斧（圖 23）。 劈角愈銳，裂物愈易。但因摩擦力影響於劈的作用甚大，故對其致用力與抵抗力的關係，難得簡單的結論。 凡刀、鑿、釘、針等，都屬於這種機械。

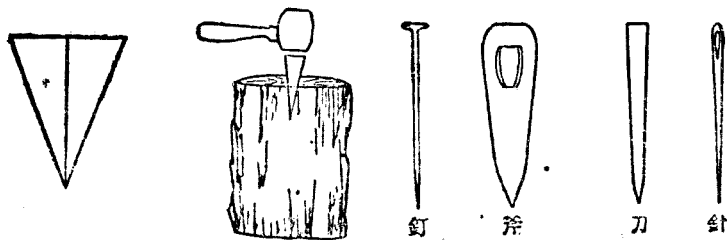


圖23. 劈

### 習 題 五

1. 力矩與功都是以力乘距離來量計的，怎樣分別？
2. 一小孩用 10 [仟克] 的力（與地平行），在平地上推動一隻重 50 [仟克] 的箱，共行 10 [米]。一個大人把這箱從地上舉高 2 [米]。誰做的功大？
3. 今欲利用一塊 4 [米] 長的板，把一個 1000 [仟克] 重的桶，升到一座 1 [米] 高的臺上。求所需平行於斜面的力。
4. 某孩能用 40 [仟克] 的力推物。今欲滾 100 [仟克] 重的桶，上升至 1.2 [米] 高的臺上，他需要一條多長的板？

### 15. 螺旋. 金工木工所用的螺釘與螺栓(圖24,25), 是螺

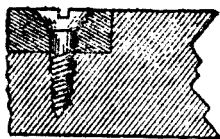


圖24. 螺釘.

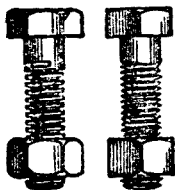


圖25. 螺栓.



旋(screw)中最常見的例。用一張直角三角形的紙,以其底邊垂直於一圓柱(例如鉛筆)的軸線,而把紙捲繞於圓柱上,這三角形的斜邊就捲成螺紋(thread)(圖 26)。兩條相鄰螺紋間平行

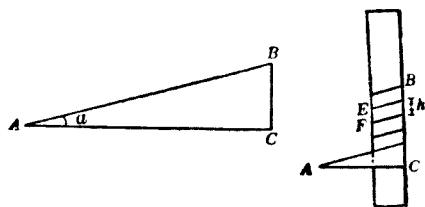


圖 26. 螺旋是捲繞的斜面。

於軸線的距離,稱為螺距(pitch)。螺旋是斜面的變相,是顯而易見的了。

螺旋的機械利益甚大。例如起重螺旋(圖

27), 往往用以舉起房屋。施力於柄端, 推柄轉動螺旋一周, 則放在螺旋頂上的重升高一螺距。設柄端之力為  $P$ , 柄長為  $r$ , 所升之重為  $W$ , 螺距為  $p$ , 則轉柄一周, 螺旋的功的輸入為  $P \times 2\pi r$ , 功的輸出為  $W \times p$ 。依功的原理, 若不計摩擦力,

$$W \times p = P \times 2\pi r$$

即  $W/P = 2\pi r/p$ , 這就是螺旋的機械利益。

螺旋為斜面所捲成, 而在其斜面上的重或抵抗力則又須賴槓桿而推進, 故螺旋實由斜面與槓桿組合而成。

螺旋的另一種應用為滌微計(micrometer)(圖 28)。它的螺距極小, 例如 1 [毫米]。螺旋捻頭(D)的圓周上刻劃若干等分, 例如 100 分。若把螺頭旋動  $\frac{1}{100}$  轉, 則螺身進退僅 0.01 [毫米], 故可用以量極精密的小距離。

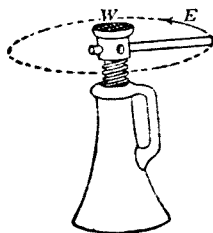


圖 27. 起重螺旋。

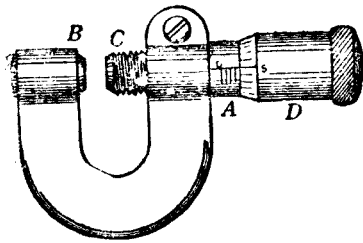


圖 28. 測微計.

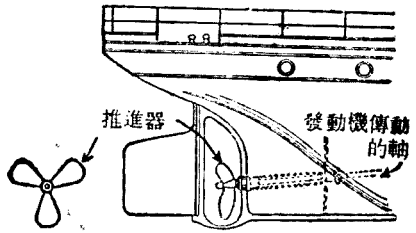


圖 29. 推進器.

使輪船或飛機進行的推進器，又稱螺槳 (propeller) (圖 29)，亦是螺旋的作用，這是我們平常所想不到的。推進器有二塊至四塊葉板，固着於一根長軸的一端，船上的發動機連於這軸的另一端而引軸轉動。因其轉動甚速，水隨葉板之動而成旋紋，葉板向後推水，因而使輪船前進。葉板在水中向前旋進，一如螺釘之在木中旋進。

### 習 題 六

1. 用一起重螺旋舉 1000 [仟克] 的重，螺旋頂上的柄從螺旋軸線伸出 46 [厘米]。若螺身上每 [厘米] 有 2 螺紋，求柄端上所需的力。

2. 在一壓書機 (圖 30) 中，螺旋的螺距為  $c$  [毫米]，手輪的半徑為 15 [厘米]。若在輪緣上施以 20 [仟克] 的拉力，書上所受的壓力多大？

3. 一具測微計的螺距為  $\frac{1}{2}$  [毫米]，螺頭圓周上共分 100 等分。今用以計量一根極細的銅絲，查得螺頭從零位轉到 75，問這銅絲的直徑是幾 [毫米]？

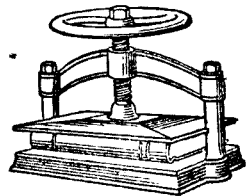


圖 30. 壓書機.

**16. 功與功率。** 一個小孩攜 20 [仟克] 的重, 在 1 [分] 鐘內登 5 [米] 高的樓。 一個小孩亦攜 20 [仟克] 的重, 但在半 [分] 鐘內登這樓。 這兩孩所作的功, 與時間無關, 同為 100 [仟克·米]; 所可比較的, 小孩工作慢, 為每 [分] 鐘 100 [仟克·米], 大孩工作快, 為每半 [分] 鐘 100 [仟克·米], 就是每 [分] 鐘 200 [仟克·米]。 故要比較二個人或二部機器的本領誰大, 不是比較它們能夠作功多少, 而是比較它們作功的快慢。 作功的速率, 稱為功率 (power)。 用算式來表示, 則

$$\text{功率} = \frac{\text{功}}{\text{時間}} = \frac{\text{力} \times \text{距離}}{\text{時間}}$$

**17. 馬力\*。** 馬力 (horsepower) 是英國制中功率的單位。 汽機發明者瓦特氏 (Watt) 嘗試驗許多馬匹作功的快慢。 其所得的結果, 是平均一 [匹] 馬每 [分] 鐘能做 33,000 [呎·磅] 的功, 或每 [秒] 鐘做 550 [呎·磅] 的功, 這稱為 1 [馬力]。

$$[\text{馬力}] = \frac{\text{每}[\text{分}] \text{鐘}[\text{呎} \cdot \text{磅}] \text{數}}{33,000} = \frac{\text{每}[\text{秒}] \text{鐘}[\text{呎} \cdot \text{磅}] \text{數}}{550}$$

例如: 一起重機起重 (600 [磅]), 每 2 [分] 鐘升高 20 [呎], 求這起重機輸出的 [馬力] 數。

$$\frac{20 [\text{呎}] \times 6,000 [\text{磅}]}{2 [\text{分}] \times 33,000} = 2 [\text{馬力}]$$

一 [馬力] 在米制中相當於每 [秒] 鐘 76.05 [仟克·米]。

---

\* [馬力] 一名詞之前不宜加 '匹' 字, 寫作 5 匹 [馬力] 之類。 計馬數雖可用 '匹' 字, 而 [馬力] 則為功率單位的名稱, 不可再加 '匹' 字。

18. 摩擦。一塊重 200 [仟克] 的石，放在地板上。我們雖不能把它舉起，但還可勉強推得動。我們所制勝的，不是 200 [仟克] 的重，乃是石塊對於地板的摩擦力 (friction)，其大小不過四五十 [仟克] 而已。我們勉強推動這石塊而所做的功，與反抗我們推動的摩擦力所做的功相等。我們前此對於各種機械的研究，都假定其為理想的機械，功的輸出等於輸入。但在實際上，輸出小於輸入，其中所消耗的功就是由於摩擦。

摩擦由於物面的粗糙不平，兩面相觸，其凹凸處就交錯而合。觸面上壓力愈大，凹凸相合愈甚，故摩擦力亦愈大。二觸面的性質既定，摩擦力與壓力的比率為一定值，稱為摩擦係數 (coefficient of friction)。例如一塊石，重 40 [仟克]，壓在地板上，需用 8 [仟克] 的力 (與地板平行)，剛能把石在地板上緩緩推動，

$$\text{則石對於地板的摩擦係數} = \frac{\text{摩擦力}}{\text{壓力}} = \frac{8[\text{仟克}]}{40[\text{仟克}]} = 0.2.$$

摩擦係數的大小，視兩摩擦面的情狀而定。摩擦既由面上粗糙不平而起，故減小摩擦力的方法，不外使摩擦面堅硬而光滑，或用種種潤滑劑，如油，油膏，石蠟等，填充不平之處，並將二觸面隔開。

摩擦在各種機械中，誠能減少其有用的功，但亦有它的用途。倘無摩擦力，則繩索無法製成，釘與螺旋全失效用；甚至我們行路亦將為不可能，我們不易在冰上行走，就是明證。

19. 效率。我們已知一切實際的機械均不能免除摩擦，即

不能不有一部分功去制勝摩擦力而消耗。因此功的輸出常小於輸入。一機械之功的輸出與輸入之比率，稱為效率 (efficiency), 常以百分率計之。

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{\text{機械所做的功}}{\text{做在機械上的功}}$$

即  $\text{輸出} = \text{效率} \times \text{輸入}$ 。

【例】拉 2000 [仟克] 重的貨車，上斜坡，其坡度為 5% (坡長每 100 [米] 升高 5 [米])。若因摩擦力之故，須用 150 [仟克] 的拉力 (與坡面平行)，其效率為何？

舉 2000 [仟克] 的重至 5 [米] 的高，車所做的功為 10,000 [仟克·米]，這是輸出。用 150 [仟克] 的力，經 100 [米] 的距離，做在車上的功為 15,000 [仟克·米]，這是輸入。故

$$\text{效率為} \frac{10,000 [\text{仟克} \cdot \text{米}]}{15,000 [\text{仟克} \cdot \text{米}]} = 0.667, \text{ 即 } 66.7\%.$$

## 習 題 七

1. 水流在河的中心比靠近兩岸為快，何故？
2. 馬拉重物，發動之後，仍須用力拉，何故？
3. 起重螺旋的效率低，槓桿的效率，何故？
4. 用 5 [馬力] 的起重機，提起一部廢車，在 20 [分] 鐘內升高 50 [呎]。問車重多少 [噸]？
5. 用 20 [仟克] 的力，在地板上曳一木箱。力與地板平行。若其摩擦係數為 0.25，箱重若干？
6. 兩匹馬以 2 [馬力] 的功率作功，在平路上以每 [小時] 3 [哩] 的速

度曳一貨車。若車對於路的摩擦係數為 0.17, 貨車重若干?

7. 一座汽機, 效率為 90%, 輸出 5 [馬力], 求其輸入。

8. 在一對雙輪滑車上, 用 200 [仟克] 的力適能舉起 600 [仟克] 的重。

這滑車的效率為何?

## 第一章復習題

1. 倘使你在法國要買 10 [市斤] 白糖, 你應改用何種單位來計量?  
在英國呢?

2. 實際的機械利益與理論的機械利益有何不同? 那一種較大?

3. 怎樣可以增加一座機器的效率?

4. 你用力去推一隻重箱, 歷時 10 [分] 鐘而未能推動, 你對於箱已做了多少功?

5. “馬力”一名詞是怎樣發生的? 這個名詞適當嗎?

6. 搬運一袋重物, 背負比臂挽容易些, 何故?

7. 為什麼一扇房門也好比一個槓桿?

8. 把一只螺釘旋入木中, 你利用到那幾種簡單機械?

9. 用獨輪小車載貨, 為什麼要把貨物放近輪子?

10. 木匠用爪鉗從硬木中拔釘, 有時在鉗下近釘處墊入一塊金屬, 這樣辦法能增加拔釘之力, 何故?

11. 摩擦在機械中有什麼不利?

12. 試舉出摩擦是有利益的例子幾個。

13. 如何把船上的帆張掛到桅頂? 你能繪一個表示升帆方法的圖嗎?

14. 要推動一輛汽車, 為什麼推在車輪頂上比推在車身上容易推動?

## 第二章

### 水

20. 液體。水，酒精，與水銀等物，有一定體積而無一定形狀。凡具此種狀態的物體稱為液體(liquid)。如鐵，木等有剛性的物體，則稱為固體(solid)。本章論水的壓力與傳力，及怎樣用水來發動機械；並說明物體在水中浮沈的理。關於這種原理，各種液體是一樣的。

21. 水能傳力的實驗。(1)把一個薄玻璃瓶灌滿了水(圖31)，瓶口用軟木塞緊，用力把軟木推進，瓶會裂開。



圖 31. 水傳力於器壁。

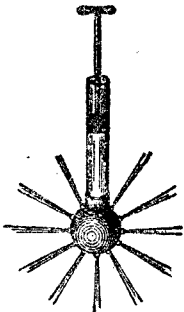


圖 32. 水傳等力達於一切方向。

(2)一根管子連通於一個空心圓球。球面上鑽有許多小孔(圖32)。把這器具灌滿了水，用力推進管中的活塞，球中的水必從全球面上各個小孔中，以同一的速度射出。

由上試驗，我們可得一結論：

施於封閉液體的任何一部分上之壓力，以同一強度傳達於液體

所觸面之各部。例如圖 32 中，活塞觸水的面積是 1〔平方厘米〕

加於活塞上的力是 1 [仟克]，則傳到球的內壁上每 [平方厘米] 的力都是 1 [仟克]。這個結論是法國科學家巴斯噶氏所創，故稱為巴斯噶原理(Pascal's principle)。

22. 水壓機。 巴斯噶原理的應用，以水壓機 (hydraulic press) 為最明顯。將大小兩個圓筒用管通連，每筒各有密切的活塞(圖 33)。假定小塞的面積為 1 [平方厘米]，大塞的面積為 1000 [平方厘米]，則用 1 [仟克] 的力推着小塞可升起大塞上 1000 [仟克] 的重。但大塞上每 [平方厘米] 所受的壓力仍為 1 [仟克]，與小塞上一樣。

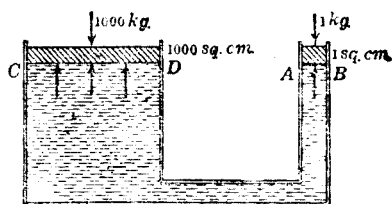


圖 33. 力與面積正比

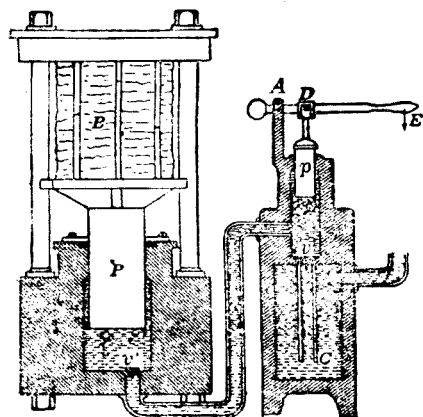


圖 34. 水壓機。

$CD$  活塞上之力，雖 1000 倍於  $AB$  活塞上之力，但在同時間內  $CD$  上升之距離，只為  $AB$  下降距離之  $\frac{1}{1000}$ ，因  $AB$  下降 1 [厘米]，只有 1 [立方厘米] 之水擠進大筒，這 1 [立方厘米] 之水，只能升高大筒內的水面  $\frac{1}{1000}$  [厘米]，故兩活塞上的功是



相等的。若計入摩擦力，則

小塞上輸入的功 = 大塞上輸出的功 + 消耗於摩擦的功。

圖 34 是一具商用水壓機，用於壓書，棉花打包，鋼板上打洞，或榨油等工作。小塞  $p$  起升時，水從水槽  $C$  經閥  $v$  而入小塞之室。小塞推下時， $v$  閥被壓而閉， $v'$  閥被壓而開， $p$  塞的壓力就經過水管而達於大塞之室，由此作用於大塞  $P$  上。兩塞上之力與兩塞之面積成正比。

**23. 力與壓力。** 我們手提 1 [仟克] 的重，就稱用 1 [仟克] 的力 (force)。故力的意義是一推或一拉。壓力 (pressure) 是作用於每單位面積的力，例如每 [平方厘米] 幾 [克]，或每 [平方吋] 幾 [磅]。

水壓機中，大活塞上的壓力，雖與小活塞上的壓力相等，但大活塞上之力，的確比小活塞上之力大許多倍，這是水壓機的機械利益。

## 習 題 八

1. 一座水壓機中的活塞，直徑一為 3 [厘米]，一為 25 [厘米]。若小活塞上的壓力是 5 [仟克/平方厘米]，可抵當大活塞上多少重？
2. 在第 1 題中，若用 5 [仟克] 的力推着小活塞，可抵當大活塞上多少重？大活塞上的壓力為何？
3. 第 1 題中的小活塞推進 30 [厘米]，大活塞升起多高？

**24. 重度及比重。** 有人問，木與鐵那一種重，這意思很泛。

我們應當答稱“如果它們的體積相等，鐵比木重”。但是鐵可以與木比，也可以與銅比，也可以與任何物質相比。所以第一個方法，我們特地指定水為標準物質，而以同體積的一切其他物質與水相比。這種比數名曰**比重**(specific gravity)。故

$$\text{比重} = \frac{\text{物質之重}}{\text{同體積水之重}}.$$

例如：一塊正方的大理石重 100 [克]，與它同體積之水重 40 [克]，則大理石比水重  $\frac{100}{40} = 2.5$  倍。故大理石的比重為 2.5。

第二個方法亦可以確定某物質之重的性質，就是先稱某物體之重，再量它的體積，然後得到那物質每一單位體積之重，稱為那物質的**重度**(specific weight)。故

$$\text{重度} = \frac{\text{重量}}{\text{體積}}.$$

例如，4 [立方厘米]的銀重 42 [克]，故銀的重度是  $42/4 = 10.5$  [克/立方厘米]。

這二個方法各有好處。重度是絕對的測定，是個名數；比重是比較的測定，是個不名數。

**25. 密度。** 物質尚有疏密之分，所以我們在物理學上亦有**密度**(density)的名稱，就是每一單位體積所含物質之量。

$$\text{密度} = \frac{\text{物質之量}}{\text{體積}} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$$

對於同一物質，我們很容易地定出其量的多少；但若遇到不

同的物質，則對於其質量的量度上，就不免發生困難。我們因為曉得物質的量，與其輕重有密切的關係：大凡物體愈大，質愈密，則量多，同時亦愈重；愈小愈疏則量少，同時亦愈輕。所以我們暫時可以取重量來作質量的量度，而用天平來把它稱出。例如在天平上稱得，牛肉重 1 [仟克]，(就是與砝碼 1 [仟克]完全等重)，青菜亦重 1 [仟克]，我們就說這肉與菜同有 1 [仟克]的質量(mass)，但是它們的體積與密度當然不同。質量既有了量度的方法與確定的意義，我們就可以說：

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$$

由上節比重及重度的定義，我們亦可表示：

$$\text{比重} = \frac{\text{物質之重度}}{\text{水之重度}}$$

但在米制中，標準重量本是以標準體積的純水來造成的，所以水之重度數值當然為 1，即 1 [克/立方厘米]。同時水的密度的數值當然亦為 1，即 1 [克/立方厘米]。故在米制中，比重，密度與重度有同樣的數值。例如水銀的比重為 13.6，表示它比同體積的水重 13.6 倍；水銀的重度數值亦為 13.6，表示每 [立方厘米] 重 13.6 [克]；它的密度亦然，表示每 [立方厘米] 的質量是 13.6 [克]，因此記憶上就便利許多，可是意義上完全不同。

在英國制度中，水的比重亦為 1，水銀的比重亦為 13.6。但是水的重度為 62.4 [磅/立方呎] 重，在數值上比了比重大 62.4 倍。同樣，水銀的重度為  $62.4 \times 13.6 = 848.64$  [磅/立方呎]，

記憶上要麻煩得多。

**26. 比重。** 下表的數值是幾種常見物質的比重，這些數值亦能代表米制中的密度及重度。此表也可稱做密度表，那是用〔克/立方厘米〕做計算單位的。

鉑	21.5	銅	8.9	冰	0.911
金	19.3	鐵(鑄)	7.2	火油	0.8
汞(水銀)	13.6	鋅	7.1	汽油	0.7
鉛	11.4	鋁	2.65	軟木	0.25
銀	10.5	海水	1.03	空氣	約 0.0013

### 習 題 九

1. 試將上列密度表改為英制，就是用〔磅/立方呎〕的單位來計算的。
2. 何種金屬能浮於水銀面上？
3. 一圓柱狀水槽，內徑 12〔厘米〕，深 10〔厘米〕，盛滿了水，問水重若干？若用水銀盛滿，需要多少〔克〕的水銀？
4. 假使有木製的圓柱，徑及高與第 3 題中水槽的內容相等，這木柱比水槽中的水柱輕重若何？稱得這木柱重量之後，怎樣計算木的比重？
5. 把一塊軟木壓縮之後，它的重度與密度有變更麼？

**27. 水重所生的壓力。** 桶中的水，每一層水的重，傳力於其下的各層，故桶底上所受的水壓力，等於水的全高乘水的重度。

譬如有一隻長方形箱，闊 10〔厘米〕，長 20〔厘米〕，深 15〔厘米〕，盛滿了水。我們可想像在箱底每 1〔平方厘米〕上，立一個 15〔厘米〕高的方柱，這柱的體積是 15〔立方厘米〕，共重 15

[克]。故箱底上的壓力是每[平方厘米]15[克]力或總壓力為  $10 \times 20 \times 15 = 3000$  [克]。

倘箱中盛水銀，因水銀的重度為每[立方厘米]13.6[克]，這15[厘米]高的方柱共重  $15 \times 13.6 = 204$  [克]，故箱底上的壓力為每[平方厘米]204[克]力或總壓力  $200 \times 204 = 40,800$  [克]。

設液體高為  $h$ ，重度為  $d$ ，底面積為  $A$ ，壓力為  $p$ ，則

$$\text{壓力 } p = hd$$

$$\text{總壓力 } P = Ap = Ahd$$

28. 水的上壓力。推空桶入水，必須用力。推入愈深，用力愈大。從這種經驗，就可想見水有上壓力。

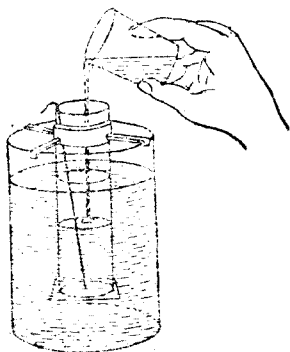


圖 35. 水的上壓力。

用線繫紙板，閉着玻璃筒(或火油燈泡)的下口，而置於水中(圖 35)。雖把線放鬆，紙板必不落下，這是證明水有上壓力。若注色水於筒內，等到水面與筒外的水面相平，紙板方才沈下。

從這實驗，我們知道，在水中任何深度之上壓力，等於同深度的水之下壓力。

29. 水的壓壓力。桶中注滿了水，若在桶壁上鑽一小孔。

水必從孔中射出，孔愈近底，射水愈遠。可見在未鑽孔以前，水必壓於桶壁；又可見水愈深處，水的旁壓力愈大。

圖 36 示一壓力計，有一小漏斗，可在一橫軸線上轉動。口上蒙橡皮膜。這漏斗管用橡皮管通連到一個內貯有色液體的 U 形管。今把漏斗置於一缸水中，入水愈深，膜上所受壓力愈大，U 形管的左液柱升起愈高。在同一深度時，不論斗口向上，向下，向旁，向任何方，U 形管兩液柱的位置不變。

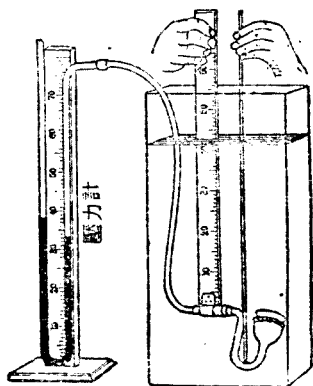


圖 36. 液體壓力計。

水的旁壓力，上壓力，及下壓力，在同一深度，均相等；且均與深度成正比。

30. 壺中的水平。 我們都知道壺身內的水與壺嘴內的水

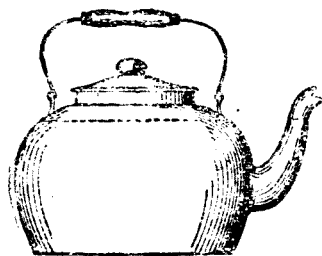


圖 37. 壺中的水平。

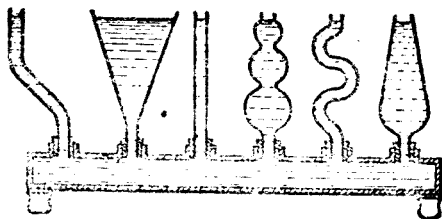


圖 38. 連通器中的水平。

在同一水平面(圖 37)。若注水於任何幾個不同形狀的連通器中(圖 38),各水面亦必相平。圖 39 說明水平的理。在  $c$  點的旁壓力,爲重度乘深度  $gc$  之積。在  $o$  點的旁壓力,因  $oc$  之間水不流動,與在  $c$  點的旁壓力相等而方向相反,故在  $o$  點的壓力,必等於重度乘鉛直深度  $sk$  之積。

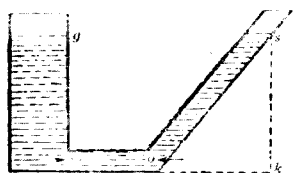


圖 39. 水平之理。

由此可知,凡液體表面下之壓力,與其表面下之鉛直深度成正比,而與容器之大小或形狀無關。

### 習 題 十

1. 在海底量得小壓力爲每[平方厘米]1.3[仟克],海深若干(海水的比重 = 1.026)?
2. 一水銀柱高 76 [厘米],其底壓力爲每[平方厘米]幾[仟克]?
3. 一圓柱狀水槽(圖 40)高 10 [厘米],底徑 12 [厘米]。槽頂連一管高 20 [厘米]。管與槽都盛滿了水。

- (a) 求槽底上之壓力。
- (b) 管之大小與形狀,對於底壓力有影響麼?
- (c) 求槽壁上高一半處之壓力。
- (d) 求槽頂上的壓力。

4. 一[立方呎]的水重幾[磅]? 若一平底空船,平均的排水量(俗稱吃水,就是船底在水面下之深度)爲 10 [呎],船底的面積 6000 [平方呎],水向上推船的力量多大? 船重幾[噸]?

