

四 關於速度的幾個問題

1. 你走一條長路，有時走得快些，有時走得慢些。你用什麼方法來計算你的平均速度？
2. 你能否用最通俗的說法，說出加速度的定義？一列火車在剛開的時候，假定它在每〔秒〕內增加速度 10 〔呎/秒〕，它的加速度是什麼？
3. 搖船渡河，船首並不對目的地，而船自會行到對岸目的地，試說明其故。
4. 上下行的二列火車並列地停在交車站上。你坐的車先開，但是從窗中望着他一車時，你竟不知道那一系列車在動着，這是什麼道理？

加速度的意義

我們想像到空中的落體，就有着它在空中愈落愈快的觀念。落體的速度，每〔秒〕鐘都在增加着，從實驗與計算知道在第 1 〔秒〕鐘末的速度差不多是 980 〔厘米/秒〕。在第 2 〔秒〕鐘末的速度，約為第 1 〔秒〕末的二倍，即 1960 〔厘米/秒〕；在第 3 秒鐘末約為三倍，即 2940 〔厘米/秒〕，以後照此類推。速度隨着時間而增加，我們稱每〔秒〕所增加的速度為加速度。若每〔秒〕鐘中所增加的速度之量是均勻的，我們就稱它做勻加速度。

我們若要計算在某一時間內落體所經的距離，因為落體的速度總在變動，不免感到困難。幸而這種速度變更的快慢往往是一定而有規則的，那時困難也就容易解決。倘使加速度時時有不規則變化的話，那麼我們真的遇到困難，要用高深的數學來計算了，不是讀本書所能解決的。

落體運動是一個有規則的加速度運動。在任何1〔秒〕內速度的增量都是一定的，因此，我們能用平均數的方法來計算它的速度。譬如在第1〔秒〕開始的時刻，它沒有速度，那麼第1〔秒〕末的時刻，它的速度約為980〔厘米/秒〕，所以這1〔秒〕內經過一半時間的時候，它的速度是490〔厘米/秒〕，在開始後 $1/4$ 〔秒〕時的速度是490〔厘米/秒〕的一半，就是245〔厘米/秒〕，在開始後 $3/4$ 〔秒〕時的速度，當然等於 $490+245$ 即735〔厘米/秒〕。換句話說，若想像一個直角三角形，用它的底邊代表落下運動的時間，那麼沿這三角形的底上的各點，繪此底的垂直線，則到其斜邊

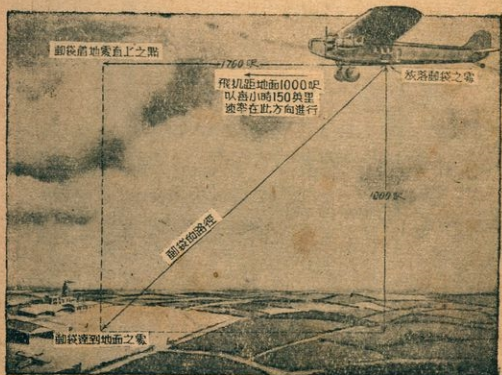


圖 101. 此圖表示一個駕飛機的人，在離地面300〔米〕高處以每〔秒〕70〔米〕的速度，在水平方向進行。他必須在離目的地560〔米〕的時候，就要擲下他的郵袋，才能使郵袋達到預定的目的地點。

（圖中郵袋的路徑並非直線而為近於拋物線）



圖 102. 此圖說明兩力同時作用於一物上所發生的現象。一個足球同時被兩球員所踢着，右邊那人踢球用力的大小與方向用AB線來代表，左邊那人踢球用力大小與方向用AC線來代表。可是這球並不向那二者中任一方向前進，而向AD方向前進。這球所受的力，與它所有的速度，都可用AB與AC兩條線來代表。在AB及AC上作一平行四邊形，由A起的對角線，就代表合速度與合力的大小及方向。這樣求合力及合速度的方法，在力學中就叫力的平行四邊形法及速度的平行四邊形法。

的長度，就代表落下運動每個時刻的各點的速度。

倘使速度是不變的，物體運動的距離等於速度乘時間。要計算

落體的距離，也是這樣算法，不過先要求出它落下時間內的平均速度。譬如計算它在第1〔秒〕鐘內所經的距離，因為它的平均速度是490〔厘米/秒〕，所以距離就是 $490 \times 1 = 490$ 〔厘米〕。若要計算它在第2〔秒〕鐘內（注意，不是說2〔秒〕鐘內）所經的距離，因為它在第2〔秒〕始的速度是980〔厘米/秒〕，第2〔秒〕末的速度是1,960〔厘米/秒〕，因此第2〔秒〕內的平均速度是 $980 +$

1,960〔厘米/秒〕的一半，即1,470〔厘米/秒〕，所以第2秒內所經距離是 $1,470 \times 1 = 1470$ 〔厘米〕。

現在我們若要計算落體在某一時間中所經過的總距離，譬如說5〔秒〕鐘內的距離，我們祇要找出它的整個時間內的平均速度，再乘上〔秒〕數就得了。

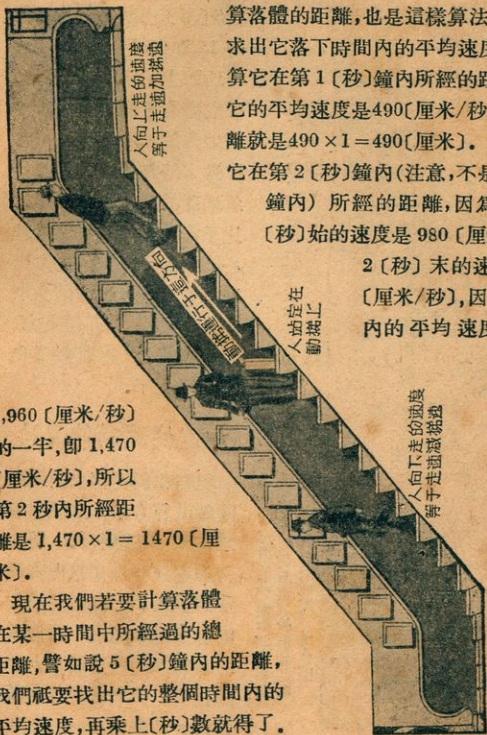


圖 103. 站在一架向上移動的自動扶梯的三個人，有三種不同的速度：——一個人站着不動，他的速度就是他行走的速度；向上走的人，他的速度是他行走的速度與自動梯速度之和；向下走而達到梯頂的人的速度，是自動梯的速度減去他自己的速度之差。

開始度是0,第5〔秒〕末的速度是4,900〔厘米/秒〕,故平均速度是 $0+4,900$ 〔厘米/秒〕的一半,即2,450〔厘米/秒〕,再乘以5,就

得5〔秒〕內所經的總距離是12,250〔厘米〕。

地面上的落體加速度,各處略有不同。例如近兩極地方的加速度大於近赤道地方的加速度。這是因為地球的兩極稍帶扁平,比了赤道上的地面略近地心,因此兩極上的重力比在赤道處大。物體的落下由於地心引力(亦稱重力),重力既大,加速度於是也跟着增大了。

加速度運動的算法

現在我們要把上面所討論的計算方法,立幾個公式出來,以資醒目。關於勻加速運動可用自由落體運動來代表。因地心引力而發生的加速度,叫做重力加速度,普通特用 g 字來代表。我們已經從實驗知道 g 的數值約等於每



圖 104. 這是關於合速度的一個有趣問題。這人在船上向一方向的速度是3〔哩/小時〕,這船向相反方向的速度是4〔哩/小時〕,而水流又與這人同方向,流速是2〔哩/小時〕。這人對於河岸而說的合速度,是順流而行1〔哩/小時〕。

[秒]加速每[秒]980[厘米],即980[厘米/秒²]. 落體所經的時間,用 t 字來代表. 因為加速度的定義是每[秒]的速度的變量,故用算式來表示是 $g = \frac{v-v_0}{t}$. 假定落體在開始時沒有速度,即

$v_0=0$,則在 t [秒]鐘末的速度是 $v=gt$,這是一個有用的公式.

在 t [秒]末的速度既為 gt ,那麼在整個 t 時間內的平均速度,當然是 gt 的一半,即 $\frac{1}{2}gt$,故在 t 時間內所經的距離 s 是 $(\frac{1}{2}gt) \times t$,即 $s = \frac{1}{2}gt^2$. 這又是一個有用的公式. 這些公式看起來似乎是屬於數學的,可是都有物理上的確實意義,且也很容易明白.

現在舉個例子來說明這公式如何有用,以及應用方法怎樣. 假定有架飛機,在離地面 300 [米]的地方,用 70 [米/秒]的速度,沿水平方向飛行,現在駕駛員要向某地點擲下一個郵袋圖(101),問應當在什麼地方擲下去,才能擲中這目的地?

在未擲下之前,郵袋與飛機同樣地以 70 [米/秒]的勻速度在水平方向前進,這也就是在擲下的那一瞬刻它所原有的速度. 從 300 [米]高的地方落下來所需的時間,能夠很容易地從公式中得到. 先把 300 [米]化成 [厘米],即 $300 \times 100 = 30000$ [厘米] (因 1 [米] = 100 [厘米]). 我們應用公式,

$$s = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 980t^2 = 30,000$$

$$\text{即 } t^2 = \frac{30,000}{490}, \quad t = \sqrt{61.2} \text{ 秒}$$

所以這郵袋大約經過 8 [秒]鐘才落到地面.

但是郵袋在落下的時候,同時在水平方向用着 70 [米/秒]的速度(倘使不計空氣阻力,這速度是不變的)前進,因此在 8 [秒]的時間內,同時沿水平方向行了 $70 \times 8 = 560$ [米]的路. 所以假使那個駕飛機的人要把郵袋擲到一個目的地,他必須在距這目的

地560[米]的地方，就要以水平方向擲出去。剛纔所說的8[秒]不過是一個約數，準確地計算出來，是7.9[秒]不到些。

速 度 的 合 成

上面所舉從飛機上擲下郵袋的例子，說明一個物體可以有幾個分速度，並怎樣求其合速度。現在再舉幾個例子來說。

譬如兩個人同時踢一個足球，使這足球有兩個不同的速度(圖102)。又如，三個人站在一座正在向上移動的自動樓梯上(圖103)，一人站着不動，一個人向上走，還有一個人向下走。站着不動的人祇有一個速度，那就是自動梯的速度；向上走與向下走的人都同時有兩個速度：一個是自動梯的速度，還有一個是他們自己行走的速度。

一個人以3[哩/小時]的速度，在一隻船上從船頭走到船尾，

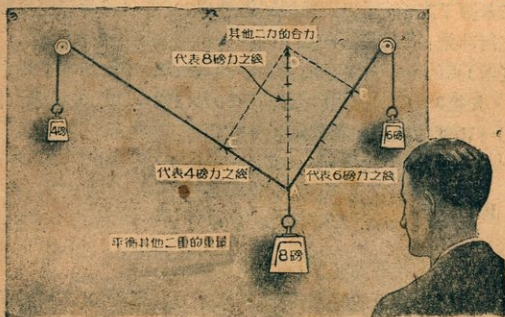


圖 105. 用實驗方法證明力的平行四邊形原理。一根繩繞過兩個滑輪，懸着三個重。在它們互相平衡時，若以AC與AB二線段分別代表4[磅]與6[磅]力的大小與作用的方向，那麼用比例尺量對角線AD出求8[磅]力，在那個方向的8[磅]力恰好平衡着其他二力。

而這船正以4〔哩/小時〕的速度，逆着流速是2〔哩/小時〕的水流

而行。在這裏，這個人同時有三個速度了：他自己行走的速度，船前進的速度，及水流的速度。

現在先讓我們討論在同一直線內的二個或二個以上的速度。在自動梯(圖103)上向上走的人，可以比站着不動的人早到頂上，而那向下走的人，要比站着不動的人遲到頂上，(假定這人向下走的速率比自動梯向上移動的速率小。倘使這人向下走的速率與自動梯的一樣，或比自動梯的大，其結果應當如何?)