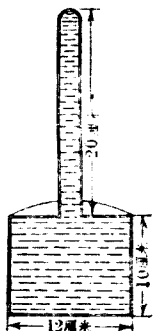


圖 40.

5. 據說荷蘭有一學童，在陸上發見一個漏水洞，這洞在海面下150〔厘米〕。他把他的手臂塞在洞裏，竭聲呼救，因此他的祖國得免除水災。一個小孩果能抵住整個北海麼？

31. 水的浮力。 在水中撈物，比在水面外為輕，換句話說，水能把水中的物浮起。物體在水中比在水面外輕多少，可從下述的試驗知道。

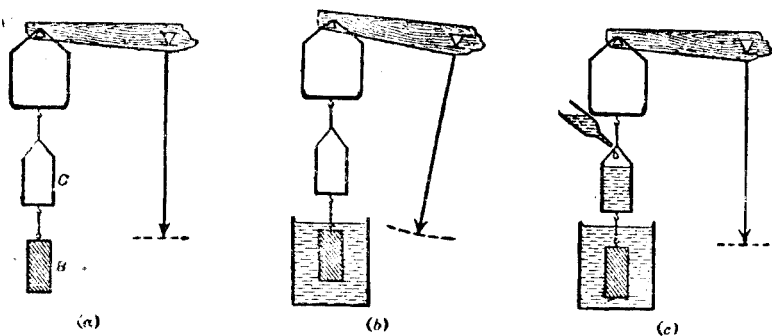


圖 41. 液體的浮力。

一個銅製的空圓杯  $C$ ，恰好容一個密切的銅圓柱  $B$ 。把它們懸於天平的一端，加砝碼使天平的臂成水平（圖 41）。若把  $B$  柱懸於  $C$  杯下而浸入一杯水中，天平的左臂必升起，顯出水把柱向上推。若在  $C$  杯內注滿了水，天平的臂必復成水平。這表示  $B$  柱在水中被浮起的力，等於與其同體積的水之重。 若在火油中或酒精中試之，結果是一樣的。

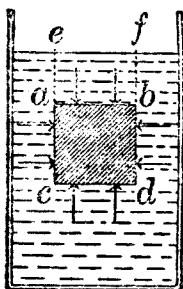
32. 阿基米得原理。 上節試驗所證明的原理，可述之如下：



一物體浸於一液體中所失之重，等於被排去的液體之重。

關於失重的原理，為希臘哲學家阿基米得(Archimedes, 公元前 287-212 年)所發見。當時有叙拉古(Syracuse)王海羅(Hiro)購一金冕，懷疑匠人作弊，因命阿基米得找尋其中有無銀子夾雜。要做這件工作而又不可毀壞金冕，確是一個難題。有一天，他正在洗澡，忽注意到他的身體被水浮起，因而悟到這難題的解決方法。於是一躍而起，奔赴家中，大呼“我找着了！我找着了！”

33. 阿基米得原理的解釋。設有一個立方塊  $abcd$  浸於水中(圖 42)；



中(圖 42)； $cd$  上所受向上的力，等於水柱  $cdfe$  之重，立方頂上所受向下的力，等於水柱  $abfe$  之重。向上力超過向下力，必為水柱  $abdc$  之重，甚為明顯。此種解釋對於任何液體，及任何形體不規整的東西，都是一樣，故阿基米得原理亦可陳述如下：

圖 42. 阿基米得原理之理論的證明。

固體浸於液體中所受之浮力，等於被排去的液體之重。

34. 浮體。若液體之浮力，大於所浸物體之重，這物體必被升起，漸漸伸出於液體面之外，被排去的液體以及浮力因此漸漸減少，至浮力減到等於物體之重而止。可知浮體(floating body)之失重等於其全重量，就是，一浮體所排去的液體之重，等於這浮體自己的重。

35. 阿基米得原理之公式。用算式表示阿基米得原理，在計算上甚便利。設：

物體在空氣中之重 =  $W$

物體浸在液體中之重 =  $F$

被排去的液體之體積 =  $V$

液體之重度 =  $d$

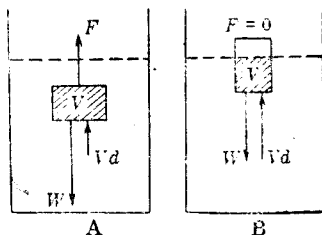


圖 43. 液體中物體上的力。

(1) 對於完全浸沒於液體中之物體(圖 43 A)，在平衡狀況時，(A)浸在液體中的物體。(B)浮體。

$$\text{失重或浮力} = W - F = Vd$$

(2) 若為浮體(圖 43 B)，則  $F = 0$ ， $V$  為物體浸入液中的部分的體積，故

$$\text{失重或浮力} = W - 0 = Vd.$$

### 習題十一

1. 試設想阿基米得怎樣做金冕試驗。
2. 在海中游泳，爲何比在河中容易浮起？
3. 胖的人在水中爲何比瘦的人容易浮起？
4. 在水中舉起一塊石頭爲何比在陸上容易？
5. 一石塊在空氣中稱，重 235 [克]，在水中稱，重 128 [克]。若把它放入一滿杯的水中，有多少水從杯中溢出？
6. 一塊不整形的石，重度每 [立方厘米] 2.5 [克]，體積 1 [立方米]，重若干？若浸沒於水中去稱，其重若干？
7. 一塊長方形的木板，長 22 [厘米]，闊 6 [厘米]，厚 4 [厘米]。浮於水中，4 [厘米] 的一邊伸出水面 [厘米]，板重若干？

8. 一塊 300 [立方厘米] 的銅，在火油中稱，重若干？
9. 一隻長方形的平底船，10 [呎] 闊，40 [呎] 長，若把三匹馬裝入船中，船底更向下降 4 [吋]，馬重共若干？
10. 你怎樣去利用一塊長方形木，放在水面上稱物？

### 36. 測固體比重法. (a) 整形固體. 整形固體如立方體，球

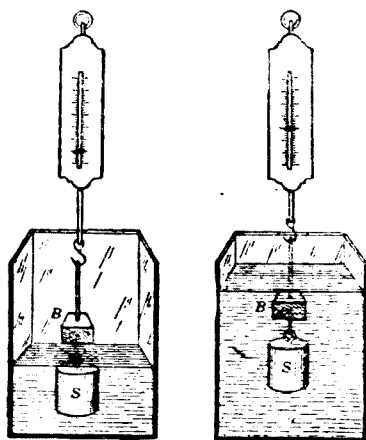


圖 44. 求輕體的比重.

體等，先稱其重，再用量法求其體積，由此求與共同體積的水之重，及物體之比重。

(b) 不整形固體。其體積不能用量法量出，但可用阿基米得原理求得。先在空氣中稱，其重為  $W$ 。再在水中稱，其重為  $F$ 。其失重等於被排去的同體積的水之重， $Vd$ 。由此得

$$\text{比重} = \frac{\text{固體在空氣中之重}}{\text{與共同體積的水之重}} = \frac{W}{Vd} = \frac{W}{W - F}$$

(c) 輕於水的固體。這須加繫一錘  $S$  於固體  $B$  的下方(圖 44)。先讓錘單獨浸入水中，即水面在  $B$  與  $S$  之間，稱得全體之重為  $F_1$ 。次將固體與錘一併浸入水中，此時因水浮起固體，稱得全體之重比前小，為  $F_2$ 。固體  $B$  在空氣中之重為  $W$ 。於是

$$\text{比重} = \frac{\text{固體在空氣中之重}}{\text{固體單獨在水中之失重}} = \frac{W}{F_1 - F_2}$$

37. 測液體比重法。(a) 比重瓶法。先稱空瓶，得其重為  $w$ 。瓶中盛滿液體時稱得其重為  $W_1$ 。瓶中盛滿水時稱得其重為  $W_2$ 。則

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

(b) 液體比重計。液體比重計 (hydrometer) 通常用玻璃管製成 (圖 45)。下端球內貯水銀或鉛粒，使梗能直立於液體中。梗內更置紙片，上畫分度，得據以直接讀出比重數。比重計在液體內浮着，液面觸着梗上的一個讀數，就指這液體的比重。浮在水中時，讀數為 1.000。在輕液體中比在重液體中沈下較深，因比重計必須排去等於它自己的重之液體，方可浮定。故比重計有二種，一種專用於重液體，水重 1.000 的記號近其梗頂，一種專用於輕液體，1.000 的記號近梗的下部。

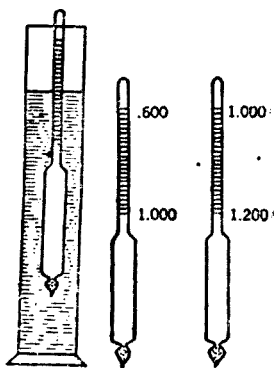


圖 45. 液體比重計。

(c) 失重法。稱一塊玻璃，在空氣中的重為  $W$ ，在水中的重為  $F$ ，在所試驗的液體中的重為  $F'$ 。

$W - F$  為排去的水之重，

$W - F'$  為排去的液體之重，

故 
$$\text{液體之比重} = \frac{W - F'}{W - F}$$

## 習題十二

1. 一塊石在空氣中稱,重 100 [克],在水中稱,重 60 [克],求此石之體積與比重。
2. 一 [立方厘米] 的象牙,在水中稱,重 0.82 [克],在空氣中稱,重若干? 比重為何?
3. 一塊木在空氣中稱,重 120 [克]。這木上加了一塊鉛,同在水中稱,重 215 [克]。這塊木在空氣中,而鉛在水中稱,重 275 [克]。求這木的體積與比重。
4. 一 [立方厘米] 的鉛(比重 11.4)在火油(比重 0.79)中重若干?
5. 一個空瓶重 5 [克],盛滿了水重 65 [克],盛滿了甘油重 78 [克]。求甘油的比重。
6. 一塊木, 10 [厘米]闊, 4 [厘米]厚, 15 [厘米]高,直立浮於水中,露出水面 1 [厘米]。求這木的重與比重。
7. 一塊鐵(比重 7.5) 10 [厘米]立方,浮於水銀(比重 13.6)中,露出水銀面多少 [立方厘米]?
8. 一隻裝重之木箱,在水中沈入 20 [厘米],在酒精中沈入 24 [厘米]在鹹水中沈入 18 [厘米]。求酒精與鹹水的比重?
9. 一個玻璃塞,在空氣中重 150 [克],在水中重 90 [克],在硫酸中重 24 [克]。求(a)這玻璃塞的體積,(b)玻璃的比重,(c)硫酸的比重。
10. 一塊鐵 10 [厘米]立方,懸於天平之一端,而令其五分之三的體積浸於水面之下。秤的他一端置重若干,方可使秤桿成水平?

38. 城市給水。城市給水(city water supply)俗稱自來水。新式城市都應有充分的潔水,供給家庭及工廠使用,亦可用以救火。不但水量須足,而水壓須高,使水得送達高屋之頂。近大山的城市,可在山上築庫蓄水,用水管傳布到各處用戶。但不近山的城市,須用唧筒從江湖中抽水上陸,經濾清,消毒等手續後,再用第二唧筒壓送至各處使用。圖 46 表示由湖水供

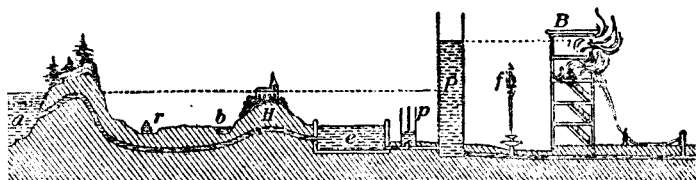


圖 46. 取自湖水的城市給水。

給用水的一種方法。這湖水(a)因自己的重力流入蓄水池e。再由唧筒p分送到各處,使水有高壓力。水過剩時儲入水塔P,不足時由水塔流出補給。水流動時,因水管的摩擦,流行愈遠,水壓愈低,故e水面低於a水面,水龍射水高不及噴泉f與水塔P中水面之高。

39. 救火水栓及放嘴。城市給水所有水管都埋藏於地下。所可見者為街旁之救火水栓(hydrant)與屋中洗盆上放水的放嘴(faucet)。這二種俗都稱為龍頭。圖 47 表示一種普通放嘴的剖視,上部的柄轉

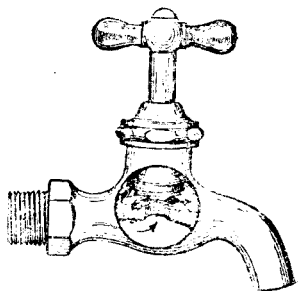


圖 47. 放嘴。

動螺旋，使蓋上下而司啓閉。此種放嘴漏水的原由有二，或因蓋面上的軟墊已磨壞，或因梗軸周圍之填充物已失其緊密。

**40. 水壓的量法。** 樓上放水比樓下慢些，因樓上的水壓較低的緣故。對於低水壓，我們可用一根玻璃管，彎成U形，中貯水銀，接在放嘴上（圖48），就可量計。這樣一件量器，名開口水銀壓力計（open mercury manometer）。譬如開口管內的水銀柱，高出他邊水與水銀的接觸面以上20〔厘米〕，則所量之水壓力是  $20 \times 13.6 = 272$ 〔克/平方厘米〕，或簡直說，這水的壓力是20〔厘米〕水銀柱高。

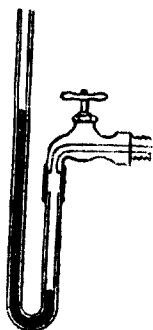


圖48. 水銀壓力計

**41. 水力發動機。** 利用山上的水源，築壩蓄水，用管引到山下，可以發動機器。圖49表示一種近代的水車（water wheel），

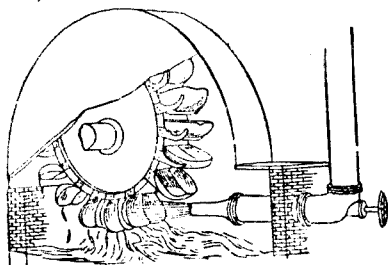


圖49. 水車。

水流由一小孔射出，有高速度，衝擊於輪周上之碗狀水承（bucket）上，轉動輪軸，而傳動軸上所聯的發電機，或別種機械。輪的全部置於鐵殼內，用過的水由殼底經排水管流出。凡山上有

瀑布，或河中有急流的地方，都是可貴的動力資源的所在。

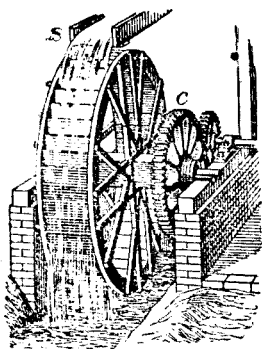


圖 50. 上落車

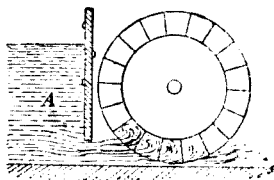


圖 51. 下擊水車

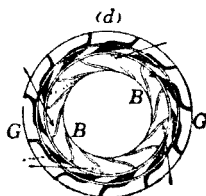
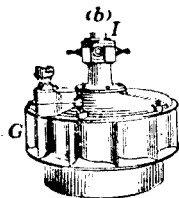
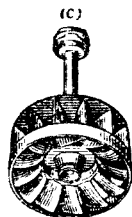
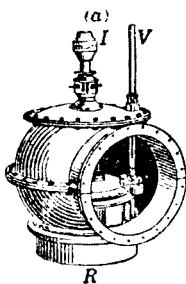
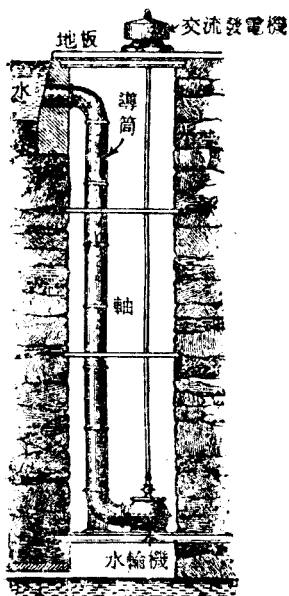


圖 52. 水輪機之裝置與機件，



老式的水力發動機，有上擊水車(overshot water wheel) (圖 50)，藉水重而轉動；有下擊水車(undershot water wheel) (圖 51)，藉急流而衝動。

新式水車中最重要的一種是水輪機(water turbine)(圖 52)。水輪的外殼(圖 52a)置於深坑的底上，水由導筒中流下，從靜止的內殼(圖 52b)周上所有導葉  $G$  間同時湧入，以最有利的方向，衝擊於轉動輪(圖 52c)的葉  $B$  上，而轉動直立的軸  $I$ 。輪在殼內，完全浸於水中，而轉動於橫平面內。用過的水流落至放水溝。

水頭高而水量小者適用衝擊水車。水頭低而水量大者適用水輪機。

### 習題十三

1. 水塔中的水，由距地面 1 [米] 的放嘴放出，用開口水銀壓力計量得其壓力為 60 [厘米]，求塔中水面距地多高？
2. 若上題塔中水面距地 100 [呎]，離地 4 [呎] 處的水壓力為每 [平方呎] 幾 [磅]？
3. 一壩高 25 [呎]，每 [秒] 鐘有 200 [立方呎] 的水流下，能發生多少 [馬力]？

42. 液體的分子力。一滴水從空中落下，自成一球體。鉛丸的製造，係把熔鉛經篩箕，自塔頂而落於池底。可見液體的質點有互相吸引的強力，故常欲自成一種表面為最小的形體。又異類的二質料間，若彼此十分接近，亦可有強大的分子引力，例如膠與木，水泥與石，漆與木。同類質點間的引力稱為內聚

力(cohesion),異類質點間之引力稱為附着力(adhesion)。

肥皂水的質點有內聚力,故可吹成氣泡,宛如一層有彈性的薄膜。水的表面亦有這種性質,故鋼的密度雖 8 倍於水,而仍可使縫衣針浮於水面。

**43. 毛細現象。** 設有二個 U 形管(圖 53),每管一邊的直徑 30 [毫米],又一邊為 1 [毫米]。若注色水於第一管,注水銀於第二管,則每個 U 形管中二邊液體的表面高低不同。

水沾濕玻璃而為玻璃所吸引,就是附着力強。水銀不沾濕玻璃,它的質點間的內聚力,好像使水銀與玻璃相推拒,故水銀的表面凸起,而在細管中的水銀柱低於粗管中者。至於水管中,管壁把水逆其重力而拉起;管愈細,水被拉起愈高,表面成凹曲。這種小管細如毛髮,故名毛細管,其現象稱為毛細現象(capillarity)。燈心棉帶,濾紙,土壤等之能吸水,都屬這種現象。

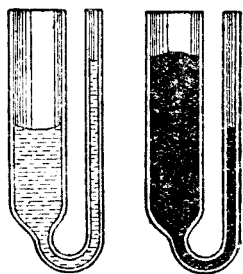


圖 53.

小管中的毛細現象。

#### 習 題 十 四

1. 試舉你所常見的毛細現象之例五種。
2. 傾注杯中的水於瓶內,為何可用箸相助,使水不溢出?
3. 玻璃梗的端,在火中燒至紅熱,則成半球形,何故?
4. 油紙上不容易寫字,何故?

5. 荷葉承著露水，像一盤走珠，何故？
6. 近代築路，用大石子做路底，再列小石子於其頂上。最後鋪黃沙細粒於路面，用石輾壓緊。這樣配置材料，能使路面常乾，試說明其理。

## 第二章 復習題

1. 在一大湖中 5 [米] 深處的壓力，比在一小湖中同樣深處的壓力有差別麼？
2. 木塊浮於水而石則下沈，何故？
8. 鐵筒能浮於水面，鐵塊則沈於水中，何故？
4. 把軟木塞推入盛滿水的玻璃瓶口，瓶有破裂之虞，何故？
5. 浮冰露出水面約百分之 8 的體積，這表示什麼？
6. 一個落水的人，抓住一槳，便能浮起，何故？
7. 一隻船從海洋駛入淡水河中，船身吃水淺一些呢還是深一些？試說明其理由。
8. 爲什麼一桶油比同高的一桶水所生的壓力小？
9. 一個人要浮於水中，把他的全身以及頭的大部分浸沒。爲什麼需浸沒他的身體如此之多？
10. 一羣人乘木排浮水面，他們發覺，若全體直立時，木排沉入水中約 2 [尺]，但若全體坐下時，則僅沈下數 [寸] 而已。試說明其理。
11. 要使一種液體施於容器底上的壓力，大於此液體本身之重，是否可能？試說明之。
12. 要製二隻液體比重計，一隻用以量比水爲輕的液體，另一隻用以量比水爲重的液體，它們應當有如何不同的構造？
13. 把玻璃管的裂斷口在火焰中燒軟時，它會變成光潔而圓轉，何故？
14. 穿衣游泳，出水時濕衣貼身，而在水中時則否，何故？

15. 爲什麼一塊溼布吸水比乾布快?
16. 試舉幾種能浮於水銀的金屬數種。
17. 阿基米德原理是理論呢還是定律? 試說明其故。
18. 一片平玻璃會沈入水中, 但範成了玻璃杯就會浮起, 何故?

## 第三章

# 空氣

44. 氣體與液體的區別。液體有一定的體積，佔滿容器的下部，而上面有自由表面為界。空氣，氫，氧等都稱為氣體(gas)，無固定的體積，亦無自由表面。若裝在封閉的容器內，則立刻充滿器的全部；若在器頂開一孔，氣即逃出。故氣體的質點比液體的質點更有活動性。

45. 空氣的重量。我們因不容易看見空氣，故平常想不到

空氣有重或抵抗力。若把一個足球的膽打足空氣稱之，必較未打氣以前為重。更把一個玻璃球抽去空氣後稱之(圖 54)，必較未抽氣以前為輕。我們能把空氣用瓶裝，用秤稱，如使用液體，固體一樣。

我們慣以為空氣很輕，但細心試驗，在平常狀況下，測得空氣的密度

約為每[立方厘米] 0.0013 [克]。一間 5 [米] × 10 [米] × 20 [米] 的教室中，空氣的全重量約為 1300 [千克]，與二十餘個壯年人的重量差不多哩！

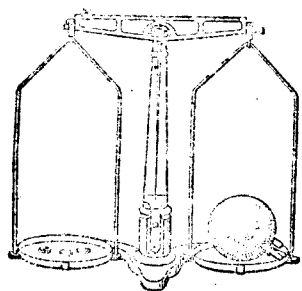


圖 54. 空氣有重的證明。

**46. 空氣的壓力。** 空氣既有重量，就有壓力。我們生活在空氣的大洋底下，何以不覺得這壓力的存在呢？這是因為空氣加於物件底上的上壓力，與加於其頂上的下壓力很近相等之故。若把這下壓力去掉，就可知道其上壓力的厲害。

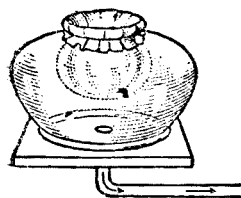


圖 55.

去掉空氣後的下壓力。

蒙橡皮於喇叭管之口(圖 55)，吸去管中的空氣，則橡皮面上的空氣必壓迫它向下凹進。

一根玻璃管中，配一個極密切的活塞(圖 56)。把管

的一端插入水中，活塞由水面抽起時，管中活塞下的空氣變成稀薄，管外水面上的空氣壓力，便把水壓入管中，隨活塞而升起。

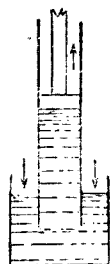


圖 56. 空氣壓力迫水升入管中。

**47. 托里拆利實驗。** 液體的壓力等於液柱高乘其重度。空氣的壓力亦等於空氣柱高乘其重度。這空氣柱的壓力究有多少，托里拆利(Torricelli)曾作下列的實驗。

取一根約 1 [米] 長的玻璃管，封閉其一端，注滿了水銀，用指閉管口，倒豎在水銀杯中(圖 57)。放指後，水

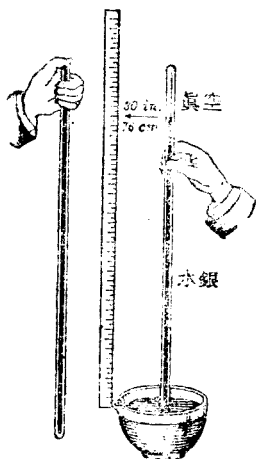


圖 57. 托里拆利

銀柱降落至高出杯中水銀面約 76 [厘米] 而止。管中水銀柱以上的部分，除略有水銀蒸氣外，實為最完全之真空。若把管傾斜，管中有較多之水銀流入，但水銀柱頂與杯中水銀面間的鉛直距離，仍為約 76 [厘米]。

這管中的水銀柱，實為杯中水銀面上的空氣壓力所抵住，故不能下降。在海平面上，這水銀柱的平均高為 76 [厘米]，其壓力稱為 1 [大氣壓] (atmosphere)。因水銀重度為每 [立方厘米] 13.6 [克]。故這柱底上的下壓力為每 [平方厘米]  $76 \times 13.6 = 1033.6$  [克]。約略言之，1 [大氣壓] 等於每 [平方厘米] 1 [仟克]，或每 [平方吋] 15 [磅]。

### 習 題 十 五

1. 我們可用麥桿吸水入口，何故？
2. 火油箱上須打三洞，方能使火油流出暢利，何故？
3. 你們現在上課的這間教室裏，約容納着幾多重的空氣？
4. 一個 100 [呎]  $\times$  50 [呎] 的平屋頂上，受到的空氣總壓力是多少 [噸]？
5. 一根托里坭利管，穿過抽氣機上玻璃罩頂的橡皮塞，其下端置於罩內水銀杯中 (圖 58)。罩內空氣經抽氣機抽去一部分後，得管中的水銀柱高 25.1 [厘米]。求罩內空氣壓力是每 [平方厘米] 幾 [克]。

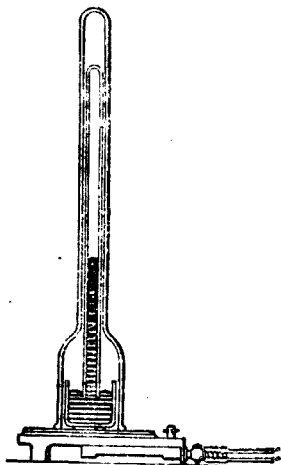


圖 58. 稀空氣的壓力。

6. 一個潛水夫工作於水面下 21 [米]，他身上受到若干氣壓？

7. 盛水於玻璃杯中，用紙片蓋杯口，把杯倒持，紙托着水而不落下，何故？

8. 我們怎樣吸空氣入肺？

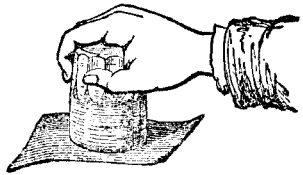


圖 59.

**48. 巴斯噶實驗。** 巴斯噶 (Pascal) 氏推想到托里壻利管中水銀柱的高，果真僅為空氣柱的壓力所抵住，則在高山，這水銀柱必較平地上為低。他因此函託其戚披列氏 (Perrier) 攜管登高山實驗之。其所得結果為每升高 1000 [米]，水銀柱即下降 8 [厘米]。

**49. 氣壓計。** 近代的水銀氣壓計 (mercurial barometer) (圖 60) 不過是裝置適當的托里壻利管。讀氣壓計，不過正確計量其水銀柱的高。管底的水銀槽下柔韌的底，可由螺釘使其上下，令槽中水銀面與設定之零點相對。

便於攜帶的一種，名曰無液氣壓計 (aneroid barometer) (圖 61)。這器的主要部分，是金屬製的空盒 *b*，其頂富於彈性，盒內僅有稀薄的空氣。外間氣壓有變動時，盒頂就彈上或彈下，所生微小的運動，由刃 *d* 達於彈條 *c*，再由一組精細的槓桿 *e* 放大而傳達於指針 *a*，在面板上移動而示讀數。面板的分度，係照標準水銀氣壓計的讀數而定。圖 62 的面板上，內圈指氣壓，讀 [吋] 數 (30 [吋] = 79 [厘米])，外圈指高度，讀 [呎] 數。其



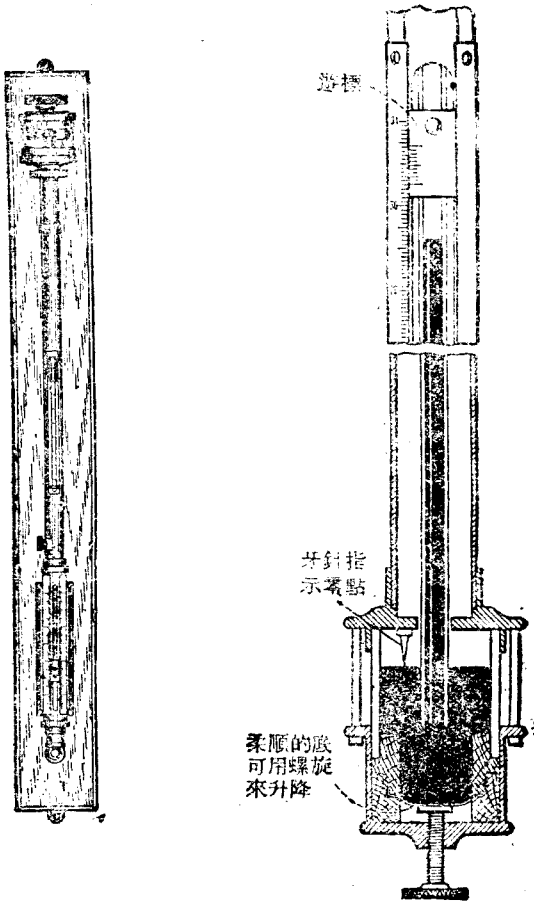


圖 60. 水銀氣壓計。

大小僅如平常的錶。氣象臺上都置有自記氣壓計(barograph) (圖 63)。這器有數個空盒相疊,以增大其靈敏度。盒頂的彈

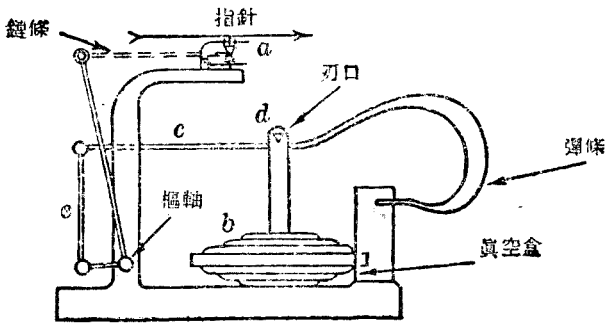


圖 61. 無液氣壓計的構造。

動，由槓桿 *B* 放大。槓桿的一端，裝有墨水筆 (*C*)，氣壓的變動，由墨水筆記在繞於鼓 (*D*) 之紙上。鼓內裝有如時鐘的機構，使鼓每星期旋轉一週。

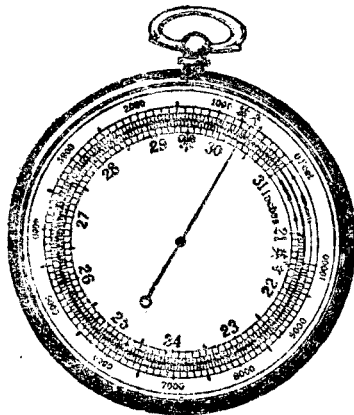


圖 62. 無液氣壓計的外形。

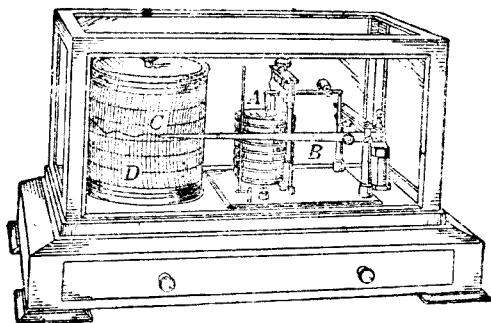


圖 63. 自記氣壓計。

**50. 氣壓計的用途。** 氣壓計雖不能直接預告天氣，但從經驗可知，急驟的降壓，必有暴風雨隨其後；升壓，則天氣轉晴；壓高而定常，天晴不變。中央氣象臺每日接受全國各地同時記載的氣候報告，繪製天氣圖。從圖上可看出氣壓高低的區域。低氣壓的區域，通常為暴風雨的中心。若能指定低氣壓的區域及其大概移動的方向，我們就可預測天氣。

測量隊，地質學家，飛機師，都利用氣壓計來測量離地面的高度。離海平面不遠之處，每升高 11 [米]，水銀柱約降 1 [毫米]，或每升高 90 [呎]，水銀柱約降 0.1 [吋]。

### 習 題 十 六

1. 水銀氣壓計為什麼必須懸於鉛直的位置？
2. 氣壓計為什麼不用水來代替水銀？
3. 飛機升空時，說得水銀柱高降落 9.5 [厘米]，機距海平面多高？

4. 一礦井深 135 [呎], 這礦底上的氣壓多大?
5. 水柱降落 2 [呎], 在水銀氣壓計上降落多少?

**51. 空氣的壓縮性.** 空氣有壓縮性而水則無之, 這是空氣與水的一個重要異點. 注水於一個直壁玻璃瓶中, 10 [升] 的水, 10 倍高於 1 [升] 的水, 可見瓶中近底 1 [升] 的水, 並不顯然被上層的水重所壓縮. 但一個皮球內的空氣, 用手一壓, 縮小甚易; 壓力一鬆, 皮球立刻復原, 這又足見空氣有膨脹性, 故在地上拍球, 球能彈起.

**52. 壓氣機.** 用於足球或腳踏車氣胎的打氣筒, 是一種最簡單的壓氣機 (air compressor). 它的主要部分是一個圓筒  $C$  及一個活塞  $P$  (圖 64). 把活塞向下推進時, 塞下的空氣被壓縮, 壓力逐漸增高, 到了大於氣胎內的氣壓時, 壓開閥  $S$  迫送空氣入氣胎. 活塞向上拉時, 閥  $S$  被彈簧的拉力所關閉, 同時, 活塞面下的皮墊彎下, 而任空氣流入氣筒. 活塞再向下推時, 皮墊的周緣被張開, 而將其所籠罩着的空氣送入氣胎. 所用的閥只有聯在氣胎上的一個, 但活塞面下

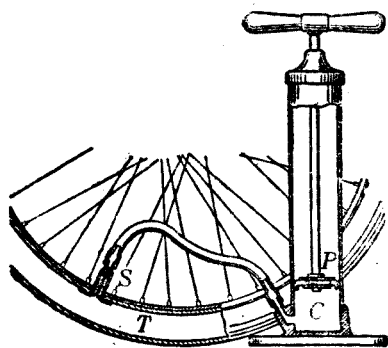


圖 64. 壓氣機.

的皮墊，在實際上亦是一個閥。

53. 空氣的體積與壓力的關係。 氣體的體積怎樣隨壓力而變動？十七世紀中愛爾蘭人波義耳氏(Robert Boyle)首先研究這個問題，他的試驗如下。

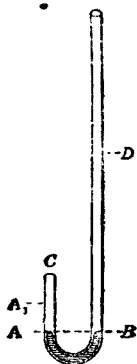


圖 65. 說明波

義耳定律。

如溫度不變，一氣體的壓力加倍，體積減半；壓力三倍，體積縮至三分之一。故得波義耳定律如下：一定量氣體的體積，在恆溫度時，與其壓力成反比。用算式來表示：

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{即} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2$$

又壓力增加，體積減小，密度增加，故氣體的密度，在恆溫度時，與其壓力成正比。即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (D \text{ 指密度。})$$

54. 空氣唧筒。空氣唧筒(air pump)或稱抽氣機。在今日工業上用途很廣,如熱水瓶的膽,電燈泡, X 射線管等都須抽去空氣。

圖 66 表示簡單的抽氣機。活塞上升時,塞下空氣的體積漸大,壓力漸小,於是罩  $R$  內的空氣膨脹,排開閥  $A$ , 而一部分空氣流入筒  $C$ 。活塞下降時,把筒內空氣壓

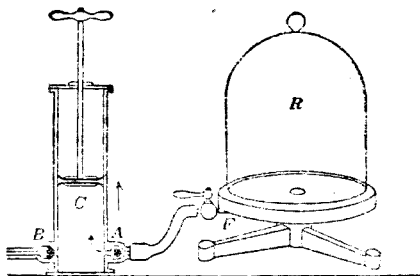


圖 66. 抽氣機。

縮,因此關閉閥  $A$  而排開閥  $B$ 。活塞這樣地來往一次,罩內的空氣即經唧筒而排出一部分。

55. 大氣的高度。從空氣的壓縮性與膨脹性,可知空氣與水不同,離地上升愈遠,其密度愈小。高出海平面 5 [仟米]之處,氣壓減小至一半,即那處空氣的密度,只及海平面上空氣密度之半。探險家乘氣球升高的最高紀錄,約達 33 [仟米]。在這高度,非有特別設備供給空氣,人類不能生存。在 56 [仟米]之高度,估計空氣密度為海平面上三萬分之一。過此以上相信尚有極稀薄的空氣,高達 100 [仟米]至 800 [仟米]。

### 習題十七

1. 用口力吸小瓶(如痧藥瓶)的口,而速以舌尖或唇皮塞於瓶口,則瓶可吸住皮肉而不脫落,何故?

2. 一個玩具氫氣球，在地上氣壓為 76 [厘米] 時貯氫氣 1 [升]，若升高至氣壓為 54 [厘米] 之處，將膨脹到多大體積？
3. 1 [升] 的空氣，封閉於一空器中，在 76 [厘米] 氣壓時，重 1.3 [克]，若體積與溫度不變，而壓送更多的空氣入這容器，至壓力為每 [平方厘米] 5.168 [仟克]，求這容器中空氣的密度。
4. 一個壓氣機，其筒的容積為 500 [立方厘米]，用以壓送空氣入一個 1 [升] 容積的罐。其活塞來往三次以後，罐內空氣的密度若何？
5. 一個空氣唧筒，容積為 500 [立方厘米]，用以從一個 1 [升] 容積的瓶中抽出空氣。其活塞來往三次以後，瓶中的空氣密度若何？

**56. 空氣的浮力。** 在空氣中的任何物體，其底上所受的上壓力，比其頂上所受的下壓力略大。物體的體積愈大，所受上

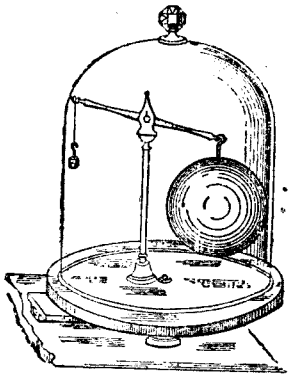


圖 67. 空氣的浮力。

下壓力的差別愈顯著。換句話說，空氣宛如水，能把物體浮起，其浮力等於被物體所排去的空氣之重。

令一個空心銅球與一塊重，先在天平上平衡，而後置於抽氣機的玻璃鐘內(圖 67)。若把鐘內的空氣抽去，懸銅球的一臂必向下傾。可見銅球先在空氣中時，有空氣的浮力把它托起。

氣球 (balloon) 有極大的體積，其全重若等於其所排去的空氣之重，則與浮力相平衡，故球能浮於空中。球以塗漆的布囊

製成，四周用索網絡，以懸載重之籃。囊中貯氫或氦，若行程甚短，亦可貯煤氣或熱空氣。每[立方米]的空氣重 1.3 [仟克]，氫氣重 0.09 [仟克]，煤氣重 0.75 [仟克]。故欲求對於氫氣球的浮



圖 68. 可行駛的氣球。

力，只須計算氣球所排去空氣之重與所貯氫氣的重之差，即 1 [立方米]氫氣的浮力 =  $1.3 - 0.09 = 1.21$  (仟克)。可行駛的氣球(圖 68)上裝有汽油機傳動的推進器

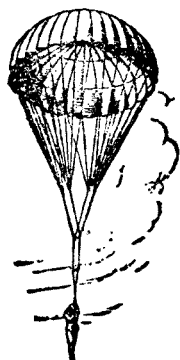


圖 69. 降落傘。

與駕駛的舵。其氣囊必須甚大，方足提起所載機器的重。飛行家為安全起見，常隨帶降落傘(圖 69)。傘的面積甚大，用之能緩緩下降，安全落地。傘頂有一孔，讓空氣緩緩流出，而使傘直立。

**57. 抽水唧筒。** 抽水唧筒(water pump)或稱抽水機，其原理與水銀氣壓計相同。井中水面上的空氣壓力，壓水向上入唧筒。最簡單的吸取唧筒(lift pump 或 suction pump)(圖 70)，其構造實與抽氣機相似， $C$  筒由  $T$  管連於井水，在筒底有閥  $S$ ，只能向上開。活塞  $P$  密切筒壁，用柄使其上下運動。這活塞上亦具只能向上開的閥  $V$ 。活塞上提時，塞面上的空氣壓



力把閥  $V$  閉着，塞下的空氣變為稀薄，井水面上的氣壓，即壓水過  $T$  管與閥  $S$  而入  $C$  筒。在活塞下推時，閥  $S$  被閉，而筒中的水壓推開閥  $V$  而達於活塞的上面。活塞再向上時，把水提起而由嘴放出。閥  $S$  的位置，在實際上距水面不逾 10 米（何故？）。

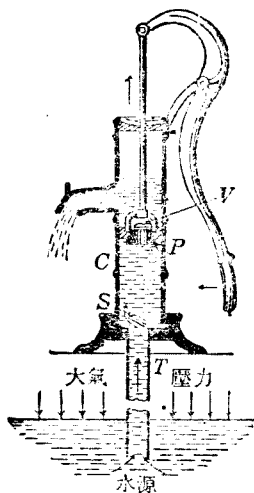


圖 70. 吸取唧筒。

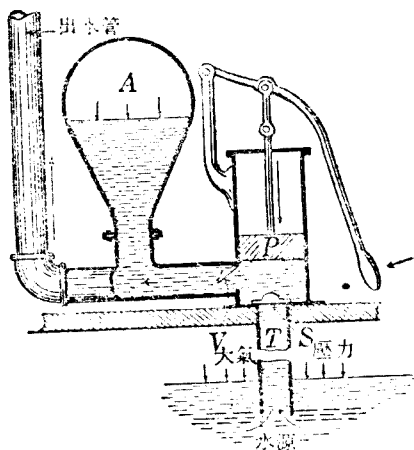


圖 71. 壓迫唧筒。

另一種抽水唧筒（圖 71）為壓迫唧筒（forced pump）。其吸水管  $T$  有閥  $S$  與前相同，但活塞  $P$  上無閥，其第二閥  $V$  在出水管的底下。活塞升起時，筒中滿水；下推時把水壓入出水管。若力推活塞向下，水可升起甚高。故這種唧筒可發出高壓力的水，或用以救火，惟因只在活塞向下的衝程中出水一次，故其水流間斷而急盪。欲減少間斷，恆用一空氣室  $A$  連於出水管。水

被壓上升時，一部分水入氣室而壓縮其中的空氣。活塞上提時，這被壓縮的空氣，把氣室中的水排出。這壓縮空氣又作用如一彈簧，故不但使出水連續不斷，且減少因急盪而起的振動。

**58. 虹吸管。** 虹吸管(siphon)是兩臂不等長的彎管，用以吸取不便傾倒的液體。彎管中先充滿液體，而後放在圖 72 所示的位置，則 A 器中液體，必流入液面較低的 B 器中。在 a 處的壓力為大氣壓減液柱 da 之重，b 處的壓力為大氣壓減液柱 eb 之重。故流動的力是液柱  $eb - da = fb$  柱之重，fb 是 AB 二器中液面的高度差。

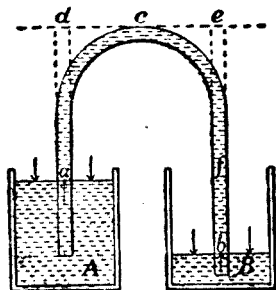


圖 72. 虹吸管。

**59. 浮沈子。** 十七世紀法國哲學家笛卡兒氏(Descartes)發明一種玩具，可用以同時說明液體傳力，阿基米得原理，及氣體壓縮性三者之理。

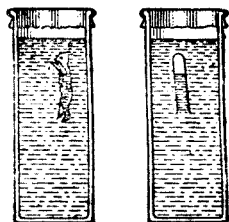


圖 73. 浮沉子。

用一個小玻璃瓶或試管，內貯適量的水與空氣，倒豎於一筒水中，使適在水面下浮定(圖 73)。筒口上用膠皮膜蒙住，以手壓膜則管沈下，手放則管復浮起。

何故？

魚類在水中浮沈，由於魚鰾內有空氣。納水入鰾則空氣被壓

縮，魚體重而沈；吐水則空氣膨脹，魚體輕而浮。

近代潛水艇設有空氣室，把水壓入或放出，以變動空氣之體積，因此船身能出入水面，與魚鰾的作用相同。

## 習 題 十 八

1. 一個健全的吸取唧筒，(a)在海面上能吸起多少深的水？(b)多少深的油(重度每[立方厘米]0.85[克])？(c)在1500[米]的高山上能吸起多少深的水？

2. 一具救火水龍的活塞有10[厘米]的直徑，施於活塞上的全壓力為300[仟克]，求能壓水至若干高？

3. 試述虹吸杯(圖74)“滿招損謙受益”之理？

4. 虹吸管能在真空中工作麼？

5. 若虹吸管(圖72)的彎頭，高出於A器中水面10.33[米]或34[呎]，能工作麼？

6. 一滿貯水銀的杯，深1[米]，能用虹吸管完全把水銀吸出麼？

7. 你見過救火用的水槍或水龍麼？試略述其構造。

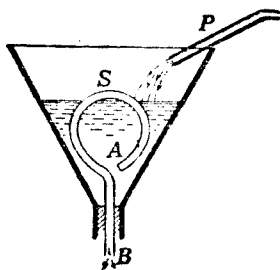


圖 74. 虹吸杯。

60. 氣體的擴散。室中帶入少許氨氣或別種有強烈氣味的氣體，則在全室各處就會立刻嗅得。從這種極簡單的觀察，可知氣體的質點，是在連續地運動，而且動得很快。

二個球相連(圖74)，一容氫氣( $H_2$ )，一容二氧化碳氣( $CO_2$ )。

若把二球間的塞子開通，歷數〔小時〕後，據化學分析，知每球所容二氣的成分有相同比率。

這個結果，初看起來很可驚異。因為二氧化碳氣比氫氣重二十一倍。可知密度不同的氣體都能成一種勻和的混合物，決不像水與水銀的有分層。這種顯然破壞重力定律的氣體混合現象，叫做擴散(diffusion)。從實驗推知，密度較小的氣體，以較大的速度而擴散。

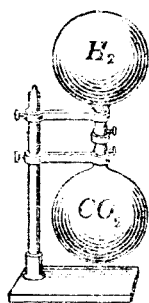


圖 75. 說明氣體的擴散。

61. 氣體動力論。欲說明氣體的壓力與擴散，通常設想一切物質都從極小的微粒即分子(molecule)組織而成。這種分子的微小，雖在高倍的顯微鏡下亦不能看見。一〔立方厘米〕的氣體，大概有  $10^{19}$  個分子。分子間的地位比分子自身大得多。這說明氣體為何容易被壓縮。

我們又設想這些小質點以高速度在一切方向飛動着。它們除因互相碰撞而改變方向外，必作直線的行動。氣體的分子好像沒有安定於一處的天性。這說明氣體為何能立刻充滿容器的內部，及迅速擴散。這又說明氣體的壓力，是由無數的分子打擊其周圍的壁上，而成一種連續的力，好像要把壁推開。一個氣體被壓縮至體積之半時，每〔秒〕鐘打擊圍壁上的次數加倍。這是波義耳定律的解釋。這些解說，稱為氣體動力論(kinetic theory of gases)。

**62. 液體吸收氣體。** 徐熱玻璃杯中的冷水，可看見許多空氣細泡積集於杯壁，從水中升到水面。起初看來，好像是水蒸氣泡。但這一定是空氣泡，一因這種細泡成於沸點下的溫度，二因升到較冷的上層水中，並不凝結。

這個簡單的試驗，說明平常的水都吸收着空氣。魚類的生命就靠着溶解於水中的空氣來維持。蘇打水(俗稱汽水)就是用平常的水，在壓力下吸收着巨量二氧化碳氣而製成，壓力一鬆，氣即逃出而生發泡現象。

**63. 固體吸收氣體。** 有微孔的固體，如焦炭，蠶絲等，有吸收氣體的大容量。焦炭能吸收 90 倍於自己體積的氨氣，35 倍體積的二氧化碳氣。因焦炭有這種性質，故常用它做除臭物。這種吸收作用，是由於氣體凝着於物體的表面或微孔中。現代戰爭中防毒面具內所用的活性炭，因孔隙性特強，故毒氣通過，即被吸收而失其效用。牛乳或麪餅若與葱，蒜，魚類同置於一櫥中，必沾染其氣而變味，這是固體與液體吸收氣體最習見的例子。

### 習 題 十 九

1. 試述幾種事實來證明氣體分子動力論。
2. 缸中養魚，若不時時換加清水，魚必死，何故？
3. 一滴藍墨水，滴入一杯清水中，清水完全變藍。你怎樣去說明這個事實。

4. 把氫氣貯入一個有微滲的容器中，其壓力為 2 [大氣壓]，我們測量其壓力降落至 1 [大氣壓] 的時間。再用空氣來作同樣的試驗，其壓力降落至 1 [大氣壓] 所歷的時間，必比氫氣降落至 1 [大氣壓] 所歷之時間長久，你能舉其理由麼？

### 第三章復習題

1. 加於一個氣球各方面的空氣壓力是否相等？若果如此，氣球因何而升起？
2. 若每[立方米]的空氣重 1.3 [仟克]，氫重 0.166 [仟克]，一[立方米]氫的浮力是多少？何以現代氣球寧用氫而不用氫？
3. 何以氣球上升有一最高限度，不能再高？
4. 要氣球上升，把球中的沙袋拋出；要氣球下降，把貯氣放出。試說明其理。
5. 汽車胎內氣體的壓力是每[平方厘米] 3 [仟克]，怎樣會支持一輛重 1500 [仟克]的車？
6. 一個橡皮碗能吸着於窗玻璃上，試說明其故。
7. 自來墨水筆灌墨水的方法如何？
8. 從如何深的一井，可用一具完善的吸取唧筒來取水？
9. 從如何深的一只容器，可用虹吸管來吸取水銀？
- 10. 魚類賴空氣而生存，它們如何取得空氣？
11. 一隻盛滿水的船擱淺在沙灘上。(a) 你如何能利用一條橡皮管來把水從船中取出？(b) 若此船浮於水中時，你能用同一方法來把水完全取出麼？
12. 砲兵放大砲時需將嘴張開，何故？