科學家把這種情形解說如下：“假使一個物體，同時有兩個在一直線內的速度，那末這物體實在的速度，就是這兩個速度之和或差，看它們在同方向或異方向而定”。

上面所舉一個人在船上

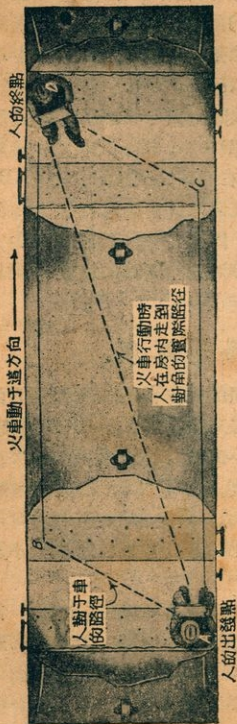


圖 106. 一個人坐在火車中一間房內的A角上。當火車開動的時候，他站起來，走過面對面二座間的對角線AB，而到B角上去。但是當他這樣行動的時候，火車的A點對於軌道而言，已達到C點，B點已到D點。故對於軌道而言，這人在房內走到對角的真正路徑，不是AB，而是AD。

走的例子中(圖104),那人若以河岸作標準,他的速度是順流而行1[哩/小時]。這是三個速度合成的結果。這船逆流而行4[哩/小時],它與速度是2[哩/小時]的水流是在相反方向,所以船實在是逆流而行2[哩/小時]。但是那人是順流而行3[哩/小時],所以他的真正速度是順流而行1[哩/小時]。

但是在那踢球例子中,兩個球員同時踢一個足球,兩個速度並不在一直線內,却成一個角度(觀圖102)。讓我們假定左邊球員踢球的速度是右邊的一半。現在右邊球員踢球的方向是AB,假使另外那個球員並不踢球,那末這個球員給與球的速度(方向與大小)就可用AB這條線來代表。同樣,左邊那球員踢球的方向是AC,假使沒有另外那球員的踢球,他給與球的速度(方向與大小)就可用AC線來代表。

力的平行四邊形原理

顯然的,這球同時被踢於兩個不同的方向裏,而結果球所走的路經都不採取這兩個方向。那末這球究竟有怎樣大小的速度,又依那個方向前進呢?我們可有一個根據實驗而得的科學法則:“若有一質點,同時受到兩個速度,可以用平行四邊形的兩鄰邊,來代表這兩個速度的大小與方向。於是它們的合速度可用這平行四邊形上經過這兩速度交點的對角線,來表示其大小及方向”。

這種方法不免令人懷疑,不過實在是很簡單而且真確的。我們通常都畫出圖來,如圖102所示。用AB及AC作一平行四邊形的兩鄰邊,又作BD相等而平行於AC,再聯CD。這樣已畫成一個平行四邊形,然後,我們聯對角線AD,這就是代表結果的合速度的大小與方向,而D點是它所要經過的路徑上的一點。這一

個原理稱做‘速度的平行四邊形原理’，但是要發生這一個合速度，球上必須同時受到兩個力，而這兩個力可以另用一個力來代替，發生同樣的效果。不過這個力須有相當大小，且作用於AD的方向。換句話說，若兩個力同時作用於一個物體上，可用另外一個單力來代表它們的合併效果，這一個單力就叫做兩力的合力。實在我們仍可用圖102來表示，AB代表一個球員所用的力，AC代表另一球員所用的力，於是對角線AD就代表加於球上的合力的大小與方向。

在科學上，這個原理稱做‘力的平行四邊形原理’，而它的法則與‘速度的平行四邊形’法相似，就是：“同時作用於一點上之二力，可以用一個平行四邊形的兩鄰邊，來表示其大小與方向，這二力的合力，可以用這平行四邊形上經過這二力交點的對角線，來表示其大小與方向”。

‘力的平行四邊形’原理，可用一個實驗來證明。如圖105，把一繩繞過兩個滑輪，一端懸重物4〔磅〕，另一端懸重物6〔磅〕，然後一個8〔磅〕的重懸在中間，剛可以平衡其他兩個重量。換句話說，6〔磅〕拉力的方向是AB，4〔磅〕拉力的方向是AC，它們的合力是等於8〔磅〕的拉力。若是A點能自由移動，它就向D移動，若是AC代表4〔磅〕力的大小與方向，AB代表6〔磅〕力的大小與方向，於是AD就代表這兩力的合力的大小與方向。

我們再來舉一個在不同方向的兩速度的合速度的例子。設想一個乘客(如圖106)，坐在一節車子中A的地位時，他站起來走向對座的B角。對於這節車子而言，他的移動方向是AB，但是這火車是沿着軌道前進的。這乘客在車上從A走到B時，這車子在軌道上已經從A行到C了。所以這乘客有兩個速度：一個屬於他自身的，是從A到B，另一個屬於車的，是從A到C。用速度的平

行四邊形法，我們知道它們的合速度的大小與方向，是用線 AD 來代表。倘使我們假定這乘客在車廂裏走了 1 [秒]，那末在 1 [秒] 之初，他在 A 處，在 1 [秒] 之末，對於路軌而言，他已經移到 D 處了。

五 地球的轉動

1. 說出地球轉動的證據三種。
2. 佛科擺的原理是怎樣的？

怎樣知道地球是轉動的？

現在我們大家相信地球每 24 [小時] 繞地軸旋轉一次了。但是憑什麼理由來相信呢？我們在夜間仰觀天空，看見天體轉動。我們又看見日出東方，行過天空而落於西方。但是倘使地球是靜止的，而天體與太陽真是運動的，那麼我們所見的也是如此景象呀，這不足以證明地球是轉動的。所以我們還應當知道科學家相信地球自己在轉動的理由是什麼。

我們步行於田野或登臨山邱時，每覺萬物寂靜，尤其在晚間。可是我們人與田野，樹木都在空間奔騰着，每 [小時] 達數百 [哩] 之速，你覺得奇怪嗎？

我們所居的地球有許多不同的運動。它行於環繞太陽的軌道上，其速度為 $18\frac{1}{2}$ [哩/秒]，即 66,000 [哩/小時]；它更伴着太陽與同系的其他行星，以約 40,000 [哩/小時] 的速度，在天空中向着織女星 (Vega) (天琴座 α 星) 奔去。

但是地球的運動，使我們感到最大的變動者，是它繞地軸的自轉，每約 24 [小時] 自轉一次。由於地球的這一種轉動，乃有日夜，更給我們一種印象，覺得太陽自東而西，行過天空，並且全部

天體在我們的頭頂上轉過。

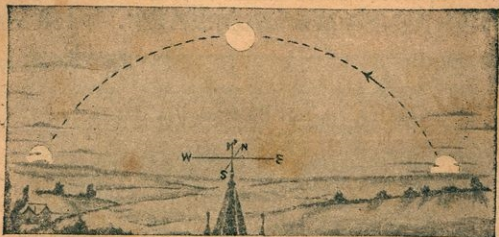


圖 107. 太陽經過天空的視似路徑，由於地球轉動之故。

太陽的視似路徑

我們看見太陽從東方升起來，慢慢兒愈升愈高，到達其最高點後，再以同一速率在對方下降，沒落於地平線下。這是日常所見的現象，無怪古人以為太陽真在運動，而地球是靜止的。

當然，現在的知識進步了，我們知道這種現象由於地球自轉的結果，並不由於太陽繞地而轉。

在天空中轉過我們頭頂上的，不僅是太陽，還有星。這種細小閃爍的光點，從黑暗中現出，似乎也在運行。它們都在天空中圍繞某一點而動，這一點與北極星很相近。

仰觀天空，很容易尋出那顆北極星。大家能夠看見大熊星座的部分，其形如犁，我們稱它做北斗七星。從斗柄端上的二顆星繪出一直線，恰好正指着北極星。

現在我們可做一種簡單而有趣的試驗，來幫助我們了解地球如何繞軸而轉動。我們可張開一頂遮陽傘，在傘的裏面繪着小

白點，代表北斗七星，而以傘柄穿過傘頂之處代表北極星。若用手擎傘，以傘柄的頂端指向北極星，傘裏所繪北斗位置正對着天空中北斗的位置，那麼這個傘裏就可表代天空。我們若在傘裏

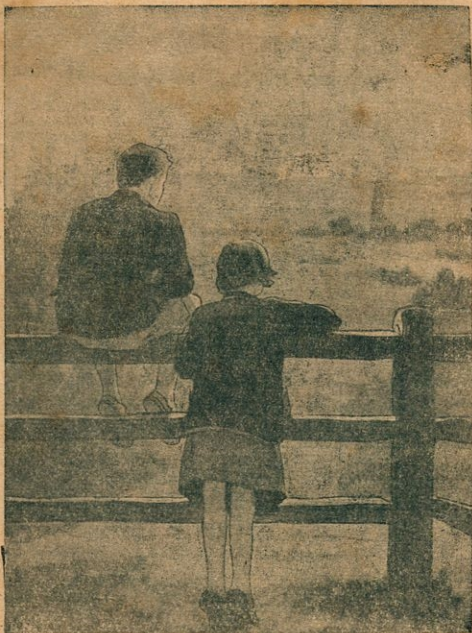


圖 108. 你曾想過麼，你注視太陽落山時，並不是在看太陽的運行，而是在看地球的轉動？

上再繪上若干顯著的明星，便更為像真而有趣了。

一個傘的實驗

現在若把傘正對天空中北斗的位置，不使轉動，而你自己在傘下走轉，仰觀傘裏，此時你就可看見傘裏所繪的星對於你在移動着位置，正如你轉傘時所見一樣。當然，你在靜傘之下走轉，必



圖 109. 這幅照片顯示北極星周圍的天體，係諾曼羅加天文台(Norman Lockyer Observatory)所攝。此照片露光二小時半；所現的星象不是光點，而是曲線，因為地球繞軸轉動，所以天體似乎動於反對的方向。那條斜線，是底片露光時，恰好有流星經過天空，因而攝入的。

須與轉傘的方向相反，才可獲得相同的結果。

這個實驗已經教導我們有趣而重要的一課，即是以我們所見而言，不論我們自己靜止而轉傘，或靜止傘而自己走轉於反對方向，所見的結果是相同的。

所以我們所見全部天空在頭上轉過的現象，必定不外乎二種理由：若非一切的星在一定的方向內轉動，便是它們對於地球是靜止，而我們與地球在反對的方向內轉動。對於這個謎，那一種解釋是對的呢？

我們現在知道了古人所不了解的，即地球繞其軸轉動是對的，並不是全部天空繞着靜止的地球轉動的。

古 代 的 理 想

古時也已有地動之說，不過沒有科學的根據來證實它罷了。公元前五世紀中，希臘哲人斐羅勞斯氏(Philolaus)就想到地球，太陽，月亮與其他行星都是轉動的。斐氏以為它們繞着一個中心火而轉動的，但地球更繞着一個軸而轉動，使地球上的居民永遠看不見這個中心火。可是沒有人真正相信這個說法，人們都以為天體繞着靜止的地球轉動。甚至公元150年時代的埃及大天文家與地理學家托勒滿氏(Ptolemy)，也不相信地球是轉動的。