## 第四章

### 力之合成及分解

64. 力的量法。一推一拉都要用力(force),如臂力,水壓力,重力,等。用力於物體,可改變其形狀,或其運動的狀態。量力的方法就在量其所生的這種效應,而以量形狀的改變為最

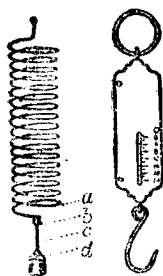


圖 76. 彈簧秤

簡便。假如一個螺旋彈簧,自由的長止於  $a$  (圖 76 左),懸重 1 [克]後,伸長至  $b$ ,懸 2 [克]伸長至  $c$ ,懸 3 [克]至  $d$ 。  $ab, bc, cd$  之距離相等。愈加重則愈伸長,苟不逾彈簧的彈性限度,重量與伸長必成正比。若在彈簧的下端連一個指針,針後裝一個固定的板面,上刻分度,表示指針所指之重量,即成

一具彈簧秤(spring balance)(圖 76 右),用以量力十分簡便。

65. 力的圖示。力有方向,大小,及施力點。若用一直線來代表這三個要件,就可有一個力的圖象。譬如一個 5 [仟克]的力作用於  $A$  點而向東,我們可繪一矢(圖 77),矢長 5 個單位代表 5 [仟克],矢尾在  $A$  點代表施力點,矢頭向東代表力的方向。

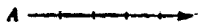


圖 77. 一個力的圖示。

66. 一直線上的二力之合力。一輛馬車用二匹馬向南拉，各施 50 [仟克] 的拉力，可看做一匹馬施 100 [仟克] 的力向南獨拉。兩孩拉繩比力，甲孩用力 50 [磅] 向東，乙孩用力 40 [磅] 向西，可看做一個丙孩用力 10 [磅] 向東獨拉。代替二力而能發生同一效果的獨力，稱為這二力的合力(resultant)。故同方向二力的合力等於二力之和，其方向與原有的二力相同；相反方向二力的合力，等於二力之差，其方向與較大的一力相同。

67. 成角度的二力之合力——平行四邊形定律。圖 78 表示二個成直角的相等力， $OA$  與  $OB$ ，這二力的合力，必位於距這二力等遠的中線。若二力不相等(圖 79)，則其合力的位置必在這二力的中間，而近較大的一力。這二力與其合力的關係，可由下述試驗表明。

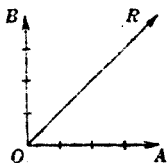


圖 78. 成直角的二  
等力之合力方向。

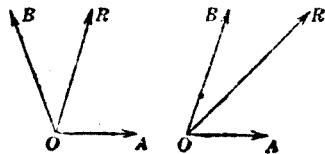


圖 79. 合力的位置近於較大  
的一力。

懸二個彈簧秤於黑板前(圖 80) 兩秤鈎間連一繩。另用一繩懸重  $W$  於前繩上，任其垂下至全部平衡之位置。沿各繩繪力線於黑板上，以表示力的方向。再選用適宜的比例尺，比照各繩張力的大小，繪矢長於力線上。依照  $W$  的重量與二秤上指



針的讀數，得矢長為  $OZ$ ,  $OX$ ,  $OY$ 。若於  $OY$  與  $OX$  上構成平行四邊形，照我們所定的比例尺，量其對角線  $OR$  之長，則

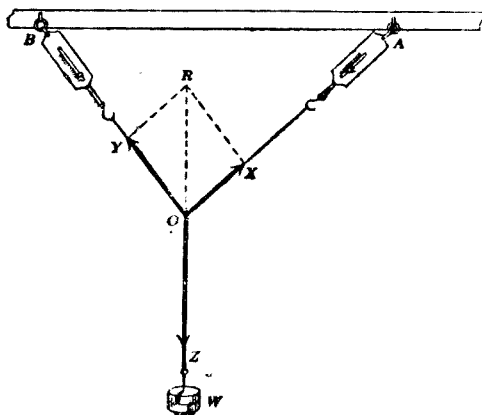


圖 80. 平行四邊形定律的實驗。

$OR$  恰與第三力  $OZ$  相等而方向相反。從此可知對角線  $OR$  實為  $OY$  與  $OX$  二力的合力，因為  $OR$  一力的效果，與  $OY$ ,  $OX$  二力所生的效果相同，均得與  $OZ$  (即重  $W$ ) 相平衡。此種圖示，叫做力圖(force diagram)。

用以平衡二個力所需的一力，稱為平衡力(equilibrant)，如  $OZ$  是  $OX$  與  $OY$  二力的平衡力。由上實驗，我們可得如下的結論：

(1) 成任何角度的二力之合力，可用代表這二力的矢所繪成之平行四邊形的對角線完全表示之。

(2) 三個力在平衡狀態時，任何二力的合力與第三力相等而相反。

98. 合力的幾個實例。(1) 起重架(圖 81a)。設載重  $W$  為 2000 [仟克], 繩索  $AC$  的拉力為 1500 [仟克], 求撐桿  $AB$  的推力。這三力,  $W$ ,  $AC$  與  $AB$ , 是成平衡狀態而作用於一點  $A$ , 故可繪一力圖(圖 81b), 而應用平行四邊形定律。因  $AC$  與  $AW$  成直角, 故

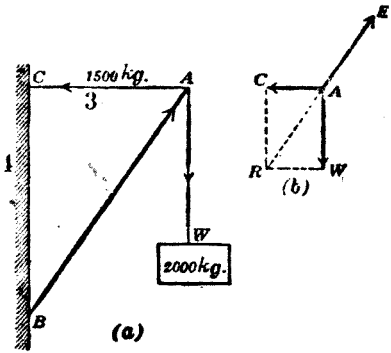


圖 81. 二力作用於起重架。

$$\begin{aligned} AR &= \sqrt{(AC)^2 + (AW)^2} \\ &= \sqrt{(1500)^2 + (2000)^2} = 2500 \text{ [仟克]}, \end{aligned}$$

即  $AB$  的推力 =  $AE = AR = 2500$  [仟克]。

(2) 渡船 欲從河邊的一點  $A$  渡至直對岸的一點  $C$  (圖 82)

若水流以 40 [磅] 的力推船於  $AB$  的方向, 船夫以 50 [磅] 的力撐船於  $AD$  的方向, 則船必行於  $AC$  的方向。

因  $AB$  與  $AC$  成直角, 又

$$BC = AD$$

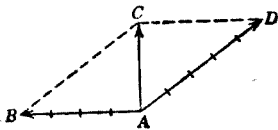


圖 82. 渡船。

故  $AC = \sqrt{(50)^2 - (40)^2} = 30$  [磅]。

若以 1 [厘米] 代表 10 [磅] 的力, 並在  $AB$  與  $AD$  上構成平行四邊形, 即可從力圖上量得  $AC$  為 3 [厘米], 即 30 [磅]。

## 習題二十

1. 一個 8 [仟克] 的力向東，一個 4 [仟克] 的力向北。(a) 試用比例尺繪力圖，量其合力的大小。(b) 用算式求這合力。
2. 一個 60 [仟克] 的力向東，一個 300 [仟克] 的力向西北，試繪力圖，求其合力。
3. 二個力作用於某物體的一點，一為 800 [磅] 向南，一為 600 [磅] 向東北。欲使這物體平衡，應當用一個若干大小與什麼方向的力，始能奏效？試繪力圖以明之。
4. 二個力，5 [仟克] 與 12 [仟克]，作用於同一點。求其平衡力，(a) 若這二力作用於同方向，(b) 若作用於反對方向，(c) 若二力的方向成直角。

**69. 力的分解。** 力的分解是把力的合成的原理反過來應用。我們可把一個力分解到已知的二方向裏去，成為二個分力 (component)。這二個分力的合效與原力的效果相同。

圖 83(a) 中的一盞路燈  $L$ ，重 50 [磅]，懸於橫桿  $AB$  的一端。

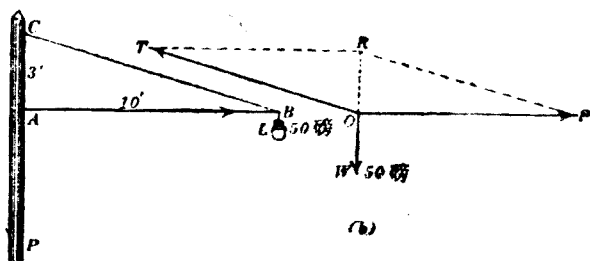


圖 83. 三個力作用於一盞路燈上。

從柱  $CP$  伸出 10 (呎), 並用索  $BC$  拉起, 索的另一端繫於柱上距  $A$  點 3 (呎) 之  $C$  點. 求  $BC$  的拉力. 圖 83 (b) 是這燈上三個力的力圖.  $OW$  代表燈重的方向,  $OP$  代表  $AB$  桿的推力的方向,  $OT$  代表  $BC$  索的拉力的方向. 因燈重為已知的力 (50 (磅)), 故可用適宜的比例尺, 例如 5 (厘米), 定  $OW$  線之長. 又因  $OP$  與  $OT$  的合力必與  $OW$  相等而相反, 故我們延長  $WO$  一線, 截  $OR$  一段等於  $OW$  之長而在相反的方向,  $OR$  代表  $OP$  與  $OT$  二力的合力. 以  $OR$  為對角線, 在  $OP$  及  $OT$  二線上構一平行四邊形. 於是照所定的力與長的比例, 在圖上量得  $OT$  為 174 (磅), 就是索的拉力. 試從圖上量出  $AB$  桿的推力為何?

70. 拉繹的船. 用繹繩  $BC$  拉船  $AB$  (圖 84), 我們可把繹力分解為二分力. 一為  $BE$ , 是使船前進的有效分力; 一為  $BD$ , 與船的進行方向成直角, 使船向岸, 非但無益, 且須耗力.

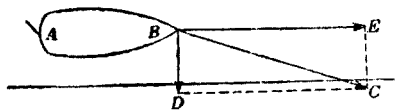


圖 84. 繹繩上有效的分力

71. 帆船怎樣能逆風行駛. 圖 85 中示表一船,  $S'$  為其帆,  $W$  為風向. 風力吹着帆面, 有一個分力與帆面正交, 如  $CP$ , 這  $CP$  力再分解為二個分力, 一個是有用的,  $CF$ , 與船身平行, 正向前方, 故推船前進; 另一個是無用的,  $CL$ , 適與船身垂直,

且向左方，故使船傾向一方。加深船底，即所以減少船的傾斜。

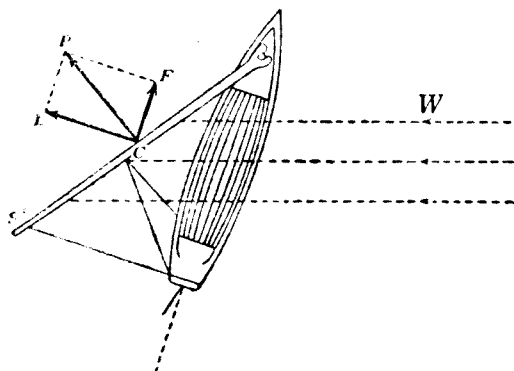


圖 85. 風在帆上的作用。

72. 飛機怎樣能騰空。飛機 (airplane) 有一層翼的，有上下兩層翼的，今日所通行的都屬前一式。翼面傾斜，前緣比後

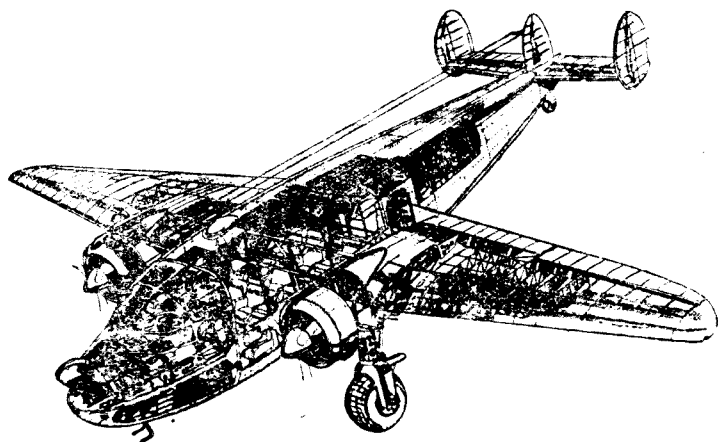


圖 86. 飛機。

緣略高。較小的飛機上裝置一個輕而強有力的汽油機，以轉動一個裝在前面的推進器（螺旋槳），使飛機前進。較大的飛機裝有多個汽油機，各轉動一個推進器。我們要問，飛機比空氣重，何以能騰空？設如圖 87 繪  $AB$ ，代表斜翼，進動方向自右向左，這個狀況，好像翼不動而有強風對面吹來一樣。這空氣流打着  $AB$  翼的下面，就被偏折向下並發生一個推力  $OF$ ，近乎垂直於翼面。這  $OF$  力分為二分力， $OL$  鉛直向上， $OD$  水平。  $OL$  分

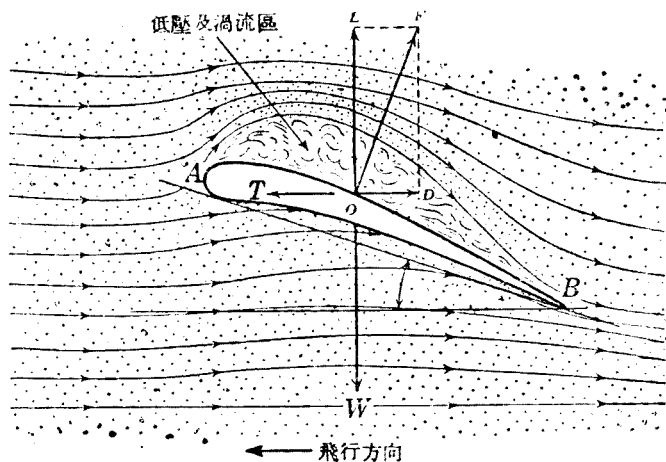


圖 87. 作用於飛機上的力。

力稱做舉力 (lift)，平衡住飛機連汽油機與載重的全重量  $OW$ ，使飛機不墜落； $OD$  分力稱做阻力 (drag)，足以減小飛機前進的速率，故必需賴推進器的動力  $T$  以抵勝之，飛機才能以等速度前進。若推進器的速率增加，則發動力  $T$  與空氣打着翼下面的推力  $OF$  亦增加，結果向上分力  $OL$  大於機重，而機上升。

73. 坡上的車。設有一斜面(圖 88), 高  $bc$  等於長  $ab$  的一半。車在斜面上受重力  $OR$ 。

$OR$  可分解為二分力, 一為  $Om$ , 與斜面平行, 為使車沿斜面滑下的拉力。又一分力為  $On$ , 垂直於斜面, 為車壓於斜面的壓力。因三角形  $ROm$  與三角形  $abc$  相似, 得

$$\frac{Om}{OR} = \frac{bc}{ab} = \frac{1}{2}, \quad \text{即} \quad Om = \frac{1}{2}OR.$$

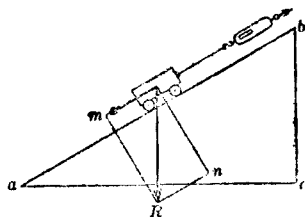


圖 88. 重的分力與斜面平行。

故欲阻止這車沿斜面滑下, 其所需的力, 應等於車重的一半。

如用彈簧秤先稱車, 再在斜面上稱之, 如圖 88 所示, 就可證明這個結論。故在斜面上阻住一物體滑下所需的力與物重之比, 等於斜面的高與長之比。

物體置於斜面上, 有摩擦力阻止其滑下。若斜面的角度小, 則分力  $Om$  亦小。物面與斜面間的摩擦力與  $Om$  方向相反, 可阻止物體滑下, 若漸漸增加角度, 至分力  $Om$  的值適大於摩擦力, 則物體開始沿斜面滑下。故在這臨界角度時,  $Om$  的值就是摩擦力的值。因此我們得一測定摩擦係數的方法, 就是

$$\text{摩擦係數} = \frac{\text{摩擦力}}{\text{壓力}} = \frac{Om}{On} = \frac{\text{斜面之高}}{\text{斜面之底}}$$

## 習題二十一

1. 拉船的繩纜, 長的比短的效力大, 何故?

2. 試繪圖表示用索拉貨車時的一個有用的分力。還有一個分力有什麼效用？
3. 把一個 8 [仟克] 的力分解為三分力，其一為 12 [仟克]，與原力成直角。求其他一分力。
4. 一個走繩索的女子，體重 60 [仟克]。她立在一根 10 [米] 長的索之中點時，這中點比索的兩端低下  $\frac{1}{2}$  [米]。試用圖示法求索的張力。
5. 一個飛起的風箏上有什麼幾個力作用着？試繪一個力圖來表示之。
6. 在一個 1 [米] 高，4 [米] 長的斜面上，拉住一塊重 200 [仟克] 的冰。求阻止冰塊滑下的力與斜面上所受的壓力。

#### 第四章復習題

1. 二個人拉一支彈簧秤，各執其一端，每人用力 1 [仟克]。這秤應指示出多少力？作用於秤上的合力多少？
2. 電話線有時因線上積雪而裂斷，緊張的線與弛垂的線何者有裂斷的較大危險？
3. 要把一個網球場上的網在兩柱間拉緊到弛垂度極小，為什麼很是困難？
4. 要在地上移動一個壓路石輾，推動與拉動何者較為容易？何故？
5. 把一個由索懸起的重球，用一個力老是在水平方向裏緩緩向側推開。(a) 索的張力是增是減？(b) 那個推力是增是減？試繪一力圖來證明你的答案。
6. 試繪一力圖，表示作用於一輛正在上山的汽車上的力；並試表示山坡愈峭，車上山所需的力愈大。
7. 若繫索於一旗桿之頂，把旗桿拉倒於地上，用長索或短索何者較為



容易？試繪二個力圖。

8. 一個水手身重 90 [仟克]，繫漆一根直立帆桅。他用一根 4 [米] 長的索，一端繫於桅頂，一端繫一坐板，人坐在板上工作。(a) 他用足抵桅，推開身子距桅  $\frac{1}{2}$  [米] 遠，須用力多大？(b) 索的拉力多大？

## 第五章

# 力與應變

**74. 材料的強弱。** 我們對於一切機械以及橋梁房屋的結構，不但須知道其各部分上所受着的力，而且須知道其所用各種材料，如鋼，鐵，木，石的強弱，就是要了解固體的分子力。任何固體一受外力，即隨着外力的大小，而起小大的變形，叫做應變 (strain)。物體一有應變，其內部的分子就立刻起來反抗。這種因應變而起的分子力，稱為應力 (stress)。應變性質有不同，所以應力亦分為下列的幾種。

一條吊起升降機的鋼索或傳動輪軸的皮帶，必須能抵抗被拉長的力，否則將被外力所拉斷。這種鋼索或皮帶在被拉時，稱為在伸張 (tension) 的狀態。

橋脚，牆基，或支屋的柱，必須能抵抗被壓縮的力，否則將被外力所壓裂。這些橋脚等物，在被壓時，稱為在壓縮 (compression) 的狀態。

屋的棟椽或橋的過梁，必須能抵抗彎曲 (bending)，若不勝任，將折為兩段，像一根棒在膝上折斷一般。

軸的任務，如傳動輪船上推進器 (見圖 29) 的長軸，或工廠中傳動許多皮帶輪的長軸，在抵抗扭轉 (twisting)。

鋼橋上或汽鍋上所用鉚釘 (rivet, 圖 89) 的應變，與前列幾

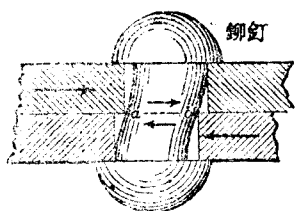


圖 89. 二鋼板作用於鉚釘上。

種迥然不同，其任務在釘住相疊的兩板，而不使其滑動，這兩板各在橫平面內依相反的方向，推着鉚釘。鉚釘被剪斷時，一板將在他一板面上滑過，故釘的裂面平淨，與兩板的分界面平行。這一種的應變，實與

紙上或布上被剪刀剪着時所起的應變相同。故鉚釘的任務在抵抗切變(shear)。

故應變有五種，就是伸張，壓縮，彎曲，扭轉及切變。各種材料各有其抵抗某幾種應變的特長，這就叫材料的強弱。對於應變而能有的抵抗應力愈大，則材料愈強。如磚，石，混凝土，宜於抵抗壓縮；鋼能抵抗任何應變；鑄鐵抵抗壓縮的能力四倍於抵抗伸張。一個工程師計畫一件機器或一座橋梁，必須先審察其各部分上所受的力，而後選用最適當的材料，並計算各部分之最經濟的形狀與大小。所以試驗材料的強弱，是研究力的問題中重要的一部。

**75. 彈性。**我們若施力於一線，但不用大力使其斷裂，便會有如何的現象發生，可於下述試驗研究之，使我們更明瞭各種物料中的分子力之情狀。

懸一根長鋼線於近天花板的鈎上，下端繫重。因鋼線的伸張甚微，故須用一槓桿，或別種方法，來放大其伸長度。圖 90 中，鋼線的下端懸重  $W$ ，此線在  $B$  處繫於指針的一端，針以  $F$  為樞

軸，他端  $p$  指讀  $S$  尺上的刻度。先繫重使指針水平，讀指針  $p$  在  $S$  尺上所指之數。以後每加一重於  $W$ ，即讀指針所指的位置一次。惟每次應把所加的一重移去，而驗看指針是否回復至原位。如至不回復原位時，我們就停止加重。若計算每次所加的重與所得的伸長，這二數的比，每次必相同，就是伸長與載重成正比。

在這試驗中，把拉力移去後，鋼線回復原長的一種特性，稱為彈性 (elasticity)。一切固體多少都有彈性。若用極大的重懸於鋼線的下端，把重移去後，指針不回至原位。這表示此時應變已超過鋼的完全彈性限度。各種物料各有其完全彈性的限度值。

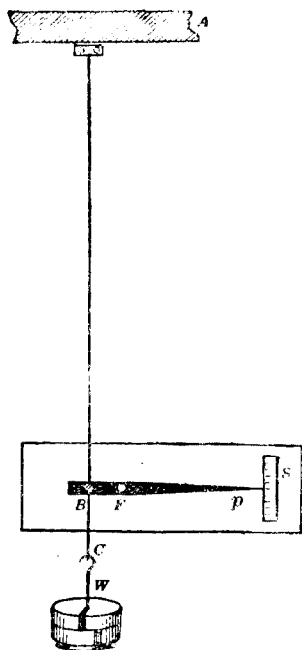


圖 90. 鋼線的彈性。

76. 虎克定律。據精細的實驗，在完全彈性限度以內，物料的任何種彈性應變，如伸張，壓縮，彎曲，扭轉或切變，與發生此應變的力成正比。這叫做虎克定律 (Hooke's law)，彈簧秤是虎克定律的一種應用。

## 習 題 二 十 二

1. 那一種具有較大的彈性，鋼還是橡膠？
2. 下列各物中有何種應變：檯腳，鞞韃索，鑽頭，蹺蹺板，唧筒的活塞，鋸刀下的紙板，弓，弓背內面，弓背外面，弓弦？
3. 長柱荷重，除壓縮外，還有別種應變麼？
4. 試布置一種器具，試驗橡皮條是否適用虎克定律。
5. 一支木尺支於兩端，中點懸 2.5 [仟克] 的重，彎下  $\frac{1}{8}$  [厘米]，懸變 [任克] 的重，可把其中點彎下  $\frac{1}{4}$  [厘米]？

## 第六章

# 力 與 運 動

**77. 平均速度.** 譬如一人走 30 [分]鐘,行路 600 [米],當然在途中不免或快或慢,但他行路的平均快慢或平均速度(velocity)是每[分]鐘 30 [米]. 若我們已知一輛汽車的平均速度是每[小時] 25 [哩],就可知道他每日(24 [小時])能行路  $25 \times 24 = 600$  [哩]. 概括的說:

$$\text{距離}(s) = \text{平均速度}(\bar{v}) \times \text{時間}(t)$$

即 
$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

平均速度是以每單位時間內所走的距離來量度,故可用種種不同的單位. 例如某輪船的速度為每[小時] 18 [海里](knot) (1 [海里] = 6080 [呎]). 或短距離賽跑者的平均速度,為每[秒] 9 [米]. 科學上為便於比較起見,通常所用的速度單位為每[秒]幾[米],或每[秒]幾[厘米](簡寫做[米/秒],或[厘米/秒]).