他所持的反對理由也很有趣。他說，“倘使地球真是繞地軸轉動，那麼赤道地方的運動速度一定要大到每〔小時〕數千〔哩〕，”我們現在知道赤道地方確是動於這樣大的速度，但是托勒滿說，這速度將十倍於最猛烈的風暴的速度，若地球真是繞軸而轉，赤道上將永遠有猛烈的東風，鳥的飛行以及擲於空中的物體均將被可怕的速度吹向西去了。他說，世界上決沒有此種事情 所以

地球決不能繞軸轉動，而一定是靜止的。這是因為那時他還不明白大氣是地球的一部分，由地心引力拉住，亦跟着地球而轉動的道理，因而有那樣的主張了。

一千四百年後，即公元1543年，有一位生在波蘭的德國大天文學家哥白尼氏 (Copernicus)，才主張地球每 24 [小時] 自轉一次。

真 確 的 事 實

在哥氏的一部巨著中說，用地動說來解釋星的升降，比用托勒滿的理論簡單得多。他承認對於一切天體現象，無論用天動地靜說或地動天靜說都可解釋。不過哥白尼氏並不能證明地球是轉動的。在那時知識未足，也沒有儀器做實驗。可是從哥白尼時代起，所有學科學的人都承認地動而天靜之說了。

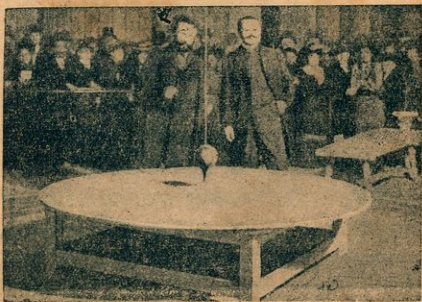


圖 110. 佛科氏用他的擺來證明地球的轉動。

取得地球轉動的第一個真實證據，距今還不到一百年，這是一位法國大物理學家佛科氏 (Jean Foucault) 在教堂裏做過的一

種有趣實驗(圖 110)。他用一個極長的擺來表顯出地球的轉動。一隻普通時鐘的擺是支在刀口上的,只能在一個平面內擺動;它老是往來擺動於一方向,把它推動於鉛直方向內,它就要停止。

佛科所製的擺能夠自由擺動於任何方向。他用一根細而柔順的錄掛起一個直徑 1 [呎] 的鐵球做擺錘,把這錄的上端懸在教堂的圓頂下,錄長 200 [呎],可說是空前的一個最長的擺。

在鐵球的底上,固定着一根尖銳的短鋼針,再在針尖之下安放一張直徑 12 [呎] 的圓桌。佛科在這圓桌上散了極細的砂,使擺錘往來擺動時,針尖恰好觸着砂面而劃出一些痕跡。

擺 動 的 鏈 條

在講述佛科如何用他的擺來證明地球轉動的故事以前,讓我們自己做一個小小實驗,來幫助我們了解佛科在教堂中所做的事情。

取一根鏈條,例如錶鏈,一端須有一個可以轉動的關節。用那平常鈎錶的鈎把鏈掛起,並在鏈條的另一端,即轉動關節所在的一端,掛一個小錘。使錘與鏈條往來擺動如一個擺。當它在擺動時,慢慢兒把掛擺的鈎捻轉,你就可知道鏈條雖被捻轉,而擺動的方向仍不變。錘與鏈條繼續在開始的方向內擺動不息。

我們從這一個試驗,學到了關於擺的一件極重要的事實,即擺動一經開始,雖有外界的勢力,它總是不肯擺到別的方向內去。

佛科就是用這一事實來證明地球的轉動。他的推論是,倘使用一個能在任何方向內擺動的大擺,使它擺動於某一定方向,那末地球與掛擺的房屋雖在轉動,這擺的擺動方向總是始終不變。

當然,開始使擺發動時,第一要它穩,不可有任何震動。佛科



圖 111. 歐洲某中學的女生正在做佛科擺的實驗來表示地球的轉動。一女生正在燒斷那根紗線，預備釋放擺而使它擺動得良好。

起擺的方法，係先用一條繩子把擺拉往一邊，留住幾小時，等到它絕對安定，而後把繩燒斷（圖111），擺即來回擺動甚穩，沒有任何震擾。擺動必須發動於一個絕對的真平面內，否則做這種實驗即難成功，所以謹慎小心是絕對需要的。像這樣的長擺，在發動之後，當然可動得甚久。

擺 的 擺 動

擺在第一次走過砂面時，球下的針尖在砂面上畫出一條直線。但當它擺回時，針尖畫綫的方向就微有不同。足見在極短時間以後，擺動所在的平面已略微向右偏轉。以後繼續這樣地增加偏轉。對於地面與房屋，擺動方向似乎在變動，但實際上並無變更。它繼續在開始時的同一平面內擺動，而房屋與地球則在擺下轉過。

這實驗一再做出，所得的結果總是相同。擺的擺動面向右偏



圖 112. 在英國開新登(Kensington)科學博物院中的一個巨擺,用它的擺動來表示地球是在繞軸而轉動。

移，在同一時間內所偏的量相同。對此現象的惟一可能的說明，是教堂的地板，實在擺動的長擺之下轉過，因此擺動面似乎是偏轉了。這種實驗為學者所喜做，在學校中表演也很相宜。

佛科擺證明些什麼

倘使把這樣一個擺裝在北極或南極上而使它擺動，觀察者就可看見它的擺動面依時針的方向慢慢轉動，每小時轉15度，在二十四小時內完成一周。在地面上別的地方，擺動面的轉動速度各有不同，離開兩極愈遠而愈近赤道，變動愈慢。例如在緯度54度處，擺動面轉動一周約需28小時，在緯度5度的地方，約需11日完成一周。

所以這擺的行徑，確是地球繞軸轉動的證據之一。

地動的其他證據

另一個證據是這樣的。倘使地球是靜的而天體在運行，則恆星決不能存在。我們知道恆星離開地球極遠極遠，在數萬萬萬（哩）以外。倘使它們在如此遠的距離而每日繞地一周，那麼它們的速度將要大得可怕，所生的離心力必致把它們撕裂飛散，好像一個飛輪轉得太快時，各部分迸裂飛擲一樣。這是天體不能繞地而動的另一證據。

關於地球轉動的另一個證據，可用一種常做的實驗來得到。倘使從一只深井的頂丟落一個鐵球，球墜落的路線必略向東偏（圖113）。這一現象，只有用地球自西往東轉動的一事實來說明。

若用極圓的小球，從深礦井的頂上謹慎地丟下去，則小球着底的一點，必比鉛直對準上面放球的一點略向東偏。這是因為礦頂離開地球中心比礦底遠，所以向東動得比礦底快。物體在礦

井口上時，有地球表面所動的速度。它保持這速度而落下，所以達到礦底時，要向前偏一些，倘使地球是不動的，上下就沒有偏差了。依精密的測算，物體每落下 520〔呎〕，向東偏出 1〔吋〕。

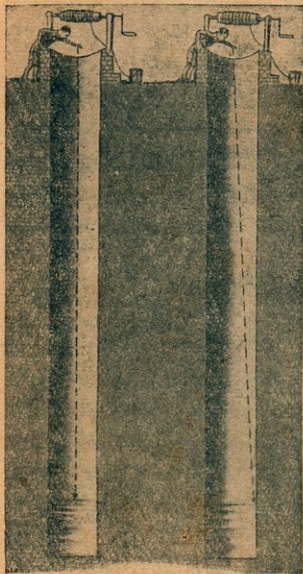


圖 113. 石子從深井的頂落下，向東偏，證明地球是在轉動。

更有一個證據說明地球是轉動的，是礮彈的路徑。在北半球放礮，彈程總是向右偏，在南半球放礮，彈程總是向左偏。海流與風，例如貿易風，均因地球的轉動而偏向。

最後，我們從望遠鏡中看出一切其他的天體，如月，太陽，各個行星及它們的衛星，均繞着它們自己的軸，以一定的時期而旋轉。我們就不應推論地球是一個例外，因為地球是行星之一，而且它的衛星也是轉動的。這雖是一種從比擬而來的辯論，可是這個理由也很充分。我們

從以上所舉的種種事實，無疑的可以斷定，我們所居的地球是繞地軸而旋轉的，約 24〔小時〕完成一周。

六 稱地球的重量

1. 地球究竟有多少重？
2. 地球的平均密度是多少？
3. 科學家怎樣設法來測定地球的重量？

要稱1〔斤〕菜或1〔噸〕煤，都很容易，一個這般巨大的地球怎樣稱呢？我們不能把它放在天平的盤裏，又不能把它掛在稱鈎上；但是它的重量已經被許多人用不同的方法稱出來了。方法雖然不同，結果卻很相近。我們現在已經很相信地球的重量大約是 6×10^{21} （就是6下面加上21個0）〔噸〕。（一噸合907.18〔千克〕）。這幾種方法，大約講在下面。

我們說一樣東西有1〔斤〕重，就是說這樣東西有1〔斤〕的物質。照科學家講起來，這是1〔斤〕的質量。質量是一樣東西所含實質的多少。重量是地球對於這東西的引力。在日常生活中，質量與重量是完全相同的。假使我們嚴密地來講的話，那就大不相同的了。

地 球 的 重 量

一個整個的地球比較同樣大小的一個水球重五倍半光景；這就是說它的質量或者重量是 5.852×10^{21} 〔噸〕。科學家能把這個數目求出來，真使我們很驚奇。在下面就可看到他們的求法。

第一次稱地球的著名實驗是在蘇格蘭舉行的。地球對於一樣東西有引力，一座山對於一樣東西也有引力。有幾位科學家用一個鉛錘線（一個鉛錘掛在一根線上）放在近西哈林山（Mount

Schichallion)的山脚。這錘線因爲山的吸引，所以不能垂直於

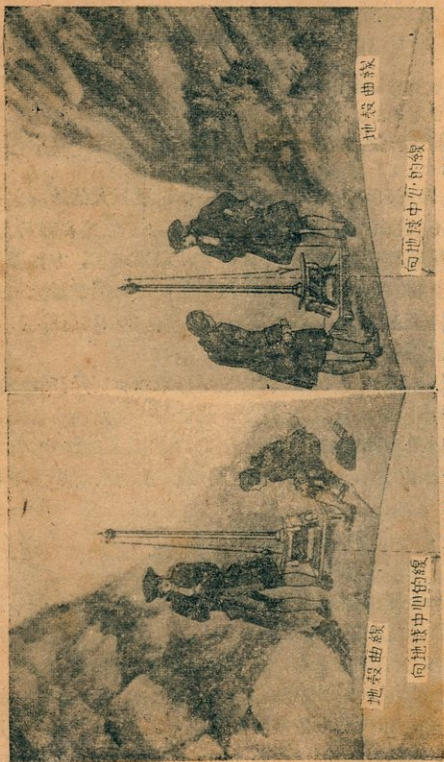


圖 114. 這兩個圖表示最初想求地球重量的方法的大意。把一個錘線掛在山的一邊，量錘線受山吸引後偏斜的度數。於是拿這個錘線移到山的那邊，再量偏斜的度數。從這種實驗的結果，就可算出山的密度。科學家再算出地球對於錘的引力比山大幾倍，他們於是就得到地球的密度。再從地球的體積，就算出地球的重量了。