**78. 變速.** 一列火車由站出發,它的速度逐漸增加,將近到下一站停止之前,車速逐漸減小. 車速或從零增至極大,或從極大減至零的時間內,其值無一時不變. 若我們要測定這火

車在其變速時所經路上的某一點之速度，我們可先在靠近這點之處，量定一便利的小距離，再量這車經過此所定距離之時間。例如所定的距離是 60 [厘米]，所量的時間是  $\frac{1}{2}$  [秒]，則這車在所指一點處的平均速度是 120 [厘米/秒]亦可稱為這車在某點的速度。在可能正確量計時間的範圍內，所定的距離愈小，則我們所得這車在某點的速度愈正確。故欲說變速的值，必須指定在某點或某時，例如在第  $\frac{1}{2}$  [秒]鐘之末，其值為 2 [米/秒]，或第 2 [秒]鐘之初，其值為 20 [呎/秒]。

79. 加速度。凡物體由靜而動，由動而靜，由快而慢，由慢而快，用術語來說，都稱為速度的變更。我們乘坐火車，若車突然發動或突然停止，因速度變更極快，每感到不愉快。我們現欲討論，怎樣去計算速度變更的快慢一問題。

譬如一輛汽車，由靜而動，起初的速度  $v_0$  是零，發動後速度逐漸增加，至 10 [秒] 之末，剛增到它的最後速度  $v$  為每 [秒] 10 [米]。合計這車的速度之增量 ( $v - v_0$ ) 是從 0 [米/秒] 到 10 [米/秒]，假定每 [秒] 內所增的速度是相等的，則因這每 [秒] 10 [米] 的速度之增量，是在 10 [秒] 內完成，故在每 [秒] 內所增加的速度，只有每 [秒] 1 [米]。故我們說，這車增加速度的快慢是每 [秒] 增每 [秒] 1 [米] 的速度。像這樣，每單位時間內速度的增量稱為加速度 (acceleration)，以  $a$  記之。用算式來表示：

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度之變更}}{\text{時間}} = \frac{\text{終速} - \text{初速}}{\text{時間}}$$

即 
$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

若  $v_0 = 0$ , 則 
$$a = \frac{v}{t}$$

【例題】 上述汽車的速度是：

$$a = \frac{10[\text{米/秒}] - 0[\text{米/秒}]}{10[\text{秒}]} = \frac{1[\text{米/秒}]}{1[\text{秒}]} = 1[\text{米/秒}^2]$$

$$= 1[\text{米/秒}^2]^*$$

若速度是隨時間的進行而增加的，例如一塊石子從屋頂落下則其加速度為正；若速度是減小的，例如向上拋石，則加速度為負，或稱減速度 (retardation)。

80. 等加速運動。 若每單位時間內速度的變更之值，是相同的，這種加速度稱為等加速度 (constant acceleration)，這種運動稱為等加速運動 (uniformly accelerated motion) (本書只討論等加速運動)。

等加速運動中速度的變值，猶如一個斜面上高度的變值。若以一個斜面 (圖 91) 上，從底至頂的各點之高度，如  $v_1, v_2$  等，代

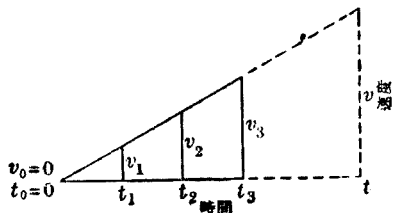


圖 91. 等加速度的圖示。

表變速之值，以斜面底邊的各點，如  $t_1, t_2$  等，代表時間的進行，就可得一個等加速運動的想像。並且用縱橫二坐標來表示這

\* 加速度雖可這樣簡寫，但說起來或讀起來仍應作每〔秒〕加每〔秒〕幾〔米〕的速。



種隨點而變的速度之變化，是科學上一種最通用的圖示方法，  
我們現在要尋出等加速運動中速度，時間，距離三者的關係。

(1) 速度與時間。 據加速度的定義，

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

( $v_0$  是在  $t$  時間初的速度， $v$  是在  $t$  時間末的速度， $v_0$  可為任何值，但本書為便於初學起見，所用初速度之值以零為限)，若  $v_0 = 0$ ，則

$$v = at \quad (1)$$

(2) 距離與時間。 據平均速度的定義，

$$\bar{v} = \frac{s}{t}, \quad \text{而} \quad s = \bar{v}t$$

即：距離為平均速度與時間相乘之積。 但假定速度逐漸增加，則欲計算某時間( $t$ )的距離( $s$ )，非先計算此時間內的平均速度不可；但是在等加速運動中，速度的增加適與時間成正比(圖91)，故若最初的速度為零，又  $t$  (秒) 之末的速度為  $v$ ，則其平均速度  $\bar{v}$  為

$$\bar{v} = \frac{0 + v}{2} = \frac{v}{2}$$

(圖 91 直角三角形的平均高)，

故 
$$s = \bar{v}t = \frac{v}{2}t$$

(圖 91 直角三角形的面積)。

又據公式(I)， 
$$v = at$$

$$\text{故 } s = \frac{at}{2} \times t = \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{II})$$

(3) 速度與距離。 據(I)式,

$$t = \frac{v}{a},$$

據(II)式,

$$s = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} a \left( \frac{v}{a} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{v^2}{a}$$

$$\text{故 } v^2 = 2as \quad (\text{III})$$

若能記憶以上 I, II, III, 三個公式, 在計算問題時, 可簡捷不少。

【例題】 一輛汽車的加速度為每〔秒〕增加每〔分〕42〔米〕的速率, 從停車站出發後, 須歷多少距離, 方可達到每〔小時〕48〔仟米〕的速度? 又歷時多久?

$$a = 42 \text{ [米/分/秒]} = 0.7 \text{ [米/秒/秒]}$$

$$v = 48 \text{ [仟米/小時]} = 800 \text{ [米/分]} = 13.3 \text{ [米/秒]}$$

$$s = \frac{v^2}{2a} = \frac{(13.3)^2}{2 \times 0.7} = \frac{176.89}{1.4} = 126.35 \text{ [米]}$$

$$t = \frac{v}{a} = \frac{13.3}{0.7} = 19 \text{ [秒]}$$

### 習 題 二 十 三

1. 每〔小時〕行路 7.2〔仟米〕, 等於每〔秒〕鐘幾〔米〕?
2. 聲的速度為 340〔米/秒〕, 槍彈的速度為 550〔米/秒〕。 若放槍打一相距 800〔米〕的靶, 開槍後須歷若干時, 方能聽得子彈着靶的聲音?

3. 一列火車的速度在第 2 [秒] 鐘之末為 80 [米/分], 在第 17 [秒] 之末為 600 [米/分], 這車的加速度為每 [分] 每 [分] 幾 [米]?
4. 下列三個加速度那一個最大?
  - (a) 每 5 [秒] 每 [秒] 1 [米]
  - (b) 每 [秒] 每 5 [秒] 1 [米]
  - (c) 每 [秒] 每 [秒] 5 分之 1 [米]。
5. 一輛汽車能發生每 [秒] 每 [秒]  $1\frac{1}{2}$  [米] 的加速度。從靜止達到每 [分] 1.26 [千米] 的速度, 需時若干?
6. 一輛機車能給一列車每 [秒] 每 [秒] 5 [呎] 的加速度, 從靜止達到每 [秒] 60 [呎] 的速度, 須經多少距離?
7. 一輛腳踏車, 從靜止而加速, 在 3 [秒] 內行路  $\frac{1}{2}$  [米]。求其加速度及在第 3 [秒] 末的速度。
8. 作等加速運動的一物體, 在第 1 [秒] 內行 3 [米], 在第 7 [秒] 內經多少距離?

**81. 落體。** 小孩失物, 必向地上尋覓。凡無拘束的物體必向地落下, 這是一種最習見的物理事實。照普通的觀察, 輕的物如羽毛或紙張, 比石落下為遲緩。但伽利略氏 (Galileo) (約在 1590 年) 首先用實驗來證明重量不同的物體, 落下是一樣快的。他在意大利登披薩 (Pisa) 斜塔 (圖 92) 的頂, 放落二個大小相同而重量與質料不同的球, 看到它們同時落下, 同時着地。他因此推論, 倘無空氣的阻礙, 輕的物如羽毛, 紙屑, 與重的物如鉛塊, 鐵塊, 落下一樣快。後來抽氣機發明, 就有人用銅錢與羽毛, 使在真空管中落下 (圖 92) 而證明他的理想。管中如有空



圖 92. 披薩斜塔。

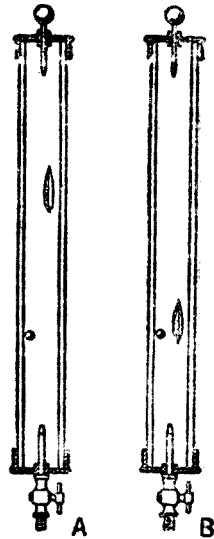


圖 93. 在空氣中(A)與真空中(B)下落的羽毛與銅錢。

氣，羽毛落下較緩。若把空氣抽去，羽毛與銅錢落下一樣快。這就是說：一切自由落下物體 (freely falling bodies) 有相同的加速度。

82. 落下是等加速運動。物體落下太快，不容易直接觀察。我們可用一個銅球，令其自靜止起在斜面上的槽內滾下。這種運動與自由落下性質相同，同是由於地心的引力，不過使加速度縮小而容易量計罷了。下表是一個實驗的記錄與結果，證明落下運動有等加速度。

(1) $t$ 〔秒〕數	(2) $s$ 所經的全距離	(3) 本〔秒〕所經距離	(4) $v = 2s/t$ 本〔秒〕末的速度	(5) $a = v/t$ 加速度
1	30〔厘米〕	30〔厘米〕	60〔厘米/秒〕	60〔厘米/秒/秒〕
2	120	90	120	60
3	270	150	180	60

(1)(2)兩項是實驗的原記錄，可見全距離與時間的平方成正比。後三項是從前二項推算出來的。

**§3. 重力所生的加速度之值。** 無拘束的物體，因與地球互相吸引而落下，愈近地面，落下愈快。自由落下物體的加速度，稱為重力加速度 (acceleration of gravity)，特以“ $g$ ”字記之。測定“ $g$ ”值的方法，可用擺 (pendulum) 的試驗。



圖 94. 單擺。

凡懸掛的物體若經撥動，因被地心引力引着，必起往復擺動，故這樣的物體稱為擺，例如鐘擺。一根細線掛起一個金屬小球 (圖 94)，稱為單擺 (simple pendulum)。若使其擺動，這球一來一往的時間相等。這個擺動的特色，早經伽利略氏因觀察披薩教堂中懸燈的擺動而發見。擺動往復的時間，與球的重量無關，與擺動不很大的角度亦無關，但

與擺長的平方根成正比，與重力加速度的平方根成反比。用公式來表示，則：

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

式中  $t$  爲一來及一往(圖 93 中,  $A$  至  $B$ , 及  $B$  至  $A$ ) 的時間, 以 [秒] 數計;  $l$  爲擺長 ( $OC$ ), 以 [厘米] 數計;  $g$  爲重力加速度, 以每 [秒] 每 [秒] 幾 [厘米] 計,  $\pi = 3.14$ 。我們可直接量  $l$  與  $t$ , 而  $\pi$  是已知值, 故可從上列公式計算  $g$  的值, 即

$$g = \frac{4\pi^2 l}{t^2}$$

重力加速度的值, 約爲每 [秒] 每 [秒] 980 [厘米], 或每 [秒] 每 [秒] 32.2 [呎]。各地方, 因離地心有遠近, 故所得的  $g$  值略有不同。

關於落體運動的計算問題, 與別種等加速運動一樣, 故前述的三個公式可改爲

$$(1) \quad v = gt$$

$$(2) \quad s = \frac{1}{2}gt^2$$

$$(3) \quad v^2 = 2gs$$

若用速度  $v$  將手中的物體向上直拋, 上面三個公式亦同樣有用, 不過這時的  $g$  是負值, 就是減速度。物體到達最高點時, 其速度爲零。

【例題】直向上擲球, 球在空中共歷 8 [秒] 鐘。球離手時有何速度? 球向上行多少高?

因球上行與落下各爲 4 [秒] 鐘, 故  $t = 4$  秒。

$$v = -gt = -980 \times 4 = -3920 \text{ [厘米/秒]}, \text{離手向上速度。}$$

$$s = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2} \times 980 \times 16 = -7840 \text{ [厘米]}, \text{向上距離。}$$

式中負號表示  $v$  與  $s$  都是在向上的方向。

## 習 題 二 十 四

1. 從飛機上擲下炸彈，經 9 [秒] 鐘着地，飛機高若干？
2. 從石壁頂上落下的一塊石，到地有 50 [米/秒] 的速度，這石已落下多少時？石壁高幾[米]？
3. 一個人在地球上能跳 1 [米] 高，在月球上(其  $g$  為地球上  $g$  的  $\frac{1}{6}$ ) 能跳多少高？
4. 一塊石子落下，在第 5 [秒] 鐘之末有若何的速度？
5. 一塊石子落下，在第 4 [秒] 鐘內行路多少長？
6. 球從斜面滾下，為何是由於地心引力？試繪力圖來說明。
7. 朝天開放來福槍，子彈離槍口的速度假定為每 [秒] 550 [米]，子彈從出槍口回到地面，共歷多少時間？
8. 一個單擺的週期，即每一來往的時間，是 1 [秒] 鐘，這擺長多少？
9. 一個單擺長 20 [英尺]，每一擺動，即一來或一往，歷時多少？
10. 一只擺鐘走得太快，它的擺太長呢，還是太短？

84. 牛頓運動定律。以前幾節中，我們所討論的是物體怎樣運動，例如等速運動，等加速運動，現在要研究物體運動的緣故。英國大科學家牛頓氏(Sir Isaac Newton, 1642-1726) 首先闡明運動與力的關係，創立三條極簡單的運動定律，我們稱之為牛頓運動定律(Newton's laws of motion)。

85. 牛頓第一定律——慣性。物體不能自己發動，也不能自己靜止，這是在自然界中最明顯的一種事實。譬如要拉動

輛貨車，雖在平坦的路上，最初亦須用很大的力；一經拉動之後，稍稍費力，就可使車繼續前進。但若要使它停止，則又須用力反推着。從這個平常的例子，就可看出，凡靜的物體似乎常要保持其靜的狀態，動的物體常要保持其動的狀態。物體不肯變其運動狀態（靜止亦運動狀態之一）之性，名曰慣性（inertia）。牛頓作其第一定律，述物質的慣性如下：

凡物體堅持其靜止或在一直線內的等速運動之狀態，非受外力的強迫不會變動。這就是說，若把一件物，如一本書，置在桌上，倘沒有外力將其移動，必永久留在其位置上。若在冰上溜一石片，倘沒有摩擦力將其阻止，則此石片必繼續循直線進行，永無止境。

我們可用“銅圓與卡片”的試驗來說明慣性。用左手一個指頭挑起一張名片，片上安置一個銅圓，用右手的兩指把名片彈出，銅圓因慣性而仍留在指頭上。銅圓有微動，是由於一些摩擦力所致。這試驗平常用圖 95 中所示的器具來做。

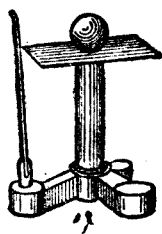


圖 95.

慣性阻止球動。

依據這第一律，若一運動物體完全不受外力的作用，必在一直線內作等速運動。反過來說，如落下的石愈下愈快，擲出的球行於彎路，都是表演有外力作用着，這二例中所遇的外力都是地心引力。

86. 離心力。把一個運動的物體，從它的直線進程中拉開或推開，必發生一個曲線的運動。這種拉力或推力稱為向心力



(centripetal force)。繫石子於繩的一端，手執其他端而迴旋之，則石子動於圓周上，若一放手，石子因慣性的表顯，就沿圓上切線的方向而依直線飛出。可見欲物體動於曲線內，必須有個外力作用着，這是牛頓第一律的一個推論。手拉石的力就是向心力，同時石子拉手的力的叫做離心力(centrifugal force)。這二力同時的作用，發生繩上的張力。

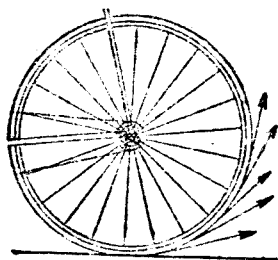


圖 96. 泥漿沿切線方向飛出。

離心力的例子甚多。車輪上的泥漿是只靠附着力而留在，若泥漿的離心力大於其附着力，則泥漿必沿切線而飛出(圖 96)。騎疾馬轉灣，身體須向內方欹側；地球赤道的直徑比兩極的直徑大，都是由於離心力的作用。

## 習 題 二 十 五

1. 滾球於地上，球不能永久前進，這與牛頓運動第一律相抵觸麼？
2. 從飛機上擲彈，彈何以不能鉛直落下？
3. 木匠欲裝緊其鋸頭，常執鋸柄而將柄的他一端搗於硬地上，何故？
4. 去衣服上的灰塵，往往用手拍擊，何故？
5. 在行動的火車中走路，向前端走容易呢還是向後端走容易？試言其理。

87. 牛頓第二定律——加速度。 牛頓運動第二定律是繼

續他的第一定律，而敘述物體受着外力的作用時，將發生什麼狀態。凡一個外力作用於一個物體時，這物體必在力所作用之方向上發生加速度，且這加速度與這外力成正比。所謂外力者，是指物體上所受一切平衡力以外之力而言，故又稱**不平衡力**，**加速力**，或**淨力**，而平常亦簡稱力。例如馬匹拉車有每〔小時〕10〔哩〕的等速度，馬匹誠有力作用於車，但尚有別種力，如摩擦力，風力等作用於反對的方向，而適與馬的拉力相平衡。其使車前進的淨力實等於零；假使淨力不等於零，則車不但前進，且必加速。

學者須注意，不可分離者為淨力與加速度，而非淨力與運動。如上述馬車的一例中，速度無變更時，雖有運動，卻無淨力。

牛頓第二定律：一物體的加速度，與發生這加速度的力成正比，且加速度與力的方向相同。

譬如有力（淨力） $F_1$  在某時作用於一物體而發生一加速度  $a_1$ ，又有力  $F_2$  在另一時作用於同物體而發生另一加速度  $a_2$ ，則

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

換句話說，在某物體上用力加倍，發生的加速度亦加倍；用力減半，發生的加速度亦減半。

物體落下，是加力於物體的一種效果。在這裏，所作用的力是已知的，就是這物體的重  $W$ 。加速度亦是已知的，就是  $g$ ，其值為每〔秒〕每〔秒〕980〔厘米〕，或每〔秒〕每〔秒〕32.2〔呎〕。故我們常利用物體的重與重力加速度，來作為比例式中的二項，

就是

$$\frac{F}{W} = \frac{a}{g} \quad \text{即} \quad F = \frac{W a}{g}$$

我們若要給與某物體任何一個加速度，就可用這公式來計算其所需的力，式中  $F$  與  $W$ ，不論為〔克〕，〔仟克〕，〔磅〕，〔噸〕，等，其單位必須相同， $a$  與  $g$  的單位亦須相同。

【例題一】 一列貨車共重 1000〔噸〕，若要給它一個每〔秒〕每〔秒〕 $\frac{1}{2}$ 〔呎〕的加速度，需力多大？

$$\frac{F}{1000} = \frac{0.5}{32.2}$$

$$F = \frac{1000 \times 0.5}{32.2} = 15.6 \text{〔噸〕}$$

(注意這是淨力。)

【例題二】 用繩提起一塊 4.9〔仟克〕重的鐵，在  $\frac{1}{2}$ 〔秒〕內達每〔秒〕100〔厘米〕的速度。手用力多大？

$$\text{給於鐵的加速度, } a = \frac{v}{t} = \frac{100}{0.5}$$

$$= 200 \text{〔厘米/秒/秒〕}$$

$$F = \frac{W}{g} a = \frac{4.9}{980} \times 200 = 1 \text{〔仟克〕, 這}$$

是用於加速的力。

手提的力 =  $W + F = 4.9 + 1 = 5.9$ 〔仟克〕，就是繩的張力。

上題亦是說明物體慣性的一例。物體在改變運動狀態時，方才表現其慣性，故加速所

用之力，實是用來制勝物體慣性之力。若用紗線吊起一個熨鐵(圖 97)，

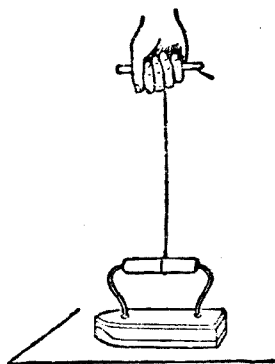


圖 97. 慣性留止物體。

緩緩拉之，可把鬚鐵提起；若用力猛驟，鐵未升起而線已先斷了。（試說明其理由）。

## 習題二十六

1. 一個人在地上拉一袋 50 [仟克] 重的豆，每 [分] 鐘加速每 [秒] 588 [厘米]，這人使豆袋加速所用的力是多少？
2. 在第一題中，若豆袋在地上的摩擦力是 16 [仟克]，這人共用多少力？
3. 用手從地舉起 1 [仟克] 的重，給於這重的加速度是每 [秒] 每 [秒] 98 [厘米]，問手共用力多少？
4. 施 1 [仟克] 力於 1 [仟克] 重的物體上，能發生多少加速度？
5. 一隻箱重 644 [磅]，用滑車與繩索把它從地上升起。拉索的力除抵當箱重與滑車的摩擦力外，還餘 10 [磅]。求箱的加速度 ( $g = 32.2$  [呎/秒/秒])。
6. 用滑車與索吊起一個 10 [仟克] 的重。(a) 若以每 [秒] 每 [秒] 19.6 [厘米] 的加速度把重升起，索上的張力多大？(b) 若以同一的加速度使重下降，索的張力多大？

**88. 動量與牛頓第二定律。** 在上節中，我們討論到發生或變更一物體的運動之力，與其所生之加速度，有密切的關係。但還沒有顧到運動物體的質量。經驗告訴我們，愈笨重的物體，愈不容易變更其運動狀態。發生運動之力的效應，必包括其所動的質量與所生的速度，故物理學上有一個動量(momentum)的名詞，這是質量與速度的相乘積，就是

$$\text{動量} = \text{質量} \times \text{速度} = mv$$

例如一輛笨重的大車，比了同速度的一輛小車有較大的動量，故令它停止較難。同一輛車，速度愈大，它的動量也愈大。

我們已經知道，要改變一個物體的速度，必須有有一個外力。現在知道動量的意義，可更進一步的說，要改變一個物體的動量，必須有一個外力。牛頓第二律就是這樣說：改變一個物體的動量之快慢，與這物體上所受的外力成正比。所謂改變動量之快慢者，就是在力所作用的時間內改變多少動量。假定有力  $F$ ，在  $t$  時間內，把一個靜止的物體（初速  $v_0 = 0$ ，故  $mv_0 = 0$ ）拉動，增加其動量到  $mv$ ，則其動量改變的快慢就是  $\frac{m(v - 0)}{t}$ 。但是  $\frac{v - 0}{t}$  就是加速度  $a$ ，故亦可說  $F$  與  $ma$  成正比。 這個關係不僅限於同一物體，任何力對於任何物體都是一樣的。故

$$F_1 : m_1 a_1 = F_2 : m_2 a_2$$

即 
$$\frac{F_1}{m_1 a_1} = \frac{F_2}{m_2 a_2} = K.$$

$K$  是一個不變的比值。這  $K$  的數值，全視乎  $F, m$  與  $a$  所用的單位而定。假定我們選用一個單位力，為能使一單位質量發生一單位加速度之力，則  $F, m$ ，與  $a$  均為 1， $K$  亦必為 1。由這單位力的定義，於是牛頓第二運動定律的公式，變為極簡單的形式，就是

$$F = ma.$$

這公式不但表示對於同一物體， $F$  正比於  $a$  的事實，並且使

第二定律可以精確地應用到在任何環境下的任何物體，同時質量使第一定律中所說的慣性得到一個確定的數值上的解釋。

89. 質量與重量。既然是  $F = ma$ ，則在落體情形下，

$$W = mg$$

我們若回想到以前伽利略氏落體試驗的結果，一切物體以同一加速度落下，則從這公式得知，一切物體的質量與它們的重量成正比。這可證明我們以前用重量來比較質量的方法，是有充分理由的。

一物的重量是地球對於這物體的引力。實驗告訴我們，各地的  $g$  是不同的。若把這本書移到山頂上，用彈簧秤來稱，必定發現比在地面上輕的事實，故重量並不是一物體自己固有的量，不過是一件在地球引力環境中之偶然的性質而已。

一物體的質量，隨便在什麼地方與什麼環境之下是不變的。一塊鉛的重量，在極高的山頂上比地面上小得多，但是它所含的質量一無變更。所以科學家公定了一塊鉛製的仟克原器，叫做標準仟克，保存在巴黎附近國際度量衡局中，作為質量的標準。全世界稱物所用的砝碼，是用天平來比較這標準仟克而製造的。故在科學上是用質量來做量度的基本單位，而不用重量來做基本單位。換句話說，標準仟克原來是質量的標準，而非力的標準。

90. 力的單位。在科學上通常用標準仟克的千分之一，就

是〔克〕，做質量的單位。加速度的單位，是根據長的單位，〔厘米〕，與時間的單位，〔秒〕，而定，就是每〔秒〕加速每〔秒〕1〔厘米〕。質量與加速度的單位既定，從公式  $F = ma$ ，力的單位亦隨之而定。在科學上，力的單位叫做1〔達因〕(dyne)，

$$1 \text{〔達因〕} = 1 \text{〔克〕} \times 1 \text{〔厘米/秒/秒〕}$$

故1〔達因〕，是能使1〔克〕質量發生每〔秒〕每〔秒〕1〔厘米〕的加速度之力。 這種根據〔厘米〕，〔克〕，〔秒〕三基本單位而成的單位，叫做厘米·克·秒單位(C.G.S. unit)。

【例題一】一物的質量為500〔克〕，需用多大的力方可使它每〔秒〕加速每〔秒〕10〔厘米〕？

$$F = ma = 500 \times 10 = 5000 \text{〔達因〕}。$$

因重與質量為正比，故我們在日常稱一〔克〕質量的重，就說一〔克〕重。我們平常說用簪力10〔仟克〕，就是指所用的簪力，等於10〔仟克〕質量的重。這是因為力的基本單位，〔達因〕，很小，只在科學上適用，故日常計力，每用〔克〕。

因為 
$$W = mg$$

故 
$$1 \text{〔克〕力} = 1 \text{〔克〕質量} \times g \text{〔厘米/秒/秒〕} = g \text{〔達因〕}$$

即 
$$1 \text{〔達因〕} = \frac{1}{980} \text{〔克〕力}。 \text{ (近似的)}$$

故我們所說1〔克〕重或1〔克〕力的意思，就是指  $g$ 〔達因〕。因為〔達因〕才是力的基本單位。

綜括以上所論：

$$F = ma = \frac{W}{g} a$$

所以我們在計算問題的時候，可以有二個方法：

(1) 若已知數中有質量，我們用  $F = ma$  一公式， $m$  以〔克〕計， $F$  以〔達因〕計。

(2) 若已知數中表出物體的重量，我們當用  $F = \frac{W}{g} a$  公式來計算，此時  $W$  若以幾〔克〕重計， $F$  亦為幾〔克〕力。