地平面了。他們就量了那偏斜過的度數，然後再拿這個錘線放在山的那邊，再量一個偏斜度(圖 114)。他們再把山的體積與質量求出，於是山的比重也就得到了。比重就是一個物體與同體積的水的重量上的比率。他們求到這山的比重是 2.5，換句話說，就是這座山比較一座同體積用水做的山重二倍半。

他們從錘線的偏度，就能推測一個球，大小同地球一樣，密度與那座山一樣，對於物體的引力。一個物體的密度是其單位體積所含的質量。這球的引力照他們計算起來，是比地球的引力小 1.8 倍。於是就可知道地球的密度比那山大 1.8 倍，也就是比水大 1.8 乘上 2.5 (山的比重)，即 4.5 倍。每[立方厘米]的水重 1 [克]，那麼地球的平均密度是每[立方厘米] 4.5 [克]了。

以後又用同樣的方法，更精確地實驗，得到地球的密度是比水重 5.5 倍光景。

已經求到了地球的密度，地球的重量或質量就很容易得到了。從地球的直徑與圓周，就可算出地球的體積。於是就很容易算出同體積水的重量；這重量乘上 5.5，就得到地球的重量了。

應用模型的求法

但是這並不是求地球重量的唯一辦法。我們可以知道幾個密度相同的大球，對於面上小物的引力，與它們的直徑成比例。所以一個直徑 4 [尺] 的球比直徑 2 [尺] 的球引力大 2 倍 (在球面上)。直徑 6 [尺] 的球比直徑 2 [尺] 的球大 3 倍。其餘的就可照此推算了。

地球的直徑是差不多 4200 萬 [呎]，每 [呎] 等於 0.3048 [米]，比直徑 2 [呎] 的球的吸力約大 2000 萬倍。假使我們做一個地球的模型，它的直徑是 2 [呎]，密度是與地球的平均密度一樣。這個

球對於面上一粒芝麻的引力，是地球的約2000萬分之一。

我們要求地球的比重，我們就用一個鉛球，同時求它的引力與地球引力的比例，(地球引力就是物體的重量)。於是從精密的計算，就可算出地球的密度。於是地球的重量也就可以得到了。

這個方法是在1798年加文笛許氏(Cavendish)所用的。他是第房郡(Devonshire)公爵的一個孫子，很有錢的。他的脾氣很古怪，他要吃的飯菜常常寫了張紙條放在走廊的桌上，通知他的僕人；但是不許他們見面，違犯者立刻開除。

但是他是一個極聰明的人，可以說是富人中最高明的，也是聰明人當中最富有的。他的一生完全貢獻於科學。他生平最大的一件事，就是用一個精確的天平來稱地球。這天平叫扭轉天平。

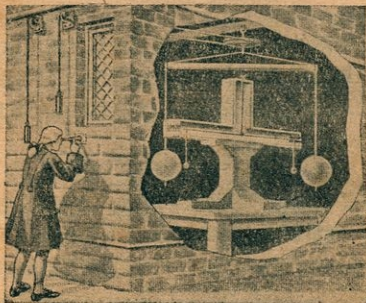


圖 116. 從這圖我們可以看到加文笛許怎樣用二個小鉛球掛在一個精緻的扭轉天秤的兩端，來稱地球。他使二個大鉛球來接近這兩個小球，再看扭秤被引力扭過多少。用精細的計算，他就得到地球對於小鉛球的引力，比大球對於小球的引力大多少。這樣就容易得到地球的重量了。

加文笛許怎樣稱地球

扭轉天平是平掛在一根金屬錄末端的一根槓桿(圖116)。這根錄能使那根槓桿在平面裏扭來扭去。加文笛許就用這個儀器來稱地球。他的方法如下：

他在扭秤的兩端掛了兩個直徑2[吋]的小鉛球；每個大約重1.5[磅]。他再拿兩個直徑12[吋]，重350[磅]的大鉛球，掛在另外一根槓桿上；這根槓桿也可以在水平面裏轉來轉去。

最初把二個大球放在與扭轉槓桿垂直的地方，然後使二個大球慢慢轉動到幾乎與小球接觸。小球因為受大球的吸引，就使那精細的扭轉天平稍為扭過一些。把那扭過的角度很小心的量下來。於是再使大球換個方向(反方向)轉動到幾乎與小球相觸，再將扭過的角度小心量下。

加文笛許氏於是就能從精密的計算，找出地球對於小球的引力，比大球對小球的引力大多少。有這幾個數據，他就求出地球的密度大約是5.5；這是用旁的方法早已求得的。於是他當然就能算出地球的重量。

擺錘的性質

另外有一個利用擺錘(鐘擺)來稱地球的方法。當我們提起擺錘，再放手的時候，這擺錘就因地球的引力向下擺去。當然這錘在下去的時候就得到動力，在另一邊向上擺去。擺錘因此就往來不息的擺動着了。這是因為錘被地球所吸引而要得到與地心距離最近的緣故。

假使錘上的引力減少，擺錘的速度也就減低了。譬如一個擺

錘在北平每〔日〕擺86530次，在赤道在同一時間內就祇能擺86400次了。這是因為地球在兩極略扁的緣故。北平比赤道近地心一些，地心是引力的中心，所以在北平的地心引力也比較在赤道的地心引力大一些；因此在赤道，擺錘的速度就減少一些了。總之物體在地球外面的引力，是跟它與地心距離的減少而增大。但是不要以為地心的引力，總是跟着與地心距離成反比例，或是反平方比例。因為假使地球的密度是勻一的話，那末一到地面下，地心引力就跟着與地心距離的減少而減少了。但因地心密度比地殼的密度大得多，所以起初在地面下的引力，並不是跟着與地心距離成正比例。不過到了相當的深度，也就慢慢的減少了。在實際上，我們決不能達到這種深度。

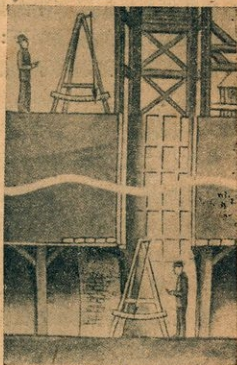


圖 117. 從擺錘在深礦的口，與在礦底擺動次數的不同，計算地球的重量。

一個天文家在深井中

這個擺錘的事實已經被一位天文家利用來稱地球。這位天文家名叫愛萊氏 (Sir George Airy)。他拿一個精細的擺錘，放在深井的口邊擺動，同時將在一定時間內擺動的次數記下 (圖 117)。他再拿這個擺錘，放到井底擺動，這井底比地面低 1200〔呎〕。因為井底的地心引力比井口大的緣故，所以在井底的鐘擺也擺得快些。他先用其他方法求出在井底以上的一層地殼的

密度；再從擺數的不同算到整個地球的密度。他做這個實驗，並不是很容易的。經過了幾次的失敗，並且死了幾個幫手，才成功的。第一次當擺錘從井底運到井口時，掛擺錘的線忽然燒斷，因此失敗。第二次正在井底求擺數的時候，抽井水的機器壞了，因此井中淹了水，有幾個幫手就此淹死。最後，他用了二個相同的擺錘，同時在井口井底擺着。這次實驗一連做了三個星期，總算是成功了。但是又跌死了一個幫手。他的結果與用旁的方法得到的相合。

在天平上的水銀

後來還有一個稱地球的方法，在德國舉行。在1879年房菊耳教授(Von Joll)在慕尼黑(Munich)地方塔頂上，掛了一個古怪的天平。在秤桿的兩端掛了兩對秤盤，一對秤盤比另一對秤盤高69〔呎〕。在上面的一對秤盤裏，放了二個滿裝着水銀的玻璃球。在下面的一對秤盤裏放了二個空玻璃球。在這時候天平是絕對水平的(圖118左)。

於是這位大教授將天平一邊的空球(下面)與實球(上面)對換，就是將水銀放在下面，空球放在上面。那時天平立刻失去平衡(圖118右)。在交換的方面是重了一點。這因為水銀的質量比在上面的時候近了地心一些，所以秤桿就傾斜到這邊來了。他將斜過的度數精密的量下。

於是在下面盛水銀球的秤盤的底下，再放一個大鉛球。這樣一來，天秤就再斜過一點，這個斜度也記了下來。從這樣得來的幾個數據，就可以算出地球的密度。這個結果與旁的方法所得到的相同的。

所以我們很可以相信地球的重量大約是 6×10^{21} 〔噸〕，因為許

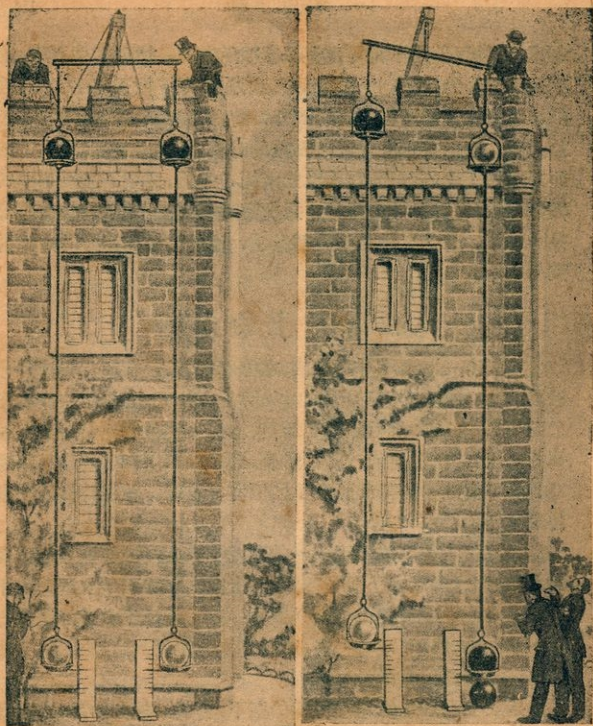


圖 118. 從這兩個圖可以看到科學家稱地球的一個方法。在塔頂上天平梁的兩端都掛一雙秤盤，上下兩個秤盤隔得很遠。在上面的二個盤裏，放了二個裝滿水銀的玻璃球。在下面的兩個盤裏，放了二個空的玻璃球。那時天平平得像左邊的圖中一樣。這幾位科學家就將天平一邊上下二球對換與左邊的圖中一樣，那天平就傾斜到一面去了。這是因為水銀近了地心一些，被地心吸得更利害的緣故。假使在下面盛水銀球的秤盤底下，再放一個鉛球，天平就傾斜得更多了。量了傾斜的度數球的吸力與地球的吸力，因此地球的密度與重量就可以算出來了。

多科學家已用不同的方法測得相同的結果了。

數 學 的 神 奇

上面這許多事實，都可以證明數學的神奇。有的人以為數學是枯燥乏味的科目，但是我們研究宇宙所用的科學裏，數學實在用得最多。我們曉得在太陽系中發現的幾個行星亦是用數學來求出的。差不多沒有一樣科學不靠數學。同時數學的用途也與時俱進，尤其是在物理，天文，化學等方面。

七 動 量 與 衝 量

1. 兩樣物體動得一樣快，何以重的不易停止？
2. 人從高處跳下，何以要脚尖先着地？
3. 用鎚擊釘，釘何以能够敲進木塊中？
4. 玻璃器皿落在地上容易碎掉，在地毯上則不易破，何故？
5. 跳高跳遠，何以要用沙坑？
6. 裝運瓷器或燈泡，何以要填塞碎紙屑？
7. 在擲鐵球，擲標槍的運動之前，何以先要快走幾步？

動 量 的 意 義

動量與運動不同。動量係指物體運動的量，要用運動物體的質量與速度之積來測定。假設有兩物體以不同的速度運動着。一物輕而快，另一物重而慢。這兩物體的動量或許會相等的。

例如放礮，在未放之前，礮與彈都是靜止的。既放之後，礮彈以高速度向前進行，即是得到動量。同時礮身也得到與礮彈相

等的動量，不過方向相反。但是礮的重量比礮彈大了許多許多倍，所以礮的向後運動的速度當然很小，不難給礮上所裝的反坐機構所吸收。



圖 119. 假使一個人穿着玻璃底的鞋子，立在冰上，依同一方向連續放着重鎗，他會沿一直線的路徑向後移動。

假如你穿着玻璃底的鞋子，立在冰上，從一枝重鎗連續放出彈子，放的方向始終不變，則在此種情形下，如果你的身體能保持平衡，則你就會在冰面上沿一直線的路徑漸漸地向後移動。

但是假使把你的鎗管彎成直角，使彈子沿着與你的視線成直角的方向而射出，那末在此種情形下，每放一鎗之後，你的身體就有在冰上旋轉的趨勢。

上述各例所服從的基本定律，總是一樣的，即是任何流體或物體從拘束它的容器中射出時，那容器也得到一種動量，其大小與

射出流體或物體的動量相等，而方向相反。所以那容器會向着反對於射出流體的方向而運動。

在公元前約一百二十年，亞歷山大城的哲學家希羅(Hero)曾創造了一種所謂“噴汽旋轉球”(Aeolipile)，我們稱它做“反動汽力機”(reaction steam engine)較爲適當，便是利用上述想像的人在開放直角鎗的原理所造成。其構造爲一個空心球，球面的兩個相對地位上各裝着一根彎成直角的噴汽管。球下方有一隻汽鍋，用二根彎頭空心管與球連通，這兩個彎頭係用作轉球的軸。汽鍋內所發生的汽從噴汽管中射出時，球即得到汽注反推的動量而迅速旋進。

希羅的引擎，至今還是一個玩具，將來也不會有什麼更大的用處，因爲它的效率極低。

大家都知道，汽船所以能在水中行駛，因爲它的推進器把水向船後推壓，於是所生的反動力把船向前推進。現在假設一隻船上不裝推進器，卻裝着一個強有力的汽力抽機，以便把水從突出於船兩邊的管中抽入，而由位於船後推進器地位上的兩根出水管中射出。那麼在這種情形下，試問那船可控制着前進嗎？還是不由自主地在它自己所造成的小波瀾中顛簸不定呢？

火車撞車的危險

火車在初出發時，通常都是很慢。此時若撞着一輛停着的車，兩車並無多大損失。但火車若開到很快時再去撞着那輛車，那時被撞的車固然要粉骨碎身，就是它自身也不免有重大損失。這是什麼道理呢？火車慢行時，所得的動量很小，故撞着另一車並不發生破壞的結果。反之，火車開快，則所得的動量很大，故撞着另一車就造成慘劇。火車到站之前將要停車時，必在距離

目的地之前幾(里)處預先對車輪邊緣上加軌，因為車受到制動的輪的動量，仍能使火車繼續前行幾(里)的。

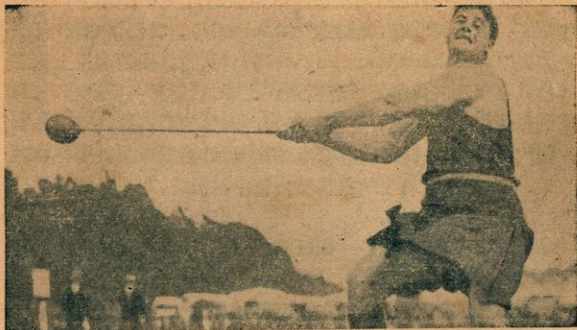


圖 120. 鐵椎得大動量後，可拋去極遠。世界最高紀錄是 200 [呎]。

運動家常利用動量來拋擲鐵球或鐵椎。他們把鐵球或鐵椎盡力揮轉，愈轉愈快，使鐵球得到巨大的動量。等到鐵球運動得極快時，忽然把鐵球放出，於是所得的大動量把鐵球送到極遠。

爲什麼錘能夠敲釘入木

一個打入木中的釘，係被摩擦力所執住。你要把它拔出很不容易；足見把釘打入時也非有大力量不可。那末用一個小小錘頭打釘，這大力量是從那裏來的呢？我們要知道，用錘敲釘，不但利用錘頭的“死”的質量，而且須給它一個“活”的速度。凡二物體相碰，動量愈大而改變得愈快(若質量不變，那末就是它的速度變得快)，則所生的衝力愈大。譬如你急跑撞壁，必至五臟

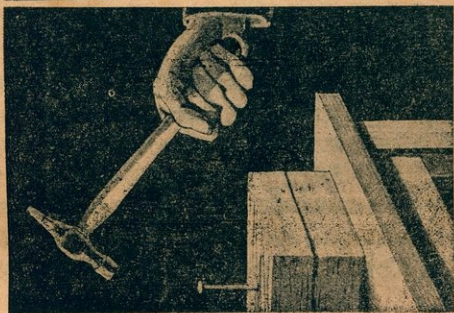
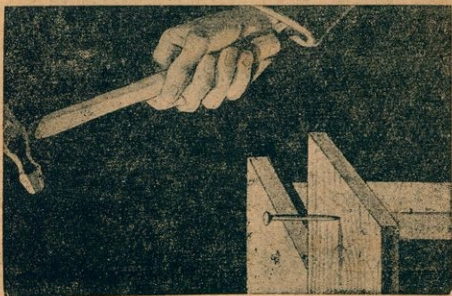
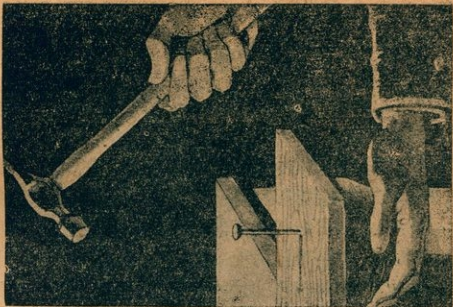


图 121.

振動，皮開肉裂。若緩緩地跑而又撞在一個略有彈性的籬笆上，就不致受到傷害了。

如圖121(左)打入的釘，因木塊是穩定於堅桌上的，鎚頭的動量在碰着釘頭時幾乎立刻變為零(因速度急變為零)，所以對於釘的衝力極大，釘即入木少許；換句話說，鎚頭的動量是完全傳給了釘，所以釘能在木中抵抗摩阻力而前進一些路。

若以中圖而論，木板伸出桌邊，鎚頭碰着釘頭時，木板略向下彎，釘亦隨之下移少許，因此鎚頭的動量變更得慢，所生的衝力小，釘亦不能入木。在右圖中，伸出的木板下面，另用木塊托住，故亦能打釘入木，與左圖的情形相似。

八 力與其反力的幾個實驗

1. 人拉車，車亦以大小相等，方向相反的力拉人，人與車何以仍能向前進？
2. 人坐車中，用手推車，車的動態不受影響；人立地上，用手推車，則車前進；何故？
3. 內力與外力的區別如何？
4. 試舉內力與外力之例各二。

任何二個物體，互相推着，或互相拉着，甲物施力於乙物，同時乙物也必定施等量而反向的反力於甲物。划船是最顯著的一個例：船夫用槳向後撥水，水即以相等的力向前推進；同時船身受到這反力的影響而向前邁進。放鎗時，火藥爆發，把子彈從鎗口衝出；同時子彈必推着鎗口，使鎗身向後退，這也是一個顯著的例。可是有許多反力是看不見，覺不出的。例如：我們跳躍時，地球推着足，因此使我們的身子踴起向上；但同時我們的足也推



圖122. 手推桌子，桌子反推手，
把人與椅子一起推開。

下壓，於是，秤台上就同時感到額外的重量。圖125表示一種花爆，普通叫轉球。在花爆的中心穿一根麻線或鉛絲，作轉動的軸。近花爆兩端的面上放出煙火，煙火噴射於一方向，而花爆的本身，則旋轉於反對的方向。

圖126表示一個小兒想坐着盪鞦韆。我們現在把這鞦韆架上所有的力與反力細細的分析一下，看看一共有幾對力。麻索拉

地球向下。這裏有幾個簡單的試驗，說明力與反力，如影形之不可分離。我們要推開坐着的椅子（圖122），可用手推着桌子，桌子的反力反推着手，於是聯帶的把椅子推開。女孩子跳繩（圖123），足推着地面，地面的反力把她的身體跳起。我們立於秤台上（圖124）待計量的指針穩定後，舉起雙手，計量的針必指示分量加重。這是因為兩手向上舉起時，重心上升，它的反力使我們的身體向



圖123. 足推地球，地球反推足，使這女子跳起來。

住架頂橫木上的鐵環，鐵環拉住麻索，這是一對力。手拉着索，索因摩阻力而拉着手，這又是一對力。身體壓着坐板，坐板也壓着身體，這是第三對力。脚踢着地，地也推着脚，這是第四對力。每對力中的二個力，



圖124. 突然舉起兩手，自己的身體必向下一壓，秤臺上感到額外的重量。

都是相等而反向。現在他的身體把繩轆向後推，而地面把他的脚向前推，所以他動盪不得。平常盪鞦韆是由於地球引着身



圖 125. 花爆的烟火向一方噴射，花爆的本身在反對方向旋轉。



圖 126. 小兒盪鞦韆，有許多對的力與反力。

體而動，身體雖也吸引地球，但是地球太大，覺不出引動它。

將小帆船浮於浴盆水面，用口吹帆或用鼓風器對帆扇風，船即



圖 127. 風 吹 着 帆 前 進

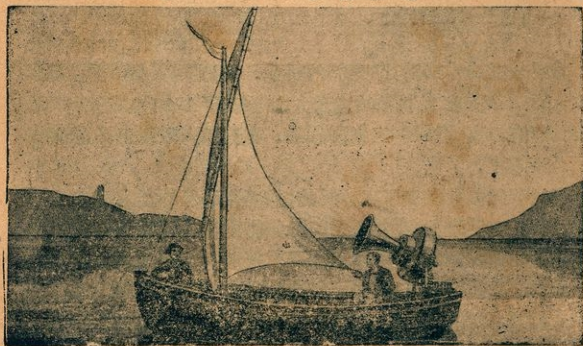


圖 128. 風 吹 着 帆 不 前 進

前進，如同指撥(圖127)。從這個小小試驗，我們可以明瞭水上的帆船怎樣能夠藉風力前進。這裏另有一只大帆船(圖128)，船上設有強烈鼓風器械，可以對準帆布隨時吹風。但是船上的帆雖受風力，而不能前進，這好像與上面所說明的有些矛盾。其實也是力與反力的緣故，因為風從鼓風器中吹出的力量，同時必生一種相等而反向的反力量壓在鼓風器上。圖127中風的反力施於船身以外，故其力不著。圖128內風的動力發生於船上，而反力亦仍加於船的本身，因此二力相消，船不會向前進了。

九 功 與 功 率

1. 作功有那兩個必要的條件？
2. 功是怎樣計算的？
3. 功率是什麼意義？ 功率的單位是什麼？
4. 機械效率是什麼？

力學是討論力與功，動與靜的科學。假定有一個人想移動一塊大石頭，但是因為石頭的重量大，他雖費了1,2〔小時〕的嘗試，搬得筋疲力盡，石頭一些也沒移動。在普通人想起來，他作的功已是不小了。