【例題二】施 20〔克〕的力於某物體上，發生每〔秒〕每〔秒〕 5〔厘米〕的加速度，求這物體的(1)質量與(2)重量。

(1) 第一方法：

$$F = ma$$

$$20 \times 980 \text{〔達因〕} = m \times 5$$

$$m = 3920 \text{〔克〕}$$

$$W = mg = 3920 \times 980 = 3,841,600 \text{〔達因〕}$$

(2) 第二方法：

$$F = \frac{W}{g} a$$

$$20 = \frac{W}{980} \times 5$$

$$W = \frac{980 \times 20}{5} = 3920 \text{〔克〕重。}$$

91. 動量與力的衝量。 第 88 節中已經說過，要變更一個物體的動量，( $mv - mv_0$ )，必須有一個外力  $F$ ；外力愈大而作用的時間愈短，動量的變更乃愈快。依據牛頓第二定律，

$$F = ma = m \frac{(v - v_0)}{t}$$

若物的初速  $v_0 = 0$ ， $F = \frac{mv}{t}$  (即  $= \frac{Wv}{gt}$ )，



$$\text{即} \quad Ft = mv \left( \text{即} = \frac{W}{g} v \right)$$

這力與其作用的短時間相乘之積，叫做力的衝量 (impulse of force)。例如射彈出槍口，鐵鎚打釘入木，彈與鎚的動量之變更，都是由於力的衝量。近於衝動式的力，叫做衝力 (impulsive force)。

一物體的動量的變值  $mv$  既等於力的衝量  $Ft$ ，故動量的單位，亦必為力的單位乘時的單位，例如〔克·秒〕，〔仟克·秒〕，〔磅·秒〕等，在厘米·克·秒單位制中，動量的單位為〔達因·秒〕。

前節曾說，動量等於質量與速度之積，所以動量的單位又可為質量的單位乘速度的單位，例如〔克·厘米/秒〕。因為 1〔達因〕=〔克〕·〔厘米/秒<sup>2</sup>〕。於是

$$1 \text{〔達因·秒〕} = 1 \left[ \frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2} \right] \text{〔秒〕} = \left[ \frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}} \right]$$

所以上述動量的二種單位，實是一樣的。

【例題一】 一粒彈丸，質量為 5〔克〕，在小彈弓上以每〔秒〕 100〔米〕的速度射出，力的衝量多大。若弓弦彈着彈丸的時間為  $\frac{1}{5}$ 〔秒〕，則衝力多大？

$$Ft = mv = 5 \text{〔克〕} \times 10,000 \text{〔厘米/秒〕} = 50,000 \text{〔達因·秒〕}$$

$$F = \frac{50,000 \text{〔達因·秒〕}}{\frac{1}{5} \text{〔秒〕}} = 250,000 \text{〔達因〕}, \text{約 } 250 \text{〔克力〕}.$$

【例題二】 一座水龍射出的水以每〔秒〕 150〔呎〕的速度，正交地擊着於磚牆上，擊着力為 100〔磅〕。問每〔秒〕鐘有多少水射在牆上？

對於這問題我們可先寫公式如下：

$$F = \frac{W}{t} \times \frac{v}{g}$$

$$\frac{W}{t} = \frac{Fg}{v} = \frac{100[\text{磅}] \times 32.2[\text{呎/秒}^2]}{150[\text{呎/秒}]} = 21.4[\text{磅/秒}]$$

## 習題二十七

- (a) 30 [達因] 的力作用於 5 [克] 質量時，能發生多大的加速度？  
(b) 若這質量從靜止而發動，在 4 [秒] 鐘內能行多遠？
- 施多少力於 1 [克] 重的物體，方能發生每[秒]每[秒] 1 [米] 的加速度？
- 施多少力於 1 [克] 質量的物體，方能發生每[秒]每[秒] 1 [米] 的加速度？
- 施 1 [仟克] 的力於某物體上，發生每[秒]每[秒] 9.8 [厘米] 的加速度，求這物體的質量。
- 在什麼地方稱物較重，在赤道上呢還是在兩極上？試說出二個理由。
- 你到高山上去稱物而要正確，應當用那一種秤？何故？
- 一個體重 70 [仟克] 的賽跑者，在中途達每[秒] 6.5 [米] 的速度時有多少動量？為什麼他不能立刻停止？
- 一隻 8000 [噸] 的船每[小時] 行 4 [哩]。欲在 2 [分] 鐘內使它停止，須用多大的減速力？
- 一個 2 [仟克] 的鎗，以每[秒] 12 [米] 的速度打着一釘。若那釘入木的平均阻力是 600 [仟克]，須歷時多少，鎗方靜止？
- 一支槍每[分] 鐘發 100 彈，每彈重 30 [克]，以每[秒] 300 [米] 的速度射出，求槍身受到的平均力。

92. 牛頓第三定律——互作用。 牛頓第一律與第二律只講到作用於物體上的力，而沒有講到力由何而起。他的第三律就是用來補這個缺點的。

這條定律是根據於二個熟知的事實。第一個事實是，在自然界中，凡力之作用，必關涉二個物體，一個施力，一個被力所施。譬如拉馬車者是馬，但倘無被拉的車，馬就無所施其拉力了。我們走路，似乎自身會行進，其實是因脚底推着路面，才能進行。倘使走在冰上，或滯滯的道路上，就沒有東西來推着我們的脚前進，因此難於舉步。物體因被重力所拉而落下，但這重力是地球所施的。故在自然界中，一力存在，必有一個施力的物體，一個受力的物體。

更進一步說到第二個事實。在自然界中，凡有一個力，不但關涉二個物體，且必有另一個力。就是，力必成對，決不能單個存在。馬拉着車是一個力，車反拉着馬又是一個力，且車拉馬的力與馬拉車的力一樣大。脚底的力推着路面，路面亦以同大的力反推着脚底，故我們能按步前進。地球把落體拉下，但同時物體亦在以等量的力拉起地球，不過地球很大，平常物體的引力很微，所以對於地球絲毫看不出影響。但若我們所設想的物體是一個月球，那就立刻知道是合理的，因為月球環繞地球運行，好比繫在繩端的石塊環繞執繩的手而迴旋一樣。手拉着石塊，石塊亦以相等的力反拉着手。繩子一斷，石子就要飛出。故月球倘使不拉住地球，它就要向空中飛去而不能運行於它的軌道中了。

依據經驗結果，甲物體以一力施於乙物體時，則乙物體便有一個等量而反向的力，施於甲物體，前一力稱做作用(action)，後一力稱做反作用(reaction)。作用與反作用，恆同時成對而發生。

牛頓第三定律：對於每一個作用(即力)，有一個等量而反向的反作用(即反力)。

置書於桌上，桌面受到書向下的壓力。同時，書受桌的抵抗，得一向上的托力，此二力都等於書重，即其大小相等，方向相反，恰如牛頓第三律所說的關係。對於書來說，書受二力，它受到地球向下的引力，又受到桌面向上的托力，二力的值等而向反，適好平衡，書因而靜止於桌面上，不致下墮。桌為何靜止，可照同樣的理由去推想。

用繩掛石，繩繫於壁上。那時，繩對壁施有向下的拉力，壁對繩施有向上的拉力，這是第一對力。繩有拉石向上的力，石有拉繩向上的力，這是第二對力。地球有拉石向下的力，石有拉地球向上的力，這是第三對力。這三對力，分別是等量而反向的二力。可是，地球拉石的引力，不一定等於繩拉石的力，在石塊鉛直地靜掛時，這二力是相等的。用手拉繩，加大繩拉石向上的力，超過地球引石向下的重力，便可使石向上運動了。那時，石拉繩向下的力亦增大，但非石所受之力，與石的運動無關。若把繩割斷，繩對石便無拉力，石祇受到地球的引力；外力既不平衡，自要以加速運動下落，直到落至地面，由地面的托力將其重力平衡時才會停止。當時地面所受石的壓力，等於石所受地面的托力，但是我們討論石的運動，以石為主體，祇要顧及地面對石作用的力，不必顧到石對地面作用的力。

總括地說：物體的運動狀態若不改變(即靜止，或在一直線上做着等速

動，方向與大小都不改變)，那時，作用於物體上的外力是平衡的。使物體加速，減速，或改變方向，其上必須有不平衡的外力作用着。至於第三律所言等值而反向的二個力，是二個物體間的相互作用，並不作用於同一物體上。

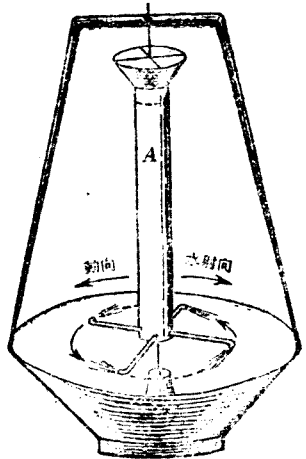
## 習 題 二 十 八

1. 試從日常生活方面，舉出牛頓第三律的例三個。

2. 兩手各用 10 [磅] 的力拉一根繩於其兩端，繩上的張力是 10 [磅] 呢，還是 20 [磅]？

3. 放槍射彈，槍身向後座，何故？

4. 圖 98 是一個最簡單的水車模型，可用來表示水輪機(圖 52) 的原理。直立的有底圓筒 (A) 內的水，由筒壁近底處成卍字形的四小管射出，水輪全部即以水射反對的方向旋動。試說明其理。



5. 倘把第 98 圖中的反擊水輪機，圖 98. 反擊水輪機的原理。  
就是成卍字形的四小管，置於抽氣罩下面把罩內的空氣抽去，那末水輪會轉動麼？(圓筒 A 穿過空氣罩的頂，但不使罩漏氣。)

## 第 六 章 復 習 題

1. (a) 速度與加速度有何區別？(b) 等速度與等加速度有何區別？
2. (a) 物體放在桌面上時，何者為作用，何者為反作用？(b) 這物體繫於一繩上時，何者為作用，何者為反作用？

3. 試舉二個例子來說明牛頓第一定律，為本書中沒有說過的。
4. 斧頭裝柄，最好的方法是什麼？
5. 乘坐在一輛重載汽車中比在一輛輕載汽車中舒服些，何故？
6. 把平地上的一隻擺鐘移到高山上，這鐘走得快些還是慢些？在夏天，擺鐘走得快些還是慢些？怎樣來糾正它？
7. 一塊落下的石子，能發生比它重量大的力麼？
8. 一個人立在一座台秤上，彎腿把身體一起一落，這樣動作在秤上有什麼表顯？何故？
9. 一輛自由車沿曲線轉灣時跌倒了。它倒向那一方，在曲線之外還是在曲線之內？何故？
10. 秤一個孩子的重量，在廣州比在北平輕些。試言二個理由。

## 第七章

### 能

93. 能。我們在第一章中，已經講過“功”是“力”與“距離”的相乘積。若一個力推動一個物體，使物體順力向而動，這是力作功於物體上。若一個物體逆着一個力而動，這是物體對於力作功。

任何物體在能作功的狀況之下，都稱為有“能”(energy)。

凡物體有“能”，只因爲先時有力作功於它們身上。譬如第 99

圖中，有繩繞過一個無摩擦力的滑輪  $P$ ，繩的一端繫 1 [仟克] 的重  $B$ ；今把 1 [仟克] 的重  $A$ ，從(1)位升高 1 [米] 至(2)位，而鈎住於繩的他一端  $H$ 。舉  $A$  從(1)至(2)，需功 1 [仟克·米] 作於  $A$  上。 $A$  在(1)位時，本沒有作功能力，但升至(2)位時它就能夠作功了；因爲若用微力幫助  $A$  發動， $A$  就能自行回至(1)位，且同時拉起  $B$  重升高 1 [米]，換句話

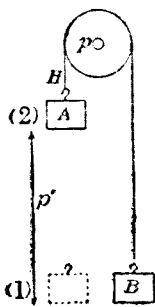


圖 99. 位能的圖解。

說， $A$  作於  $B$  上的功恰等於原來  $A$  上被作的功。 $A$  在被升高時把“能”收儲着；在落下時，把所儲的“能”放出而作功於  $B$ 。

故一物體的“能”，是它所能作功的量。

94. 動能與位能。 物體不但因它的位置被升高而得到作功的量，亦可以因它有了速度而得到作功的量。譬如在汽機上轉動着的一個飛輪，在汽的供給斷絕之後，與在它停止以前，能夠繼續的傳動機器歷若干時。這飛輪的“能”是在先前被發動時所收儲着的。又如開槍射擊，其彈丸因被爆裂的氣體先作功於其上而得速度，所以能飛出而作功於其目的物上。在運動中的任何物體，都能逆着地心引力或摩擦力，或碰動別物體而作功。 這種存儲於運動着的物體內之能，稱為“動能”(kinetic energy)。

升高的重，捲轉或拉長的彈簧，張開的弓等亦都有作功的量。這種由於位置或變形而儲蓄於物體內的能，稱為位能或勢能 (potential energy)。

煤塊燃燒則發生另一種“能”，叫做熱。熱會使氣體膨脹而發動機器，故煤塊儲有作功的量，就是“能”。這種“能”不是因煤塊的運動而發生，而是蘊藏在物質中的，所以亦可稱做一種位能，但並不是普通因地位而發生的位能。煤塊，汽油，食物等物，都是經過化學作用方才儲能，又須經過化學作用方能作功，故它們所儲的位能，常稱為“化學能”(chemical energy)。

95. 動能的計算。 爲了問題簡單起見，假定一個物體動於一直線內。要把這物體發動至某速度，我們不但須對一切阻力作消耗的功，而且須對這物體作功，使它加速。這加速力所作的功並未消耗掉，實是儲存於這物體內，使它後來在逆對阻力之



下,可以自己作功。這種儲存於動體內的作功量,就是它的動能,用等式來表示,則

一物體所有的“能” = 這物體所能作的“功”,

若不計對於摩擦力等所消耗的功,則

一物體所有的“能” = 作於這物體上的“功”,

所以要計算一物體在某速度下之動能,只須計算發動這物體至某速度所需的功量。

以某加速度  $a$  發動一物體所需的力,按牛頓定律(第 89 節)是

$$F = \frac{W}{g} a = ma.$$

若在達到某速以前,這物體所經過的距離是  $s$ ,則作於這物體的功,是

$$Fs = \frac{W}{g} as = mas$$

但從第 81 節,公式 III,我們已知

$$v^2 = 2as$$

或

$$as = v^2/2$$

故加速力  $F$  所作於這物體上的功,是

$$Fs = \frac{Wv^2}{2g} = \frac{mv^2}{2}$$

由此可知,欲發動一個物體,從靜止而至某速度所需的功量,固然可以就加功的情形來計算,但是亦可以很簡單地將物體自己的質量與它最後所得到的速度來計算。這公式不但表示發動一個物體所需的功量,亦是這動體在停止前所能作的功量,故

$$\text{動能} = \frac{Wv^2}{2g} = \frac{1}{2}mv^2$$

一個物體若在加速中，

其動能之增量 = 加速力 × 距離 = 力作於物體上之功；

若在減速中，

其動能之耗量 = 減速力 × 距離 = 物會對力所作之功。

**96. 能的單位。** 應用這公式時，所用的單位必須一致。  $F$  與  $W$  都是力，故不論用〔噸〕，〔磅〕，〔克〕，或〔達因〕，或別種都可，但必須相同。同樣， $s$ ， $v$ ，與  $g$ ，必須包含相同的長的單位。速度  $v$  與加速度  $g$  中通常所包含的時的單位均為〔秒〕，故  $g$  之單位常為 980〔厘米/秒/秒〕或 32.2〔呎/秒/秒〕， $v$  之單位為〔厘米/秒〕或〔呎/秒〕，視我們所用長的單位為〔厘米〕或〔呎〕而定。

在公式之左邊， $Fs$ ，是力乘距離，就是功，故其右邊的動能，亦必用功的單位來表示。通常所用功的單位有〔呎·磅〕，〔呎·噸〕〔克·厘米〕及〔仟克·米〕等。若在厘米·克·秒絕對制中， $m$  以〔克〕計， $v$  以〔厘米/秒〕計， $g = 980$ 〔厘米/秒/秒〕，則動能 ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) 的單位為〔克〕〔厘米/秒〕<sup>2</sup> = 〔克·厘米/秒<sup>2</sup>〕〔厘米〕 = 〔達因·厘米〕。這〔達因·厘米〕有一專名，叫做〔爾格〕(erg)，因〔爾格〕是一個極小的功單位，故亦常用一種較大的單位叫做〔焦耳〕(joule)，1〔焦耳〕 = 10<sup>7</sup>〔爾格〕。〔爾格〕與〔焦耳〕二種單位，在科學研究上是常用的。

**【例題】** 設一輛車，重 10 [噸]，速度每 [小時] 36 [哩]。若要在 100 [呎] 內使它停止，需力多大？

$$V = 36 \text{ [哩/小時]} = 52.8 \text{ [呎/秒]}$$

$$\text{動能} = \frac{10 \text{ [噸]} \times (52.8)^2 \text{ [呎/秒]}^2}{2 \times 32.2 \text{ [呎/秒}^2\text{]}} = 433 \text{ [呎} \cdot \text{噸]}$$

$$\text{故 } F \times 100 \text{ [呎]} = 433 \text{ [呎} \cdot \text{噸]}, \text{ 即 } F = 4.33 \text{ [噸]}.$$

凡動能問題有關“距離”者，用動能方程式來解決最便。

**97. 位能的計算。** 一個被升高的物體的位能，等於升高這物體時所費的功。若高為  $h$  [厘米]，物重為  $W$  [克]，則位能  $= Wh$  [克·厘米]。

## 習 題 二 十 九

1. 把一個重 500 [磅] 的打樁錘升高 30 [呎]，需多少功？這時有多少位能儲在錘內？這錘落下時，能作多少功？若這錘能把樁打入地內  $\frac{1}{2}$  [呎]，加於樁上的平均力是多少？

2. 一塊石子重 160 [克]，以每 [秒] 20 [米] 的速度從手中飛出時，有多少動能？

3. 一輛機車重 80 [噸]，在以每 [小時] 60 [哩] 進行時，有多少動能？

4. 一個 9.8 [仟克] 的重物，從空中落下達於每 [秒] 12 [米] 的速度時，有多少動能？

5. 某物體有 90,000 [爾格] 的動能，若欲使它在 3 [米] 的距離內停止，須用多少阻力？

6. 一個 14 [吋] 口徑的大砲，所射的砲彈重 1400 [磅] 所給與砲彈的

“砲口能”(muzzle energy)是66,500 [呎·噸]。這砲彈離開砲口時的速度有多大?

7. 某孩重50 [仟克],以每[秒]20 [米]的速度出發滑於冰上,他的初動能是多少[爾格]? 合多少[焦耳]? 若在冰上的摩擦力是20 [仟克],使他減速,則在他停止以前能行多遠?

8. 若要把一輛3220 [磅]的汽車,在242 [呎]內,加速至每[小時]30 [哩],除抵勝摩擦力外,尚須多大的力?

**98. 能的轉變。** 在大自然中,動能與位能,以及各種之能不斷的在那裏彼此轉變。

擺的振動是說明動能與位能互變的一個好例子。當擺錘靜

止於其弧底時,兩種能都沒有,因錘既在最低的位置,又沒有速度。把錘拉起至A位(圖100),我們須作功於其上,其功量等於錘重乘高,位能即儲於錘內。錘落下至B位時,這位能已完全變為動能,若能把摩擦力完全消除,這錘將升高至C,與A同高。可見在B的動能適

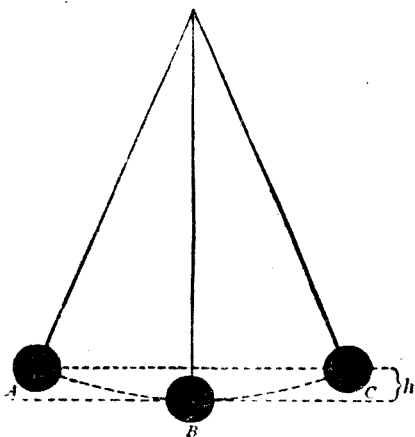


圖100. 擺能之變換。

等於在A的位能。更可知擺錘的“能”在擺動的兩端全為位能,而在擺動的中點全為動能。在居間的一切位置上,一部分為位

能，一部分為動能，但這二者之和是等於最初儲入的位能之量。

上面單說“機械能”的轉變，但是各樣的“能”都可轉變的。植物吸收日光的“輻射能”而生長，其體內儲藏着“化學能”。煤就是古代埋於地下的植物遺體，煤被燃燒時，其化學能變為“熱能”。這熱的一部分可變為儲在壓力下的汽中的“位能”，一座汽機把這位能的一部分變為它的飛輪中的動能，或變為被它傳動的機器中的“機械能”或發電機中的“電能”。這“電能”入於電燈而變為“光能”與“熱能”。

**99. 能量不滅。**“能”是決不會從非“能”之物造成，亦不會變為非“能”之物；只可從一種變為別種，或從一處轉到別處。在任何一個機器中，因摩擦，輻射等關係，常有漏失的“能”，但這並非毀滅掉，不過是變為“能”的另一方式，大部分是熱。

例如一個擺，倘無摩擦，其動能與位能之和，在擺的動程中任何地方是一樣的。但若因摩擦，一部分的能常散失而為熱能，使擺動逐漸緩下，但連熱計算在內，總能量仍不變。

一切實驗的證據，引導到一個定律如下：“能”是不生不滅；宇宙間“能”的總量是不變的，這叫做能量不滅定律 (law of conservation of energy)，為近世科學中最重要的一條定律。

**100. 永動機。** 能量不滅定律保證我們永動機 (“perpetual motion” machine) 的發明是不可能的。永動機是一個造“能”的機器：它是不須原動力來傳動，亦不須燃燒什麼燃料而會自己永遠動作；

就是毫無所費而能輸出有用的功。數百年來，妄費心思於此項發明者頗不乏人，但是這種機器是絕對不可能的。因為人類所已造成的一切機器，都不能免除摩擦，故單是連續運動着，事實上已可逐漸把“能”失掉；若再要用它來作功於他物，則因對其機器本身已需要有“能”之輸出，以彌補損失，苟無相當的“能”之輸入，其本身之運動且必逐漸減少而不久停止，豈能再作功於他物呢？故連續工作着的機器必須接受能的輸入，有用的“能”輸出愈多，所需輸入的“能”亦愈多。用算式來表示能量不減定律如下：

$$\text{輸出} + \text{損失} = \text{輸入}。$$

### 習 題 三 十

1. 朝天拋石，從石離手至落回地面，石的“能”有怎樣的變化？石着地後，它的“能”到那裏去了？
2. 試用天地間水的循環來說明“能”的變換。
3. 試舉二例，表示一個物體同時有位能與動能。
4. 試舉二例，表示位能轉變為動能。
5. 試舉二例，表示動能轉變為位能。

## 第八章

# 溫度與膨脹

**101. 溫度.** 用手觸物，覺着是熱的，就叫做“這物體的溫度高”，覺着冷的，就叫做“這物體的溫度低”。所以溫度(temperature)的意義，是表示物體冷熱的情境。

但是憑感覺來辨別物體溫度的高低，是一件不可靠的事。例如用熱水浸過的手，放進河水中去，就覺得河水的溫度很低；若是把手先浸在冰水中，然後移進河水中去，反覺得河水是溫暖的了。所以要準確地辨別物體溫度的高低，只有用，稱為溫度計(thermometer, 俗稱寒暑表)的儀器方才可靠。

**102. 溫度計.** 取一支內徑極細但是極勻的玻璃管，使管的一端吹成泡狀。把泡與管的一部分盛滿水銀。水銀受熱膨脹，而有一部分溢出管外時，把管口封閉。後來水銀冷卻而收縮，管的上部就留有真空的空間。

倘使把這隻溫度計的泡狀部浸在融雪的冰中(圖 101)，見管中的水銀線端降到某處而停留。把線端的這個位置刻在管壁，這位置就稱做冰點(freezing point)。

再把溫度計的泡狀部浸入沸水的蒸氣中(圖 102)，見水銀線端升到某處而停留，把這時線端的位置刻在管壁，這位置就稱做

沸點(boiling point).