他的嘗試確已耗費了不少體能，然而照科學的意義講來，並沒有作功。在科學上，除非所用的力使物體發生運動(即有位移)，就沒有功可說。例如一個人用手臂托起一個50〔磅〕的重物，不久覺得十分疲勞，自以為做了極多的功。但是實際上他並未做功，因為他只提住重而並未使它運動。在力學上，‘功’的一個名辭，並非用以指示怎樣勞苦，而在量計用力的成就。一根柱子撐

住一所大廈，似乎其功不小，但是照科學的意義，它並沒有做功。

凡力作用於一個物體上而使它順這力的方向運動時，我們就說這力作功於這物體。但是如果因有其他的力的影響，以致物體逆這個力的方向而運動，我們就說這物體逆這力作功。

騎腳踏車上山

倘使物體運動的方向與力的方向成直角，那麼這力既不作功於這物體，這物體也沒有逆這力作功。這是我們應當慎重注意的。

假如一個騎腳踏車的人踏車上山，因為重力把他向地心拉下，所以他是在逆重力而做功。反過來講，倘使他足不踏車而任車輪自由轉動下山，這時候是重力在作功於騎車者的身上了。但是在平地上騎車，就沒有重力所做的功，也沒有逆重力而做的功，因為自行車在平地上運動的方向與重力的方向適成直角。

事實上踏自行車的人也在作功的，無用的功，他在制勝摩擦力



圖 129. 這位女子扛着一具鐵鋤，立定了拍張照。她用雙手扳住了鋤柄，肩胛壓得痛痛的，立得時間久了，覺得非常吃力。但是照科學的意義講，她一些功也未做成。科學上所謂作功，並不是僅僅在把物體支住，必須把物體在力的方向，從一地方移到另一地方。

與空氣阻力，因為這兩種力的方向，總與物體運動的方向相反。不論我們前進或後退，空氣總是阻止我們。摩擦力也決不能完全避免，雖然在冰上滑動時，摩擦力已減至極小。

功 率 的 意 義

科學家要計算做“功”的量，乃規定“功”的單位。比方把1〔仟克〕的重量升至1〔米〕高，則所做的功是1〔仟克·米〕。又如把50〔克〕重升高60〔厘米〕，則所成的功是3000〔克·厘米〕。在英國制中，功的單位叫做〔呎·磅〕，就是把1〔磅〕的重升高1〔呎〕所做的功。



圖 130. 〔呎·磅〕是一種量功的單位，它是把1〔磅〕重鉛直地上升1〔呎〕所做的功。

要比較二個人或二部機器的本領誰大，不僅要用他們所能做的功量來量計，還得從做功的快慢來比較，即用科學上所謂功率來量計。比方有一個小孩提30〔磅〕重在2〔分鐘〕內升高100〔呎〕，一個大人提同樣的重能夠在1〔分鐘〕內升高100〔呎〕。大人與小孩完成的‘功’是相同的，但大人做得快些。我們就說大人的功率比小孩大。功率是每單位時間內所成的功，在上例中，大人的功率是每〔分鐘〕3000〔呎·磅〕，小孩的功率是每2〔分鐘〕3000〔呎·磅〕，就是1500〔呎·磅/分〕。

工程師計算引擎的本領，用一種較大的功率單位，名曰〔馬力〕。這種單位是改良蒸汽機的瓦特氏所規定的。他用許多拉貨車的強壯馬匹來試驗，結果他求得平均每匹馬做功的快慢，等於每〔分鐘〕把33,000〔磅〕的重量

升高1〔呎〕。他就把這個數量稱為1〔馬力〕。這個定義當然是泛定的，因為有些馬的功率比他所定的〔馬力〕大，而以全日的成功統算起來，一只馬的功率又必比1〔馬力〕小。然而瓦特氏根據他試驗所得的結果取其平均數為標準，即以〔馬力〕數來度量他的蒸汽機所成的功。這個單位至今在工程界仍是習用着。

$$1〔馬力〕=550〔呎·磅/秒〕=33,000〔呎·磅/分〕。$$

利用機械來作功

人類的力量有限，夠不上做他們所希望的大功，所以發明種種

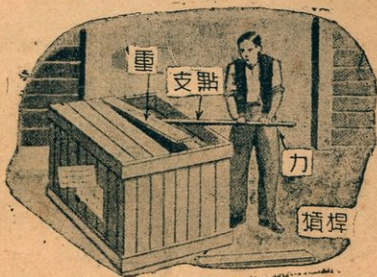


圖 131.

有用的機械，供他們利用，一輛強有力的鐵路機車，或一座龐大的紡織機，印刷機，當然都是巨大而巧妙的機器。但是一切複雜的裝置，不過是若干極簡單機械的組合而已。

自然界有許多能力供人類使用，但是它們自身無從替我們做所要的功。惟有用機械，才能把天然能力利用，成為我們所指定的方式。比方天然的瀑布不能自己磨穀或發電；光身的馬不能使它從井中取水。但是有了水車與轆轤，就可把瀑布的水力

與馬的能力利用來做許多有用的功。可是有一點須明白，機械只能把‘能’利用或變換，卻不能把‘能’創造或燬滅。

一切機械中的最簡單者有六種：是槓桿，滑輪，輪軸，斜面，劈與螺旋。但是概括起來，實在只有二種，滑輪與輪軸是槓桿的變相，劈與螺旋又是斜面的變相。

槓桿是一根堅硬的棒，擱在一個固定的點或邊上，稱做支點，藉以使棒能自由轉動。棒的本身不是一件機械，但配上了一個

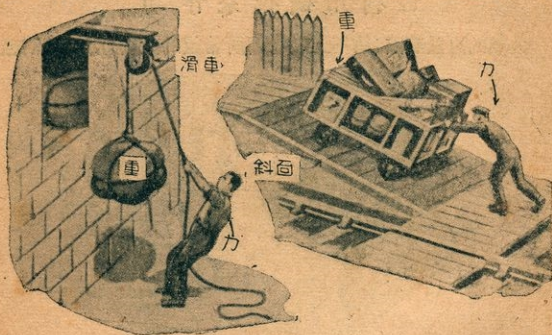


圖 132.

支點。例如把棒擱在木箱口上，手壓長的一臂，以短的一臂來撬開箱蓋板，就成功了一具機械。比方一只釘用600〔磅〕的力吃住箱蓋，棒的短臂把蓋板撬起1〔吋〕，那麼用以拔釘所需要的功是600〔吋·磅〕。如果長臂的一端能下去6〔吋〕，則那人所用的力只需100〔磅〕，就可把這箱板撬起。

我們在這裏再來提醒一下，使用機械只能把輸入的功或‘能’傳遞，而決不能使‘能’增加。在實際上，因為機械部分之間總有摩

擦，必有某量的功用以抵勝這摩擦力而致耗廢，一個機械所輸出的功與它所輸入的功之百分比，稱為這機械的效率，這百分比的值必不滿100%。

一具機械，如槓桿，好像是能用小力來生出大力的，但必須注意小力所經的路較長，大力所經的路較短。得於力的必失於距



圖 133.

離，失於力的必得於距離，而力與距離之積——功，總是兩方相等。用算式來表示：

$$\text{功的輸入} = \text{功的輸出} + \text{損失}$$

這是功的原理，我們大家應當記牢。所以我們應用機械可以省力或省距離，而決不能省功。

滑輪是一塊圓板，支點在其中心。用繩繞在圓周上，一端懸重，一端施力，像一個天平的功用一樣，所以滑輪是一個等臂槓桿。

第三種簡單機械是輪軸，支點在軸綫上。重懸在軸半徑之端，臂加在輪半徑之端，像一根棒攔在箱口上撬開箱蓋的功用一樣，所以輪軸是一個不等臂槓桿。

另一種極重要的簡單機械是斜面。人力所舉不起的一車行

李,可藉斜欄的板送上火車。這裏手推的重乘斜面的長,等於行李與車之重乘斜面之高,所以能省力不少。劈木的尖劈是一個雙斜面。螺旋是一個捲在圓柱上的斜面。

以上六種通常稱做簡單機械。有時稱它們的助力為機械能力,這個名詞很容易使人誤會,因為好像它們能把所受的能量增加,或者自己是一種能力的來源。其實並不如此,它們所能做的,只在幫助我們的能力,應用到不同的目的裏去,以便完成我們赤手所不能做的功而已。

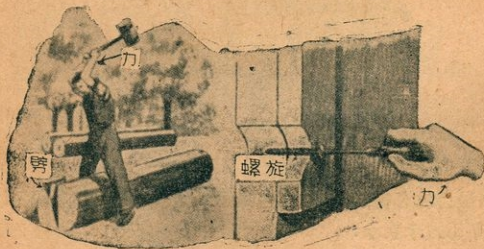


圖 134.

古時,人類已開始發明聰明的器械,來幫助他們移動重物及做別的工作。這種器械的最簡單者有六種,如圖131至134所示,即槓桿,輪軸,滑車,斜面,劈,與螺旋。而現在一切繁複的機械,多由這六種簡單器械組合而成。

第四章 分子力

一 物質分子力的性質

1. 爲什麼用汽油可移去衣服上的油漬？
2. 燈芯何以會吸油上升？
3. 你怎樣說明一根火漆棒也有粘滯性？
4. 什麼叫做多孔性？
5. 拍皮球何以會來回跳躍？
6. 爲什麼把手放入水中要沾溼，而放入水銀中則不溼？
7. 把氨水的瓶蓋揭開，爲什麼全室聞到臭味？

關於物質分子力的性質研究，是頗有趣的。我們知道，一切物體不論是固體，液體，或氣體，都由分子所組成，這些分子互相吸引，其吸引力的大小，視各分子間的距離而定。

我們所可覺得的分子力的影響範圍的距離有多少呢？由測驗這個問題的許多實驗，證明其勢力能越過一層厚度爲百萬分之2〔吋〕的銀膜。在固體物質內，把物質團結的分子力很大，例如某些鋼的抗張強度——即它抵抗拉斷的力量——可以達每〔平方吋〕30〔噸〕。液體的分子力雖比固體小得多，但已足惹起我們的注意。

若拿一塊潔淨的玻璃板去與水面相接觸，則要把它們分開，必須使用大約每〔平方厘米〕0.6〔克〕的拉力才行。

至於氣體，在普通壓力之下，實際上可以說沒有分子引力。

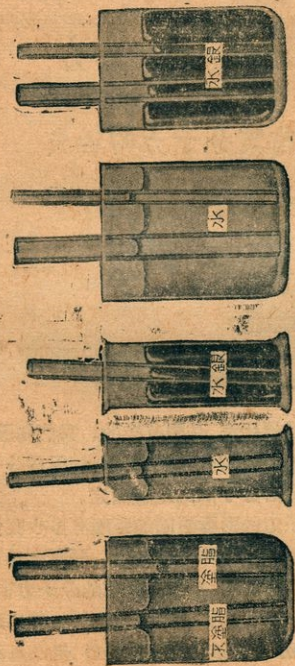


圖 135. 這幾個圖表明由毛细引力所發生的奇怪現象，從左邊起，第一圖表示放在水中的兩根細玻璃管，一個管塗油脂，一個沒有塗油；如何使水發生奇特的行為，第二、三圖表示細玻璃管放在水與水銀兩種液體內時所生的不同現象，最末兩圖，則表示液體在較小一管內的表面之升降程度，比在較大管內為大。

表面張力

取一只平底杯，很仔細注水進去，則杯內的水，可以滿到水面呈彎曲的程度，在水面中心地方比杯口略高。

水所以不至於溢出的道理，是因為有一種力在水面上作用，把水面拉住。

這種力稱做表面張力，我們若注視杯中水面，可以見到它很像一層有彈性的皮膚把水包着似的。要劃破這一層皮膚，需要相當的力，用力的大小，隨液體的種類而不同。



圖 136. 針因水的表面張力的關係，可以浮在水面。上邊的一個剖視圖，表明針如何臥在水面上一條小小凹槽裏。

若將一根針的外表塗着油脂，再仔細地把它放在一碗水的表面上。針的比重雖大於水，它仍會臥在水面，使後者造成一個凹



圖 137. 水上昆蟲，如水黽，之能在水面行動自如，係由於水有表面張力。每只腳所踏之處，現出微凹，於圖中可見。

槽而仍不下沈。這是因為水的表面張力把它托起的緣故。

表面張力，是由於液體表面的分子互相吸引所致。在容器中

的，其分子之在水內的，因為各方面都被其他分子以相等的力吸住，是在平衡狀態。但在水面的各分子，因水面外並無分子，所以不受到這一方面的引力。

少量的水，如雨點等，所以成爲球形，也是因爲表面的分子被內部的各分子所吸引的結果，在這種條件之下，表面必成爲一個有最小面積的形狀，換句話說，必成球的表面。液體的表面張力，隨着它的溫度升高而減少。

油的表面張力比水的小得多，所以一滴油放到水面上，必立即展開成爲一層極薄的膜。肥皂泡也是表面張力的一個極好例子。

用汽油或輕油(benzine)來除去沾在衣服上的油膩，必須把輕油塗在油跡的周圍。油脂因爲具有較大的表面張力，於是向中心聚合，故可用吸墨紙把它吸淨。若將輕油放在油脂的上面，後

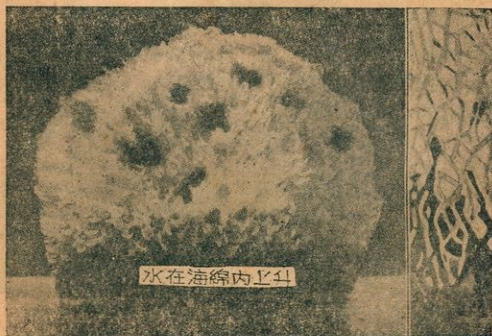


圖 138. 水如何藉海綿所具的微孔和微管的毛細作用而上昇的情形。右方即係此等微管的放大圖。

者必在布上展開，就不易把它除去。

毛 細 現 象

把很細的開管，放到一杯液體內去的時候，我們所見到的現象與液體的一般定律，即它們必‘尋求自己的水平面’的定律，似乎矛盾。我們先講水。若把很細的玻璃管放到一杯水內去時，管內的水面必比杯內水面為高，而且管內水面是凹的。

現在若把同一管子放到一杯水銀內去，水銀是不會令管壁潮溼的一種液體，則管內水銀面所表現的現象，與前述管內水面的現象相反，它比管外的水銀面要低，水面且係凸的。管的口徑愈細，上述兩種現象愈顯著。

這種在細管內所見的現象，稱做毛細現象，服從下述幾條定律：

第一：毛細作用分為兩種，一種是液柱上升，溼及管壁，有凹面。他一是液柱下降，不溼管壁，有凸面。

第二：毛細管中液柱的升起或降落，與管的直徑成反比，所以



圖 139. 一塊糖放在有茶的碟內。茶水因毛細作用而由糖的細孔上升。右方係糖的細粒的放大圖。

用管愈細，由毛細作用所生的內外液柱面的高低差別愈大。

第三：毛細管中液柱面的升降，視液體的性質而定，每一種物質各有它自己的特殊程度。

用兩個口徑相等的細管，一個裏面塗以礦脂（凡士林），另一個裏面則乾燥而潔淨，把它們都放入一杯水內，則後一個管內的水面必上升而且面凹，前一個管內的水面與水銀的現象相似，必下降而面凸。因為那時的水不會使塗脂的玻璃面溼潤了。

我們讀水銀氣壓計所指示的標度時，若要得到很精確的結果，對於水銀柱的毛細作用須加修正，因為所示的讀數，必比真正的讀數要低些。

在日常生活中，我們要遇到許多毛細現象。海綿能吸水，燈芯能吸油，都是毛細作用。我們用手巾可以把手與臉上的水吸乾，也是毛細現象，因為手與臉上的水從手巾的小孔中吸入的緣故。

一塊糖若放在一只有淺水的碟內，水必因毛細作用，升到糖塊之頂。又植物與樹內的液汁所以能上升，毛細作用也有一部分關係。



圖 140. 本圖表示濕的表面與不為水所溼的表面的行為（為水所溼）。小球係用軟木製，黑色球的面上塗有油脂（不為水所溼），其他的球絕無油脂。箭頭表明這些球如何互相吸引，互相推斥。

有一個頗饒興趣的實驗。取若干軟木球，令每一個的重量恰好使它一半浸水而浮着。這些軟木球中的一部分，先已洗刷乾淨，不染任何油膩，另一部分則塗有一薄層石蠟或油脂，這樣，則

前一種球必被水所溼，後一種則否。一對爲水所溼的球或一對不溼爲水所溼的球必互相吸引而浮在一起，一個不爲水所溼的球與一個爲水所溼的球，必互相推斥而浮開。

吸墨紙之能吸墨水，也是由於毛細作用。吸墨紙，海綿，手巾與燈芯等所具有的細小空隙，即等於毛細管，所以它們有毛細作用。



圖 141. 吸起墨水的吸墨紙的截面放大圖。墨水經過紙的微孔而上升。

粘 滯 性

液體的另一性質是粘滯性(viscosity)。粘滯性是流體物質的質點有相對運動時，質點中間所生的阻力。例如糖漿是有粘滯性的物質，但氣體則相反，所以氣體很會流動。

可是，即如空氣也有若干粘滯性。證明空氣有粘滯性的事實爲它能激起水面的波，因爲它若沒有粘滯性，那麼它將平平的吹過水面，不致發生任何影響了。

氣體的粘滯性，隨着它的溫度上升而增大。氫氣的粘滯性只有空氣的一半。

比較各種液體的粘滯性的方法，是輪流把要試驗的各種液體

放在一個漏斗內，使液面達一定的高度，再使它漏下，比較每種液體各需要若干時間才能漏完。

酒精與鑛油是很流動的。水，水銀，植物油與魚油的粘滯性較大；甘油，糖漿，煤渣與瀝青的粘滯性很大。

火漆棒雖是似乎很硬，但它也有一些粘滯性，我們如把一條火漆棒只以一端支着，過了一個長時間，也會彎曲。

瀝青雖然從許多特性看來，可以說是固體，但它也有粘滯性。一桶瀝青放在一個實驗室裏的地板上，過了一夜，因為桶沒有塞好，次晨去看時，瀝青已佈滿在地板上。液體的粘滯性隨着它的溫度升高而迅速減小。

多 孔 性

液體與固體都有多孔性。這些物質上具有許多肉眼所看不見的小孔或細小空間。科學上所謂多孔性，並不指肉眼所可見的孔，如海綿或軟木塞上的孔之類。物質如金，銀，鐵與鉛之類，從肉眼看去，其構造雖很緻密，但它們也是多孔性的。因為它們都有許多極小的孔，可以為其他物質填充。

倍根氏(Francis Bacon)想用實驗來發見水是否為不可壓縮的東西的時候，他在一個鉛質空球內注滿了水，加以擠壓與錘擊，就發見水能通過鉛質而滲出。其他科學家所作的若干實驗，證明金與銀也是多孔性的東西。燒熱的鐵，對於二氧化碳氣是多孔性的。

液體也是多孔的東西，兩種液體如酒精與水，或糖漿與水，都能互相穿透，即是這個緣故。如用54分水與46分酒精相混合，結果的體積並不是100分，而是97.6分，這便是液體有多孔性的證據。

氣體却不是多孔性的。多孔性的意義不施加壓力，係指兩物體可以占據一個較它們的體積之和為小的空間，由於它們互相貫穿對方的小孔之故。氣體混合時，壓力若不變，其體積是恰等於未混合前分開的體積之和的。

物質的多孔性，在日常生活中，我們可以常常遇到。例如液體可以壓過吸墨紙或其他的物質，水可以用含矽酸鹽的礆來濾過等，都是利用這個性質。



圖 142. 一桶瀝青，未放塞子，在試驗室裏，過了一夜以後，瀝青都流佈地板面上。瀝青雖然看去是固體，但它是具有黏滯性的流體。

壓 縮 性

物體的另一性質為壓縮性，其意義是說物質可以受壓力的影響，占據比較原來稍小的空間。固體與液體之壓縮性，當然是由於它們的多孔性而起。

氣體稱做可壓縮的流體，因為它們極易被壓力所屈伏。液體

稱做不可壓縮的流體，因為它們只有在極大的壓力之下，才表現一點可為我們認識的壓縮。

以前，經過很長的時代，人們都認為水是絕對不能壓縮的，但現今研究的結果，知道並不如此。

一般地說，固體自然比液體更不易壓縮，但水銀却比玻璃還要難於壓縮，所以，從這一觀點，水銀也可以歸入於固體。反之，固體的橡皮，却又是很容易壓縮的東西。固體物的彈性，與它的壓縮性有很大的關係。

內 聚 性

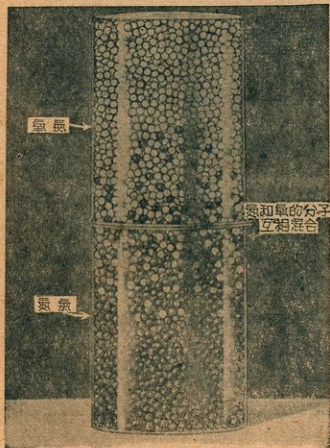


圖 143. 兩種氣體相觸且在同溫度與同壓力下時，必互相貫穿，其分子的上下運動，名為擴散。

物質的又一性質為內聚性。一物質的內聚性是由於同種物質的各分子相互之間的吸引力。同種物質的各部分所以能互相固持，即由於這種內聚性的作用。有時把異物體的分子間的吸引，特名為附着性，以與內聚性區別。

若把兩塊鑄鐵板的面刨平，加以磨光，使它們達到高度的平滑。將其中之一壓在他一面上，面與面之間密切得不含空氣，則它們必至附着很牢，非用巨大的力不能把它們分開。

這並不是與馬德堡半球之類，由於大氣壓力的作用，才不能把它們分開。因為這樣附着的兩鐵板，若放在抽氣機的鐘罩下，把空氣抽去時，仍不能把它們分離。

若把造鉛筆的石墨，研磨成細末，而施以壓力，則它的小質點可以被內聚力團結得很緊，成為堅實的一根棒。

把兩片金屬銲接攏來的力量，完全是依靠這兩片金屬的內聚力。

工程師們所注意的材料強度問題，實在就是討論那種質料內各部分之間的內聚力。因為內聚力的不同，各種質料應付外力的本領也就有不同。如鑄鐵的抗張本領雖小，但抗壓本領却很大，熟鐵則恰相反，它的抗壓本領較小，而抗張本領較大。