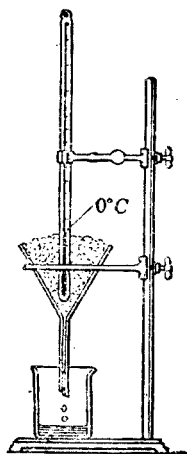


圖 10. 冰點的測定法。

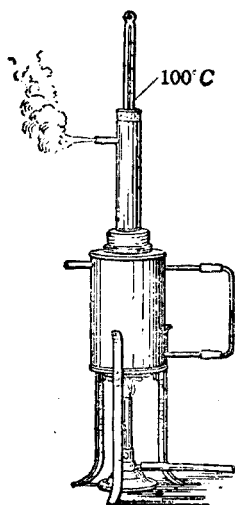


圖 102. 沸點的測定法。

103. 溫度標。 把冰點與沸點間的距離等分成 100 分，每分稱為 1 [度]，並以冰點為零 [度] (簡寫成  $0^{\circ}\text{C}$ )，沸點為 100 [度] (簡寫成  $100^{\circ}\text{C}$ )，這種分度法稱為百分溫標，或稱攝氏溫標(圖 103 左)；這種溫度計，稱為百分溫度計，或稱攝氏溫度計 (Celsius thermometer)，廣用於科學上。

還有把冰點與沸點間的距離等分成 180 分，每分稱為 1 [度]，並以冰點為 32 [度] (簡寫成  $32^{\circ}\text{F}$ )，沸點為 212 [度] (簡寫成  $212^{\circ}\text{F}$ )，稱為華氏溫標(圖 130 右)；這種溫度計，稱為華氏溫度計 (Fahrenheit thermometer)，廣用於家庭與工廠中。



因為攝氏溫度計的 100 分相當於華氏的 180 分，所以攝氏的 1 度相當於華氏的  $\frac{9}{5}$  度，而華氏的 1 度相當於攝氏的  $\frac{5}{9}$  度。有了這樣的關係，把攝氏溫度計測得的溫度改寫成華氏溫度，或華氏溫度改寫成攝氏溫度，那就很容易。但計算時有一事須牢記，就是溫度計的冰點在攝氏為 0 度，在華氏為 32 度。所以華氏的 0 度 ( $0^{\circ}\text{F}$ )，比攝氏的零度 ( $0^{\circ}\text{C}$ ) 要低下 32 個華氏分度。

例如華氏 66 度，高出於冰點的，只有  $34 (= 66 - 32)$  個華氏分度，所以華氏 66 度相當於攝氏  $34 \times \frac{5}{9}$  度。

把華氏溫度改成攝氏溫度，或從攝氏溫度改成華氏溫度，可用下列的方程式來表示：

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

或

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

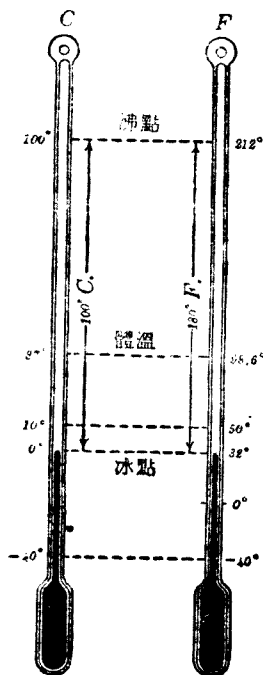


圖 103. 華氏溫度計及攝氏溫度計。

104. 水銀溫度計與酒精溫度計。用着有紅色或藍色的酒精來替代水銀而造成的溫度計，稱為酒精溫度計。酒精受熱時較水銀容易化為氣體，但遇冷時較水銀不易凝成固體，所以酒精溫度計是適宜於計量較低的溫度，水銀溫度計是適宜於計量

較高的溫度。其測溫的範圍，在酒精溫度計自  $-130^{\circ}\text{C}$  至  $78^{\circ}\text{C}$ ；在水銀溫度計自  $-39^{\circ}\text{C}$  至  $350^{\circ}\text{C}$ 。

### 習題三十一

1. 溫度計上的冰點與沸點，是怎樣測定的？
2. 試舉二例，證明利用感覺來決定物體的溫度是靠不住的。
3. 室內最相宜的溫度是  $68^{\circ}\text{F}$ ，相當於攝氏幾度？
4. 健康人的體溫是  $98.6^{\circ}\text{F}$ ，相當於攝氏幾度？
5. 在什麼溫度時，攝氏溫度計與華氏溫度計上的讀數是相同的？
6. 用華氏溫標來表明水銀溫度計與酒精溫度計所能測量的高溫及低溫的範圍。

**105. 固體的膨脹。** 固體熱脹冷縮的事實，可用下列試驗來證明：

圖 104 中的球與環，在同溫度時，球是恰好會穿過環。用火熱球後，這球就難穿過這環，除非這環亦同樣受熱。或使球重行冷卻之後，球方能再過此環。

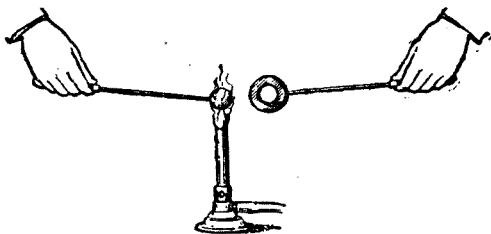


圖 104. 物體受熱而膨脹。

因為固體有熱脹冷縮的本性，所以車輪的鐵箍，必定在高溫時

套上，冷卻後方能把輪子箍緊。鐵路的鋼軌在兩端銜接處必須留些空間，免得夏天炎熱時相接太緊，以致軌身彎曲。

**106. 線脹係數。** 只要有法子，量出固體受熱之後，其一邊要增長多少，於是面積的增大與體積的增大，亦自然容易計算了。考得各種物質，溫度每增攝氏 1 度時，所增長的數量與原長之比，各有定值。此定值稱為物體的線脹係數 (linear coefficient of expansion)。

設有物體在溫度  $t_1$  時，某邊的原長為  $l_1$ ，若溫度增高到  $t_2$ ，某邊的長為  $l_2$ ，則受熱後的增長量為  $l_2 - l_1$ ，每增高溫度 1 [度] 時的增長量當為  $(l_2 - l_1)/(t_2 - t_1)$ ，所以

$$\begin{aligned} \text{線脹係數} &= \frac{\text{溫度每增攝氏 1 度時的增長量}}{\text{原長}} \\ &= \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} \end{aligned}$$

各種物質的線脹係數是不同的，茲列表如下：

玻璃(普通的)	.000009	銅	.000017
鉑	.000009	黃銅	.000018
鋼	.000016	銀	.000019
鑄鐵	.000011	鋁	.000023
鎳	.000013	鉛	.000029
金	.000014	鋅	.000029

(表中所載，玻璃的線脹係數是 .000009，意即 1 [厘米] 長的玻璃，溫度增高 1°C，須增長 .000009 [厘米]，餘可類推)。

107. 熱脹性的應用。有擺的時鐘，其守時的準確與否，全靠擺長的適合與否。但是擺長隨溫度高低而起伸縮，所以鐘擺的柄，必用線脹係數極小的物質製成，方才一年四季的長度改變極小，守時可以比較的準確。例如用乾木製成的擺柄（面上加漆，以防潮濕），較銅鐵所製成者為優。

有一種法國所製的鐘擺，柄用鋼製，其下端懸裝盛水銀的玻璃筒（圖 105）。溫度增高時，擺柄伸長，則重心下降，但筒中的水銀柱卻要伸長而使擺的重心上升。這下降與上升恰好相互抵消，所以擺長不隨溫度的變異而伸縮。



圖 105. 水銀補償擺。

還有利用各種物質的線脹係數不等，而造成許多日用物件。例如把黃銅片與鐵片用釘固合後，用火燄熱之，則接合條向鐵面彎曲，浸入冰水中，就向銅面彎曲。如果把一根接合的長條，彎成螺旋狀，將其一端固着，另一端上固附指針，溫度改變時，

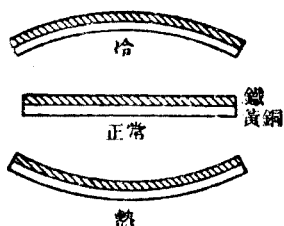


圖 106. 銅鐵接合條。

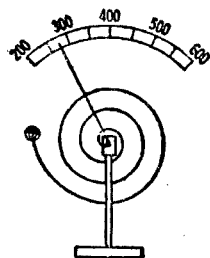


圖 107. 金屬溫度計。

針就迴轉，圖 107 所示金屬質的溫度計，就是這樣製成的。

## 習題三十二

1. 如用熱水澆在瓶頸上，則玻璃質的瓶塞容易脫開，何故？
2. 極熱的玻璃燈罩上濺着了水滴，就容易破裂，這是何故？
3. 沸水注入厚玻璃杯或薄玻璃杯中，則何者易破？
4. 一根鋼軌，在  $0^{\circ}\text{C}$  時長 15 [米]，求在  $25^{\circ}\text{C}$  時的長度。

**108. 液體與氣體的膨脹。** 物體的熱脹冷縮性不僅限於固體，液體與氣體亦是有的。上述的溫度計是利用水銀或酒精的熱脹冷縮性而造成的測溫儀器。現在再做下列二試驗來顯示液體與氣體的熱脹冷縮性。



圖 108.  
液體的熱  
脹冷縮性

燒瓶中滿盛以水，瓶口栓上有孔的塞子，孔中插入一支玻璃管，管後黏一紙尺（圖 108）。把瓶放在沸水中，見管中的水柱初忽下降（因為瓶先脹大），隨後急急上升到了某高度而停止。由實驗考得水由  $0^{\circ}\text{C}$  熱到  $100^{\circ}\text{C}$  時，每 1 [升]（1000 [立方厘米]）要脹大 43 [立方厘米]。

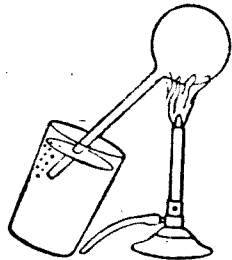


圖 109. 氣體的熱脹冷  
縮性。

如圖 109 中的儀器裝置，瓶內有空氣，以手掌熱瓶，見瓶內的空氣經杯水而逸出。若用火熱瓶，見有多量的空氣經水而逸出；把火移開，見杯水能升入瓶中。這是證明瓶中的空氣，受熱脹而他逸，受冷則體積縮小。

**109. 查理定律.** 取一支內徑小而勻的玻璃管,把一端封閉,將一粒水銀丸裝入管中(圖 110),使管內的乾燥空氣與外面的大氣隔絕.管插入冰水中(溫度在  $0^{\circ}\text{C}$ ),令此時空氣柱的長恰好是 273 [毫米]. 再把這管插入水的蒸氣中(溫度在  $100^{\circ}\text{C}$ ),則見空氣柱增長到 373 [毫米].

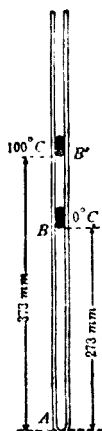


圖 110. 證明查理定律.

由試驗而知,這空氣柱的溫度每增 1 [度],脹長 1 [毫米]. 換言之,空氣的溫度每增高攝氏 1 [度],所膨脹的值,適為  $0^{\circ}\text{C}$  時體積的  $\frac{1}{273}$ . 若是用氫氣或別種氣體來替代空氣,亦能得同一的結果.

推言之,各種氣體在恆壓\*之下,溫度每改變攝氏 1 [度],其體積的改變值適為  $0^{\circ}\text{C}$  時體積的  $\frac{1}{273}$ ,是為查理定律(Charle's law).

**110. 絕對溫度.** 照查理定律,在恆壓下的定量氣體,若在  $0^{\circ}\text{C}$  時的體積為  $v_0$ ,在  $t^{\circ}\text{C}$  時的體積為  $V$ ,應當有下列的關係:

$$V = v_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right) = \frac{v_0(273 + t)}{273} \quad (1)$$

若溫度改變到  $t'$ ,體積就改變到  $V'$ ,則

$$V' = \frac{v_0(273 + t')}{273} \quad (2)$$

由(1)與(2)式,則得

\*實驗時的恆壓為 1 [大氣壓].

$$\frac{V}{V'} = \frac{273 + t}{273 + t'} \quad (3)$$

假定新造一種溫度標，以攝氏的 0 [度] 作為 273 [度]，以攝氏的 -273 [度] 作為 0 [度]，那末此種溫度標上的溫度  $T$  與攝氏溫度  $t$  的關係，為

$$T = 273 + t$$

用這種新溫度標所記載的溫度，稱為絕對溫度 (absolute temperature)，於是第 3 式可改寫成：

$$\frac{V}{V'} = \frac{273 + t}{273 + t'} = \frac{T}{T'}$$

所以在恆壓下的一定量氣體，其體積與絕對溫度成正比例。

### 習題三十三

1. 把溫度計插入熱水中，見管內的水銀柱，初必驟降，繼能上升，試言其故。
2. 氣體受熱膨脹的現象，與固體，液體有何不同？
3. 把  $15^{\circ}\text{C}$ ， $273^{\circ}\text{C}$ — $273^{\circ}\text{C}$  化成絕對溫度。
4. 當室溫在  $0^{\circ}\text{C}$  時取得一瓶氧氣，後來熱到  $50^{\circ}\text{C}$  時，把瓶塞一開，問瓶內氧氣應逃去幾分之幾？

### 第八章復習題

1. 什麼是“熱”？什麼是“冷”？
2. 若把一支溫度計，從一室移入溫度相差甚巨的另一室，或許須歷十 [分] 鐘，那溫度計的讀數才正確，何故？

3. 一個黃銅塞子塞入一鐵管中，在二者都冷時，配合甚密切。若在二者都熱時，配合得更緊些呢還是鬆些？
4. 一定量氣體的體積，溫度，壓力，能否在同時加倍？
5. 一個玻璃塞子塞牢在玻璃瓶口內，不能拔出，也不能扭動，試想出一個把它鬆動的方法。
6. 銀的線脹係數是  $0.000019$ ，這是什麼意義？
7. 酒精有時用於溫度計內，在何種情形下，它是比用水銀好？在何種情形，它比用水銀不好？
8. 火車軌道上，兩根鋼軌接頭處必留有餘隙，何故？設鋼軌長  $10$  [米]，鋪設時的氣溫是  $10^{\circ}\text{C}$ ，當地夏天最高氣溫是  $39^{\circ}\text{C}$ ，間接頭處要留出多少餘隙？
9. 在正常壓力下與  $0^{\circ}\text{C}$  時一[立方米]的空氣，若加熱至  $60^{\circ}\text{C}$ ，而壓力不變，其體積為何？
10.  $32^{\circ}\text{C}$  是絕對溫度幾度？



## 第九章

### 熱的傳播

111. 固體的傳導。手執木桿與鐵桿的一端而置其他端於火燄中熱之，不久見木桿着火，而手執着的一端並不過熱；同時鐵桿雖未着火，但他端已灼手難忍。這明着鐵桿較木桿容易把熱由高溫處傳遞至低溫處。

在試驗時，你發見了物體的本質不須流動，會把熱由高溫處傳遞至低溫處，這現象稱為傳導(conduction)。金屬易導熱，稱為良導體；非金屬不易導熱，稱為不良導體。

各種金屬雖同為良導體，但導熱的快慢並非相等，可用下列的試驗來證明：

取粗細相等的銅梗與鐵梗各一根，把許多銅珠用火漆勻黏在二梗上(圖 111)。若各梗的一端，同放在火燄中熱之，見銅梗上的許多銅珠，按

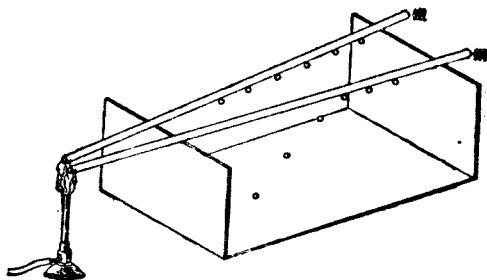


圖 111. 銅較鐵容易傳熱。

着離火燄的近遠依次落下，不久又見鐵梗上的鋼珠亦同樣地落下。同時可以發見鐵梗上的鋼珠開始落下時，銅梗上的鋼珠已落去了許多。這是證明銅的傳熱較鐵為易。

各種金屬的傳熱本領，銀最大，銅次之，鐵又次之。

### 112. 液體及氣體都是不良導體。 圖 112 試管中盛水五分之四，加入幾塊冰，用鉛絲卷把冰塊拘在近管底處。

今用火熱管口的水到沸騰，而在管下端的冰，並不熔解。這是證明水為不良導體。

各種靜止氣體的絕熱性較水為尤大。例如，各種鬆性的毛

絨物，棉花，與絲綿等，內部含有多量的靜止空氣，製成衣服穿在身上，體溫就很難向外發散，故冬時穿着這類的衣服最為相宜。

113. 傳導與感覺。 用手觸着室內的鐵器與木器，覺鐵比木冷。但是用溫度計去測其溫度則相同。若是把鐵器與木器一同放在太陽光下曬着，隔了片刻，再用手去觸着，則覺鐵較木為熱。仍用溫度計去測其溫度，則二器的溫度都是增高些，不

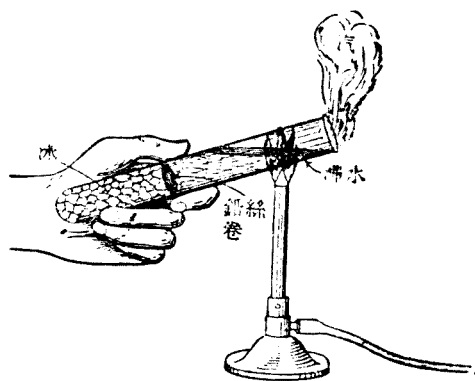


圖 112. 水為不良導體。

過大家還是相同的。現在可利用鐵與木的傳熱不同來解釋這種現象。鐵器與木器在室內時，其溫度較手為低，手觸其上，鐵器很容易地把手掌的熱傳去，木則較難，所以覺得鐵溫較低。二器曬在太陽光中，器溫較手溫為高，手觸其上，鐵熱容易傳到手上，木熱則較難，所以覺得鐵的溫度較高。

### 習 題 三 十 四

1. 救火隊員在救火時，穿了毛織衣服，在夏季反覺涼快者何故？
2. 火箸，熱水壺，熨斗等的柄，必用木質製成者何故？
3. 把一塊冰埋放在木屑中則不易熔化，何故？
4. 園中花樹為何在冬天必用稻草裹着？
5. 為何冬宜衣裘，夏宜衣葛？
6. 把紙條裹在銅梗上，再放在火燄中，則紙條可以不會立即燒着，何故？

**114. 對流與通風。**一定量的物質，受熱之後體積要膨脹，密度必減小。例如水或空氣的下部受熱時，因密度減小而上升，熱亦隨而傳遞。如圖 113 的裝置，水中稍雜細砂，用火燄熱圓瓶之底，見水起環流，其方向如圖所示。

再用一盒，前面裝有玻璃門，頂上裝有二個圓筒(圖 114)。燭火放在 B 筒之下，見氣流

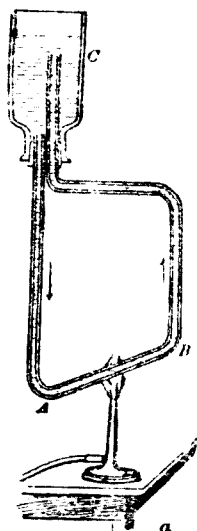


圖 113. 水的對流。

由 A 筒入，B 筒出。假使用一張點著的發煙紙放在 A 筒的口上，就能明顯地看見氣流的路徑。

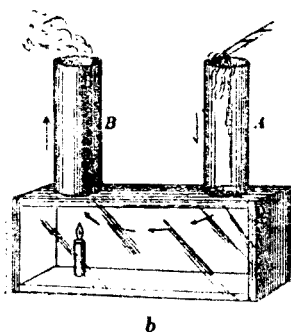


圖 114. 空氣的對流。

液體或氣體的熱部上升冷部下降，因而起循環作用，熱源所供給的熱隨而傳遞到他處，這種熱的傳遞方法，稱為對流 (convection)。

室中的熱而惡濁的空氣，由窗戶上部罅隙中逸出，室外的冷而新鮮的空氣，由窗戶的下部罅隙中流入，一室賴此對流作用以通風。

地面各處受到的太陽的熱是不等的，熱處的空气上升，冷處的空气來補其缺，就引起了對流作用，這就是風的成因。

115. 輻射。 熱賴傳導或對流作用來傳遞，必須以實物為介質(俗稱媒介物)。 若是傳遞熱的方法，只有這兩種，那末討論到太陽的熱怎樣傳遞到地球上來，就生出疑問了。因為地球上的大氣層的高度不過數百(哩)，太陽是離地球甚遠，地球與太陽之間，定有真空的空間存在。 太陽的熱，可以從這真空的空間傳遞，當然不是屬於傳導，也不是屬於對流。 這第三種傳熱的方法，稱為輻射 (radiation)。

用輻射方法來傳遞熱能，從淺顯的事實上考驗，至少有下列幾個特性：

- (1) 速度與光速相等： 光射到時，熱就隨着而來，所以輻射

的速度與光速相等。

(2) 直線進行。在炎日之下行走時，張了陽傘，就覺日熱大減，因為輻射熱是依直線進行，不會彎曲了射到你身上來的。

(3) 輻射熱能透過玻璃等物。太陽的熱可以穿過窗上的玻璃而投射在地板上，使地板的溫度增高而玻璃的溫度不變。

(4) 輻射熱的吸收與反射。取白布與黑布各一塊曬在日光中，不久黑布的溫度增高，白布則否。所以輻射熱遇黑體就被吸收，遇白體則被反射。輻射熱若投於光滑的金屬面上，差不多可以全被反射。

116. 熱水瓶。熱水瓶實在應稱保溫瓶，是一個雙層壁的玻璃瓶(圖 115)。壁層內面鍍有銀質，其壁間的空氣完全抽去。壁間既然沒有空氣，可以杜絕熱的傳導與對流作用；且因鍍有銀質，輻射熱遇之，便被反射折回。所以瓶中裝了冰水或沸水，可以保持原有的冷熱。

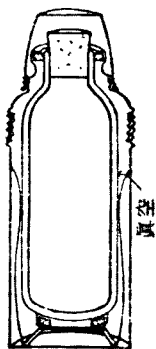


圖 115. 熱水瓶。

### 習 題 三 十 五

1. 你立在火爐的近旁，常常覺着有微風在那裏吹動。這是何故？
2. 高熱的鐵塊，放在空氣中而冷卻時，其熱的散失大都是靠了何種方法？
3. 室內的火爐位置，宜低不宜高，何故？
4. 製冷器(俗稱冰箱)中的冰塊為何放在器中的上部(圖 116)？ 冰

塊的上部爲何較易熔化？

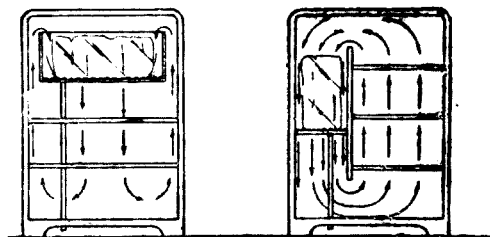


圖 116. 製冷器。

5. 冰箱是用雙層壁製成，故壁中是空虛的。若在空虛處實以木屑，較僅有空氣時的保冷功效更大，何故？
6. 夏衣宜用白色或淺色，冬衣宜用黑色或深色，何故？
7. 煮水的壺，側面宜光亮，底面宜黑色，何故？
8. 熱水瓶爲何有保暖與保冷的功效？

## 第九章 復習題

1. 冬天穿厚衣是保暖呢還是禦寒？
2. 毛皮衣服，皮翻在外面的比在內面的，何者爲暖？何故？
3. 高煙囪有什麼好處？
4. 風如何能增加一個煙囪的通風？
5. 在夏天，往往有風從煙囪吹下到室內，何故？
6. 一個有良好通風的火爐，在初生火時常會冒煙，試言其故。
7. 水是傳熱的良導體呢，還是不良導體？
8. 壁爐如何幫助一室的通風？
9. 夏天海灘上的風，午前大概從陸地吹來，午後從海洋吹來，何故？
10. 水盛紙杯中，可在火上煮沸而紙杯不灼焦，何故？

## 第十章

### 熱 量

117. 熱容量。一壺的水與等重的鐵同置於爐上熱之，則鐵的溫度很容易增高，水則較難。這是因為等重的物質，以其種類各別，升高溫度時所需的熱量各異。某量的熱可使1〔仟克〕的水增高溫度1〔度〕者，能使1〔仟克〕的鐵增高溫度9〔度〕，1〔仟克〕的銅增高10〔度〕，1〔仟克〕的銀增高20〔度〕，1〔仟克〕的鉛或水銀，增高30〔度〕。這是因為各物增高溫度1〔度〕所需的熱量，所謂熱容量(thermal capacity)是不等的。水的熱容量最大，故需熱最多。以1〔克〕的水升高溫度攝氏1〔度〕所需的熱量，為熱量的單位，稱為卡路里(calorie)簡稱〔卡〕。使100〔克〕的水增高溫度攝氏1〔度〕，需熱100〔卡〕。其熱容量即為100〔卡〕；故欲使其增高10〔度〕，需1000〔卡〕的熱。推言之，100〔卡〕的熱，可使10〔克〕的水，其原來溫度在0〔度〕者，增到10〔度〕；在15〔度〕者，增到25〔度〕。反言之，這10〔克〕的水再從10〔度〕冷卻到0〔度〕，或從25〔度〕冷卻到15〔度〕時，就要把這100〔卡〕的熱量放出。

118. 比熱。各種物質的熱容量，以水所有者為最高。使1〔克〕之水，溫度增高攝氏1〔度〕，需要1〔卡〕的熱量。要使1

[克]的鐵增高攝氏 1 [度],祇需 0.113 [卡];要使 1 [克]的銅增高攝氏 1 [度],祇需 0.093 [卡]。凡 1 [克]的物質增高或降低溫度攝氏 1 [度]時所吸收或放出的熱量[卡]數,稱為那物的比熱 (specific heat)。茲將常見物質的比熱列表如下:

鋁	0.218	鉛	0.032
銅	0.093	鐵	0.113
玻璃	0.2	鋅	0.094
冰	0.704	銀	0.057
錫	0.055	水銀(汞)	0.033

若某物之質量為  $M$  克,比熱為  $S$ ,則其熱容量 =  $M \times S$ 。

119. 熔解。取雪或冰屑一杯,用火熱之。用溫度計來測其溫度,則見雪的溫度初時升高,到了 0 [度]就停留而不稍改變,直到雪完全熔解(melting)成水,水溫方始再漸漸升高。

冰熔解時的溫度,稱為冰的熔點(melting point)。多數的固體,都有一定的熔點。例如銅至 1083°C 始熔,鋼至 1300°C 以上始熔,銀的熔點為 980°C,鉛者為 327°C,錫者為 232°C。

由試驗而知,冰熔解時,雖繼續加熱而溫度不變。此時所供給的熱量,被冰所吸收,由固體而變為同溫度的液體。1 [克]的冰,在 0°C 時熔解成同溫度的水,須吸收 80 [卡]的熱。

凡 1 [克]的固體物質,熔解成同溫度的液體時所需吸收熱量的[卡]數,稱為那物的熔解熱(latent heat of fusion)。

冰的熔解熱為 80 [卡]。



**120. 凝固.** 如圖 117, 將半盛以水的大號玻璃試管, 插入冰與食鹽的混合劑中(此劑重量的比例是冰 3 鹽 1, 其溫度, 可以低至  $-22^{\circ}\text{C}$ )。若用溫度計測量管中的水溫, 見其降到  $0^{\circ}\text{C}$  時, 水就開始凝固(freezing)成冰。凝固時水的溫度停留在  $0^{\circ}\text{C}$ , 不稍改變, 直到水盡結成冰, 冰的溫度, 方始再行降低。

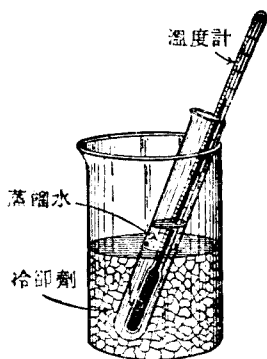


圖 117. 水在凝固時放熱。

水凝固成冰時的溫度, 稱為水的凝固點(freezing point)。由試驗, 知水的熔點與凝固點都在攝氏  $0$  度。其他各種物質的凝固點與熔點, 往往亦在相同的溫度。

凝固與熔解互為逆作用。由上節知  $1$  [克] 在  $0^{\circ}\text{C}$  之冰, 熔解成同溫度之水, 須吸收  $80$  [卡] 的熱, 推而知  $1$  [克] 在  $0^{\circ}\text{C}$  之水, 凝固成同溫度之冰, 必須放出  $80$  [卡] 的熱。因為凝固必須放熱, 所以水在冷劑中凝固時的溫度得停留在  $0^{\circ}\text{C}$ 。

### 習 題 三 十 六

1. 欲使  $500$  [克] 的冰由  $0^{\circ}\text{C}$  變成  $90^{\circ}\text{C}$  的水, 須熱幾 [卡]?
2. 冰箱中備有冰塊時, 箱內的溫度在攝氏何 [度]? 在華氏何 [度]? 溫熱的食物, 貯藏在箱中時, 其最低溫度當降到何 [度]?
3. 冬天熔雪時, 氣候仍舊很冷, 何故?
4.  $100^{\circ}\text{C}$  的水  $100$  [克], 澆在  $0^{\circ}\text{C}$  的冰塊上, 問熔去的冰為幾 [克]?

5. 杯中冰水各半，共重 305 [克]，問至少須加幾 [卡] 的熱，方能使這杯水開始沸騰？

6. 使 100 [立方厘米]  $0^{\circ}\text{C}$  的冰化為  $50^{\circ}\text{C}$  的水，須熱量多少 [卡]？

7. 500 [克] 重的銅塊熱到  $100^{\circ}\text{C}$  後，放在  $0^{\circ}\text{C}$  的冰塊上，試求熔去的冰為幾 [克]。

8. 銅壺的重計 1000 [克]，壺內盛水 2 [斤克]，放在爐上加熱。爐每 [秒] 能供給 15,000 [卡] 的熱。設水的初溫為  $10^{\circ}\text{C}$ ，試求幾 [秒] 以後水溫可升至  $100^{\circ}\text{C}$ 。

121. 沸騰。圓底燒瓶中，半盛以水(圖 118)。瓶口栓上一

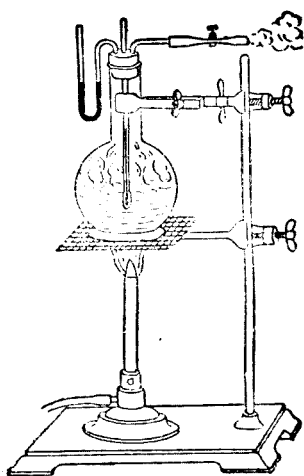


圖 118. 沸騰。

塞。塞上鑽有三孔，溫度計由塞的一孔插入瓶中，另一孔中裝一壓力計，餘下一孔留作出汽之用。

用火燄熱瓶底，初見溶在水中的空氣逃出水面，次見瓶底發生蒸氣泡而上升，但未出水面，早已崩潰。到了後來，水的全體溫度都已達到  $100^{\circ}\text{C}$ ，就看見瓶底所發生的蒸氣泡，可以自由透出水面，這種現象稱為沸騰(boiling)。

水沸騰時，瓶下雖繼續加熱，水溫仍停留在  $100^{\circ}\text{C}$ ，決不再行升高，這時候看見水蒸氣(water vapor)急烈地由瓶塞的出汽孔中逃出瓶外。水蒸氣本是無色的氣體，在噴出瓶口時，有一部分凝成微小的水滴，因而看到白

霧般的氣。水蒸氣特簡稱為汽(steam)。

由試驗而知，沸騰是液體內部所產生的蒸氣泡，能自由透出液面的現象。沸騰時的溫度稱為那液體的沸點(boiling point)。

試把瓶塞的出汽孔封閉，壓力就顯出瓶內蒸氣壓力大於大氣壓力。同時溫度計就顯出沸點高於  $100^{\circ}\text{C}$ 。

試把塞子的出汽孔用玻璃管與橡膠管連至抽氣機上。若把瓶下的火鉢移開，水就停止沸騰，但抽氣作用開始後，見水復起沸騰現象。這時候壓力計就顯出瓶內的蒸氣壓力小於大氣壓力；同時溫度計上顯出沸騰時的溫度較低於  $100^{\circ}\text{C}$ 。

由試驗而知，液體的沸點，隨着液面上的壓力而變。壓力增大，沸點增高；壓力減小，沸點減低。水在 1 [大氣壓] 下 (76 [厘米] 水銀柱高) 的沸點是  $100^{\circ}\text{C}$ 。在高山的山頂上，大氣壓力較小，所以水溫不必到  $100^{\circ}\text{C}$ ，就會沸騰。大概說來，接近海面處的大氣壓力，每減 27 [毫米] 時，沸點要降低  $1^{\circ}\text{C}$ 。有許多高山上的大氣壓力，僅為海面上的大氣壓力的半數，故水在  $84^{\circ}\text{C}$  就會沸騰。

122. 氣化熱。水沸騰時，雖繼續加熱，見水化為蒸氣，而水的溫度毫不增高。這明示水化為同溫度的蒸氣時，須吸收熱量。用實驗法可以測得在  $100^{\circ}\text{C}$  的水 1 [克]，化為同溫 ( $100^{\circ}\text{C}$ ) 的蒸氣時，要吸收 536 [卡] 的熱量。凡 1 [克] 的液體化為同溫的蒸氣時所需的 [卡] 數，稱為那液體的氣化熱(latent heat of vaporization)。所以水的氣化熱為 536 [卡]。反言之，1 [克]

在  $100^{\circ}\text{C}$  的水蒸氣凝結成同溫的水時，就要放出 536 [卡] 的熱量了。

123. 蒸發生冷效。 碗上的水滴，不久就化爲烏有，所以水在普通溫度時，其表面的分子時刻在逃逸入空中。這種液面的分子由液態變爲氣態的現象，稱爲蒸發(evaporation)。 (在沸騰作用，則液體內部的分子，由液態變爲氣態，集成泡狀衝出液面。)

取帆布袋一隻，滿盛以水，懸在樹蔭之下任風狂吹，則發見袋內的水溫降低。用這種方法在夏天可以得到較涼的飲水。

這是蒸發而生冷效的現象，其理由是袋面的水化爲水蒸氣時要吸收熱量，而所需的熱量，即取給於袋內的水，所以水溫就降低了。

### 習 題 三 十 七

1. 盛夏時穿了濕衣，站在狂風中，就覺得涼爽異常者，何故？
2. 夏天揮扇可以納涼的緣因何在？
3. 用酒精或水擦在手背上時，則前者較後者要覺冷些，何故？
4. 夏日灑水地上，常覺涼爽，是什麼緣故？
5. 在極深的礦穴中煮水時，水的沸點有何改變？
6. 假定水在  $208^{\circ}\text{F}$  時就會沸騰，求氣壓計中的水銀柱高度約爲若干 [厘米]。
7. 把 1 [克] 的  $0^{\circ}\text{C}$  冰化爲  $100^{\circ}\text{C}$  的水蒸氣，共需幾 [卡] 的熱？
8. 有  $50^{\circ}\text{C}$  的水 100 [克]，使盡變爲  $100^{\circ}\text{C}$  的蒸氣，共需幾 [卡]？

9. 沸騰與蒸發，有何區別？

## 第十章復習題

1. 一滴極熱的水與一滴在同溫度的鉛落在一個人的手上，何者會燙傷手皮較為厲害？
2. 一隻筒盛水全滿，水中浮着一塊大冰，有一部分露出水面，這塊冰熔解時水會溢出嗎？試言其故？
3. 一塊冰放在溫度為  $20^{\circ}\text{C}$  之一室中已歷若干時，那冰的溫度為何？
4. 一塊冰放在戶外，氣溫為  $0^{\circ}\text{F}$ ，問冰的溫度。
5. 爲什麼在火爐上煮水，須歷許多時候才能把水煮沸？
6. 要量一個火爐的溫度，用一個  $210$  [克] 的鐵球放在爐中最熱的部分，停留數 [分] 鐘。取出後，浸入在  $10^{\circ}\text{C}$  的  $730$  [克] 水中，把水的溫度升高到  $40^{\circ}\text{C}$ 。問火爐的溫度為何？
7. 從風扇吹來的空氣覺得是冷的，但是它與室中其餘的空氣是在同一溫度。試解釋之。
8. 把  $30$  [克] 在  $100^{\circ}\text{C}$  的水蒸氣冷凝爲  $20^{\circ}\text{C}$  的水，共放出多少熱量？

## 第十一章

### 空氣中的水分

124. 空氣中的水蒸氣。 地面上的水，因蒸發作用，時時由液態化爲氣態而散入大氣中。 1 [立方米]的大氣，究竟能容多少水蒸氣(汽)？這與空氣的溫度有關。溫度愈高，能所容納的汽量愈大，愈低則愈少。例如在  $10^{\circ}\text{C}$  時，每[立方米]的空氣中能夠容納 9.1 [克]的汽；若溫度降低，汽的一部分必凝結成水。若溫度增高，不但已有的汽不會凝結成水，如有水存在，還可以蒸發入空中呢。

由實驗測得每[立方米]的空氣中能容納的汽量[克]數如下：

$t^{\circ}\text{C}$	[克/立方米]	$t^{\circ}\text{C}$	[克/立方米]	$t^{\circ}\text{C}$	[克/立方米]	$t^{\circ}\text{C}$	[克/立方米]
-10	3.3	8	8.0	16	13.5	24	21.6
-5	3.4	9	8.5	17	14.1	25	22.9
0	4.9	10	9.1	18	15.2	26	24.2
2	5.6	11	9.8	19	16.2	27	25.6
4	6.1	12	10.4	20	17.2	28	29.0
5	6.5	13	11.1	21	18.2	30	20.1
6	7.0	14	11.0	22	19.3	35	39.3
7	7.5	15	12.8	23	20.4	40	50.9

125. 露點。 先用溫度計測大氣的溫度(設爲  $20^{\circ}\text{C}$ )。 然

後取鍍銀的杯子一隻，盛水三分之二。用布擦亮杯面，投少許冰屑入水中，用溫度計攪和，到了已加入的冰屑完全熔解後，再續加冰屑少許，直到杯面光亮之色驟退為止（這是空中水蒸氣凝結在杯面的現象）。記下此時的水溫（設為  $15^{\circ}\text{C}$ ）。

這空氣中的水蒸氣開始凝結為水時的溫度，稱為露點 (dew point)。

由試驗而知杯中的水的溫度冷卻時，附近的空氣溫度亦跟了降低。每[立方米]的空氣所能夠容納的汽的量也就跟了降低。假使杯溫降低到  $15^{\circ}\text{C}$ ，杯面上始有小水滴發生，這是表明附近的空氣溫度降到  $15^{\circ}\text{C}$  時，原來所含汽量，已經到了飽和而將達有餘的情境，故一部分的汽開始凝結為水。

再由上節的表中查得，在  $15^{\circ}\text{C}$  時，每[立方米]的空氣，能容 12.8[克]的汽。所以知道原來的空氣每[立方米]只含 12.8[克]的汽。但是原來室中空氣的溫度是  $20^{\circ}\text{C}$ ，而在  $20^{\circ}\text{C}$  時的空氣每[立方米]可以容納 17.2 [克]的汽。由此可知原來空氣中的實含汽量，僅達可能容量（或飽和的量）的  $\frac{12.8}{17.2}$ 。換言之，這種空氣每[立方米]還可以多納  $17.2 - 12.8 = 4.4$  [克]的汽。

**126. 相對濕度。** 普通所稱空氣的乾燥或潮濕乃指看地面上的水分是否易於蒸發而言。要確切知道空氣的或燥或濕，就應當知道空氣中已有的水分，占了可能容量的百分之幾。 這樣計得的濕度，稱為相對濕度 (relative humidity)。

$$\text{相對濕度} = \frac{\text{已有的汽量}}{\text{能容的汽量}} \times 100$$

由測定空氣的露點，就可以查出每[立方米]的空氣中已有的汽量，由空氣的溫度可以查得空氣每[立方米]所能容的汽量。例如由實驗測得日下的空氣溫度為  $20^{\circ}\text{C}$ ，露點為  $15^{\circ}\text{C}$ ，則

$$\text{相對濕度} = \frac{12.8}{17.2} \times 100 = 74.4$$

127. 露，霧，雨，雪。 地面上的物體，如草，木，巖石等在晴夜時散熱極易，其溫度極易降達露點。與這類物面相接觸的大氣中所含的汽就凝結在物面上而成露(dew)。若露點較  $0^{\circ}\text{C}$  為低時，汽直接凝成固體，即成霜(frost)。大氣的溫低到露點

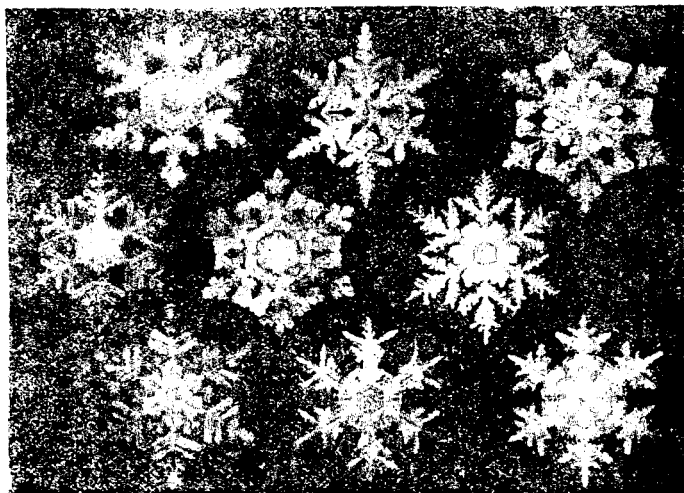


圖 119. 雪的晶體。



時,其中所含的汽,不必與地上的物面接觸亦可凝成微點,飄浮空中。其離地較高者稱為雲(cloud);較低者稱為霧(fog)。

雲中的水質微點,集成較大的水點而下降,即成雨(rain)。若成雲時的溫度已在 $0^{\circ}\text{C}$ 之下,而水質微點凝結成美麗的晶體(圖 119)而下降,即成雪(snow)。

### 習 題 三 十 八

1. 爲什麼在夏季不很熱的一天,若相對濕度甚高,便覺得不舒快?
2. 霜通常在玻璃窗的外面形成,還是在內面? 何故?
3. 你用什麼方法增高你室內的相對濕度?
4. 杯中盛了冰屑,杯的外面常常發見水點,這水點是從何而來的?
5. 人口呼出的氣,冬時易見,夏時難見,何故?
6. 某日將晚時的露點爲 $3^{\circ}\text{C}$ ,則晚上難得下霜,這是何故?
7. 某日的溫度爲 $10^{\circ}\text{C}$ ,露點爲 $8^{\circ}\text{C}$ ,求相對濕度。
8. 有時乾雪亦能風化而消失,這時天氣的溫度及濕度當如何?

## 第十二章

### 熱 與 功

**128. 功轉變為熱。** 利用機械以作功，每見輸入於機械之功，常大於機械所輸出之功。換言之，有一部分之功，用來抗拒摩擦而消耗於無用。但考查機械的轉動部分，因有摩擦而耗費若干之功，其結果溫度常較他處為高，這明示這大部分所耗之功已變為熱。昔燧人氏鑽木取火，就是利用功可變熱的事實。

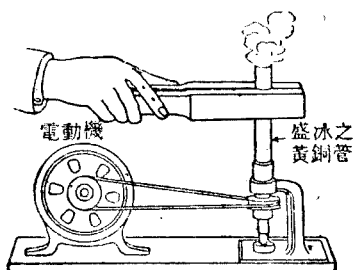


圖 120. 摩擦生熱。

銅管中盛水少許，管口裝軟木塞，使管旋轉於木夾之間，受摩擦而耗費工作。隔了幾〔分〕鐘，則耗費於摩擦之功變為熱能，使水沸騰，而把木塞射出，甚至發射到遠處。

摩擦時所耗之功可變為

熱能。焦耳(Joule)氏曾測

得每 427 [克·米]之功，若毫無喪失，可變為 1 [卡]之熱。

**129. 熱轉變為功。** 功既可轉變為熱，熱亦能轉變為功嗎？這個問題在二百餘年前，有了汽機(steam engine)的發明\*，

\*英人牛康氏(Thomas Newcomen)在 1705 年造成第一隻實用的汽機，隔了七十年後，再經英人瓦特氏(Watt)大加改良。

才有肯定的答覆。試看機車(俗稱火車頭)拖動列車,而完成了多量的功,若一探求其工作時所需之“能”自何而來,那就會注意到機車工作時需水與煤了。水之一物,雖為汽機作功時的必需品,但水化為汽,汽可再凝成水而反復使用(輪船上的汽機就是這樣的),其量可毫無消失。所以水在汽機中,可看做機中的一種永久部分,決不可看做“能”的供給者。於是煤之一物必定是汽機作功時“能”的唯一供給者了。煤燃燒時能放強熱,使鍋爐中的水化為高溫高壓的汽,以推動機器而作功。這樣說來,熱是可以轉變為功的了。在第七章中,明白道及凡具作功之本領者都稱為“能”,所以熱為“能”的一種,而汽機乃是把熱能轉變為功之一種裝置。

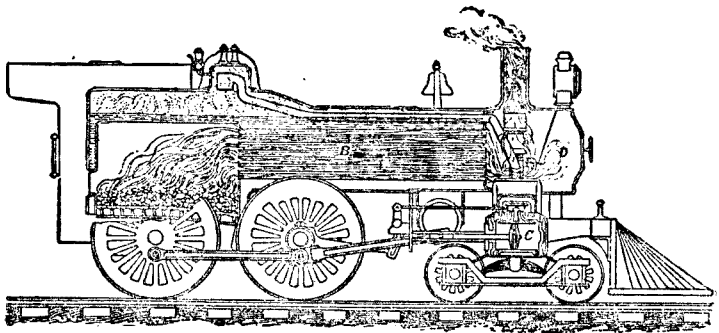


圖 121. 機車(俗稱火車頭)。

*B* 為汽鍋,有一羣管子,叫做火管,左端火爐所生的熱煙由火管經過而從煙囪 *E* 排出。火管外面都是水,汽積在水面上(圖左上),由汽管導入汽機 *C*。

130. 汽機。簡單的汽機的構造與動作,可就圖 122 來說明。這機的主要部分,為一汽筒 *C*, 中有密切的活塞 *p*, 另外

還有幾件將汽調節入筒的裝置。 活塞  $p$ ，可以在汽筒  $C$  內，從這端衝到那端，其左右滑動，並賴活塞桿  $r$  等的聯絡，使活塞的左右滑動作用，變為飛輪  $W$  的轉動作用。 照圖中的活塞位置，從汽鍋而來的高壓汽，經  $st$  管而入汽櫃  $S$ ，再由通路  $ch$  而入汽筒。 此時汽施壓力於活塞，使向左移而達筒端。 在先一次的衝程中，留在筒的左部內的廢汽，經通路  $ch'$ ，由出汽管  $e$  逸入空中。 在這機工作中，活塞左移而達圖示的虛線位置時，滑動閥

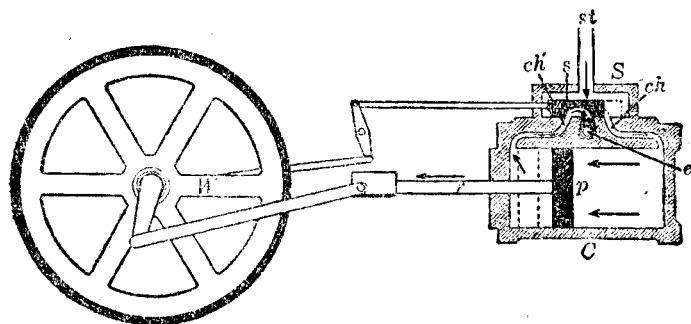


圖 122. 汽機的主要部分。

$W$  飛輪； $C$  汽筒； $S$  汽櫃； $st$  通到汽鍋的管子； $ch$ ， $ch'$  汽筒與汽櫃間通路； $s$  滑動閥； $p$  活塞； $r$  活塞桿； $e$  出氣管。

$s$  必右移而達圖示的虛線位置。 注意閥在虛線的位置時，高壓的汽，可由通路  $ch'$  入汽筒的左端，故能驅活塞右移而達筒的右端。 那時汽筒右部內的廢汽經  $ch$  而由出汽管  $e$  逸入空中。 活塞達到汽筒的右端時，滑動閥已回復到圖示的原位置。 以後每一衝程，就照這樣的動作來復一次。

**131. 內燃機。** 取洋鐵罐一，旁側裝上一輛汽車上所用的電花插頭(圖 123)。插頭的端與插頭的鋼質部，用銅線連到感應線卷(閱 233 節)上，使產生電花。在未發電花之前，先在罐內滴入汽油(gasoline)數點。其量隨罐的大小而定，可由試驗得之。將蓋蓋好，輕搖鐵罐，使油揮發為蒸氣，然後通電使生電花。

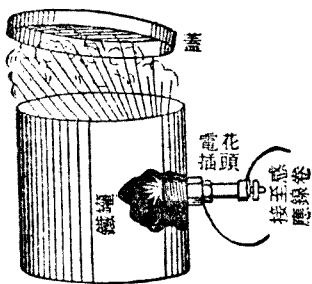


圖 123. 內燃機的原理。

如汽油與空氣的量配合適當時，能生猛烈的燃燒而起爆炸作用，罐蓋受強壓而遠飛。

各種內燃機，都是利用可燃性的氣體與空氣混合，使生爆炸作用來推動活塞，賴活塞桿，連桿，及曲柄等來推動飛輪。隨後排出廢氣，裝進新鮮的油氣與空氣入汽筒，使生第二次的爆炸。

圖 125 所示的四衝程機，是內燃機的最通用者。氣筒上端，有 A 與 B 二閥，筒內有活塞  $p$ 。

適當配合量的油蒸氣與空氣，由進氣閥 A 入氣筒中，燃過後的廢氣，由排氣閥 B 逃入空中。

氣筒上端的旁側，裝有電花插頭。這機的動作如下：

圖中  $a$  的動作，叫做吸入衝程。活塞下降時，A 開 B 閉，此時油氣與空氣由 A 入筒中。 $b$  的動作，叫做壓縮衝程。當活塞上升時，A 與 B 閥均閉，把已吸入的氣體，壓縮至原體積的  $\frac{1}{3}$  或  $\frac{1}{4}$ 。活塞剛達到筒端時，電花插頭上發生火花而引起爆炸作

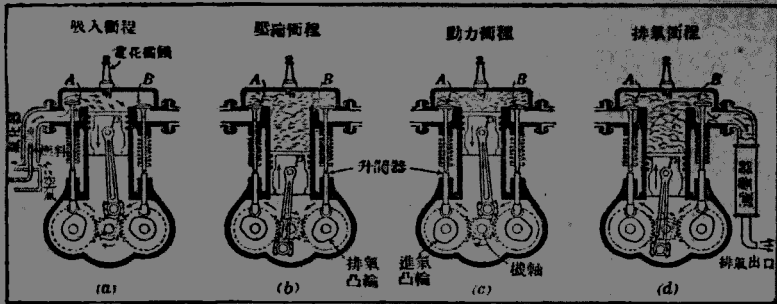


圖 124. 四衝程內燃機。

(a)吸入衝程,(b)壓縮衝程,(c)動力衝程,(d)排氣衝程。

用。爆炸時生強熱及高壓,使活塞 $p$ 急烈下降如圖 $c$ ,這叫做動力衝程。 $p$ 剛達筒的下端而復上升時, $A$ 閉 $B$ 開,廢氣被壓而由 $B$ 閥排入空氣中,這叫做排氣衝程,如圖 $d$ 所示。

內燃機經過這四個衝程,叫做一個完全循環。在一個完全循環中,曲柄軸必經過兩次完全轉動。因為四個衝程中,只有一次是動力衝程,所以飛輪的質量必需甚大,靠它的慣性來完成其餘的三個衝程。

132. 熱的來源。熱的來源不限於煤,就是木材,火油,酒精等的燃燒時都能發熱,倘使利用適合的機關,都能把熱轉變為功。現在要問:煤,木材等可燃物質,其所蓄的熱能從何而來?那就不得不探求這許多燃料的成因。

研究煤成因的學者,都深信煤是古代的植物,因為埋沒在地的深處,受着地下的強熱與上面的巖石的高壓,就變成了石塊狀的

煤質。

煤既是古代的植物，試問植物所蓄的能自何而來？考植物生長時，都需日光，才能自己製造食料。所謂製造食料一事，乃指植物利用日光的能，把二氧化碳氣中的碳與氧分離，使碳與其他物質化合而成複雜有機化合物，以構成其軀體。

木材燃燒時，空氣中的氧與構成植物的物質化合，其結果產生了二氧化碳，水，以及其他化合物，同時就發生強熱。植物利用日光來製造食料以生長時，日光的“能”就蓄藏在組成植物的碳化合物中。後來煤質或木材燃燒時，就把所蓄的“能”轉變為熱而放出。照這樣說來，煤或木材中所蓄的“能”來自太陽是確切的了。倘使你任取一種燃料，或其他供給“能”之物而考其“能”的來源，最後必歸到太陽，所以太陽是地球上一切“能”的供給者。

### 習 題 三 十 九

1. 爲什麼一座內燃機必須有一個飛輪？
2. 原始人類用什麼方法來生火？
3. 水流或瀑布等都有作功的本領，試問其“能”自何而來？
4. 利用風力可以行舟，試探求其“能”的來源？
5. 一〔仟克〕的鐵塊從 10〔米〕高處落到地上時，設其位能全變爲熱，則相當於幾〔卡〕的熱？
6. 汽機與內燃機的重要區別爲何？它們相同之點爲何？



(J7)

基價

★ 4.80