因此，在建築工程上，負載較重的梁，其上部可用鑄鐵來造，因為這裏是受較大的壓縮力的地方，下部可用熟鐵來造，因為這裏是受張力較大的地方。但是，鋼的抗張，抗壓本領都好，所以建築上多採用鋼梁。

內聚力，附着力，與毛細引力等，都是物質分子互相吸引的結果。

我們把兩手放到水內去，手必受溼，這是附着的實例。這個事實並說明水附着於我們手上的力，比它的各分子間的內聚力大。不過亦有內聚力比附着力更大的，例如我們把手指浸到一盤水銀內去，手指並不會溼，即是這個事實的證據。

擴 散

在兩個容器內，各放入不同的氣體，兩氣體的溫度與所受的壓力都相同，則令兩器互相交通後，兩氣體必互相混和。像這樣一種氣體散布到他一氣體內的事實，名為擴散。

擴散的發生，是由於物質分子的運動。兩氣體相接觸的時候，各氣體的分，因有速度之故，必互相通過分界面而混合。擴散的速率，視兩氣體的密度而定。

氧氣重於氫氣十六倍，所以氫氣的擴散率為氧氣的四倍。

液體的擴散，較氣體慢得多，且一部分的液體例如油與水竟不能混合，此外，醚與水僅有一部分擴散。

鹽溶解在水內時，散布到全部的水中，也是擴散的一例。

照擴散量的大小，物質可以分成二類。一類是晶體，如糖、金屬鹽等，它們溶解與擴散均很迅速；一類是膠體，如膠與澱粉等，它們溶解與擴散均緩慢，且不似晶體之有一定的比例。

氣體還可以通過在一張薄板上的微孔，孔的直徑儘管小如氣體分子的直徑。此種通過的方法，名為瀉流(effusion)。氣體像這樣通過微孔而到真空中去的速度，與那氣體的密度之平方根成反比。

二 分子力舉例

1. 二物放在一起，附着力大於內聚力的例，試舉出三個。
2. 舉出五種黏合劑，並說明其用途。
3. 糊紙盒要用水玻璃，試說明其應用情形。
4. 為什麼玻璃一跌就碎，鉛皮卻跌不碎？不碎玻璃怎樣做成的？

內聚力與附着力

物質之所以不容易裂斷，都是因為物質的分子互相拉住的緣故；同種物質的分子間的拉引力，叫做內聚力。異種物質的分子間互相黏附着的力，叫做附着力。這裏有幾個簡單的證例，來說

明分子力。

住在海濱或近沙灘的孩子們，往往喜歡用鉛桶把沙泥範成圓柱形，以做遊戲。但是若把乾沙泥來堆，就永遠堆不成，因為沙粒傾出鉛桶後，就散慢坍下來。若把沙粒弄溼，那末掀起鉛桶時，就赫然成爲柱形了(圖144)。這種溼沙泥，最適當的是潮汛剛退時。

至於溼沙泥之所以能堆成圓柱形，全靠水與沙的附着力，水在



圖 144. 做沙泥圓柱，必須用溼沙泥，因水的分子能幫助沙粒互相黏聚。

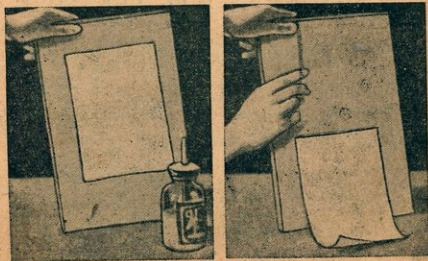


圖 145. 木板與紙彼此沒有附着力(右)，但它們與漿糊或膠水附着力卻很大(左)，

中間做媒介，把沙粒互相拉住的緣故。



圖 146. 粉筆對於黑板有附着力，所以能很明顯的在黑板上附着。石筆較弱；石頭簡直一點沒有。



圖 147. 餅乾的內聚力小，很容易把它折碎。



圖 148. 馬糞紙雖然能夠折斷，但總較餅乾困難些。



圖 149. 要折斷一根木棒，就非用大力不可。



圖 150. 金屬物質，內聚力極大，很不容易破壞。

第二個試驗，指示我們爲什麼紙能夠附着木板上。假如把木板直豎着，想使紙附貼上面，紙會即刻滑脫下來。但是在木板與紙之間，別若塗有漿糊或膠水，那末兩者就會緊黏着不脫下來。這雖是平淡無奇，人人都知道的事情，可是事實上紙與木板兩種物質，決沒有互黏的可能性。現在所以能夠黏者，因爲漿糊與紙，木都發生附着力，它在紙，木的中間把它們拉住的結果。

第三個試驗：粉筆在黑板上寫字，會寫出清楚的字跡(圖146)，就是因爲二者之間有附着力的緣故。假使用寫石板的石筆在黑板上劃，那末寫的字，就不像粉筆寫的清清楚了。若用石頭寫，那當然不可能，因爲兩者之間，根本沒有附着力的。

易 碎 的 物 質

有幾種物質，很容易破碎，這是因爲這些物質的分子內聚力不強的緣故。例如折碎餅乾，是件極輕容易的事情(圖147)。可是馬糞紙就比較難折了(圖148)。要折斷一根木棒，非用大力不可(圖149)。若是金屬，就要用更大的力了(圖150)。

三 油爲什麼能平服怒濤

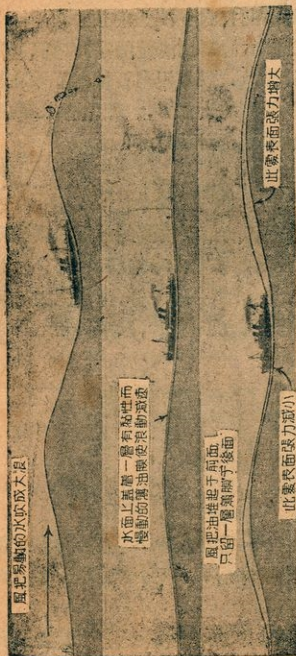
1. 大風爲什麼發生巨浪？
2. 海面上傾油，何以把海浪減少？

一隻船在暴風怒潮中遇難，而另一隻船開來救助時，它必須將救生船下水，以便救出遇難船上的乘客。但是這時如果海浪太大，此事就困難與危險了。

爲解除這個困難起見，水手們常用油傾在海面上，這樣海浪洶

湧之勢就可稍殺，小小的救生船也就有用武之地了。

但是油何以能使波浪平靜呢？對於這個問題，科學家有兩個解釋。第一，油是黏滯液體，流動較水緩慢得多。我們知道，把水傾入一只玻璃杯內時，水立即迅速而自由地流動，成爲玻璃杯的形狀。但是放入甘油則不然，它的流動很慢，必須經長時間才



能變爲容器的形狀。圖 151. 這些圖說明在海面上傾油，何以能把波浪減小的道理。上圖表示水的流動性很大，容易因風作浪。中圖表示海面上浮着一層油膜可以阻止海面生浪。因爲油有黏滯性而活動較水緩慢，所以風不能使油移動，如使水移動得那樣快。這是油能平服怒濤的第一個理由。第二個理由，當風吹着時，油堆起於前面，而只留一層薄膜於後面，結果前面的表面張力減小，後面的增大，故能使波浪平靜而便於行駛小船。

能變爲容器的形狀。

有些物質的黏滯性很大，看起來宛如固體。例如一塊地瀝青，看起來或摸上去都很像固體；但是它並不真是固體，因爲如果我們給它一個自由流動的機會與充分的時間，它就顯出液體的特徵了。例如用一塊固態地瀝青放在一個漏斗中，到了幾年以後，它就會從漏斗下端流出。這證明地瀝青並不是真正

的固體，因為固體是永遠不會流動的。

油的黏滯性雖不及甘油那樣大，但是它却是黏滯性液體，所以把它傾於迅速活動的水上，較輕的油就遮蔽着水面，因為黏滯性的緣故，它的活動很慢，於是阻止水浪不使急速鼓盪。各種液體的黏滯性大小各不相同，因為它們的分子的大小不同。

科學家對於油能平服怒濤的第二個解釋，是根據表面張力。表面張力就是使液體的表面盡量縮小的傾向。

例如我們滴幾點水於油滑的板上，或滴些水銀於玻璃上，水或水銀就縮小成許多圓球，因為一定量物質的表面，以在球形時為最小。此種表面張力是使物質分子互相團結的內聚力的結果。

有時不同物質之分子間的引力，即附着力，較大於相同物質之分子間的引力，即內聚力。我們試傾水於清潔的玻璃上，就看到水散布於玻璃面上。這證明水與玻璃間的附着力，大於水的表面張力。

現在，我們把油傾於波浪洶湧的海面上時，油就擴張成一層薄膜。這時作用於一部分油膜表面上的風把油吹着前進，使油膜的後部變薄，而在前部堆起，結果在活動部分後面的表面張力增大，而在前面的減小，這樣就發生一種力量，可以阻止水的活動，不使堆起而成為巨大的波浪。

四 物質的彈性

1. 什麼叫做彈性？
2. 舉出三個不是本書所說的例子，說明鋼有彈性。
3. 天下有無完全不具彈性的東西？有無隨便受到多少力，仍舊具有完全彈性的東西？
4. 橡皮條拉得長，鋼條拉不長，為什麼說橡皮的彈性強度不如鋼？

彈 性 的 例

物質的彈性，不都相等；有的極小，甚至難以看出。試取橡皮，竹竿，木條，以及鋼，鋅，銅，鉛，等金屬棒，逐一把它們彎曲，而後釋放，任其回復原形。同時將各物回復原形的快慢與難易，加以比較，則知橡皮與鋼等物質之彈性比較大，而竹，木，鋅，等物質的彈性較小。至於鉛幾無彈性。

取一弓一箭，往野外彈射。張弩待發時，弓彎曲極大(圖152)。將絃釋放，則箭飛出，弓即回復原形。弓所以能回復原形，因為它有很大的彈性。



圖 152. 拉弓射箭，箭去而弓回復原形。



圖 153. 竹竿有彈性，故能左右揮舞。

再取一竹竿，執其一端，將另一端左右揮舞(圖153)。若舞得極速，則竹形就難看得出。但一經停舞，竹即回復其原來的直形。但若把它劇烈地彎折，竹就保持彎曲，不再完全回復原形。這是因為物質的彈性，各有一定大小的限度，一個超過物質它的彈性限度，就再不能回復原狀了。

木頭亦有彈性，惟較竹竿為小。在游泳池看游泳時，請注意那

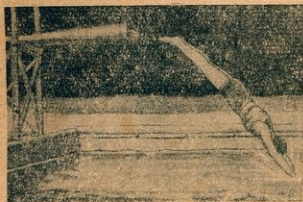


圖 154. 游泳用的跳板也有彈性。

架上的跳板(圖154)。游泳者要入水時，必先立在跳板的一端上下顛動若干次，而後乘跳板上舉的動勢，縱身入水。跳板所以能給他這個動勢的，便因為木板有彈性。游泳者把跳板壓下，但跳板的彈性又使它回復原來的橫

臥的位置。

鋼 的 彈 性

多數金屬都有彈性；鋼要算是最大的一種。鋼的用途所以如此廣大，它具有巨大彈性，是一個主要原因。鐘錶內的發條，所以要用鋼做，完全是利用它的彈性。下次你走過有螺旋彈簧的門時，請把彈簧注意一下(圖155)。你用手開門時，彈簧即行伸張。把門釋放，則彈簧因有彈性即回復原形，於是把門拉閉。

要證明鋼的彈性比橡皮的大得多，又要證明泥土團那

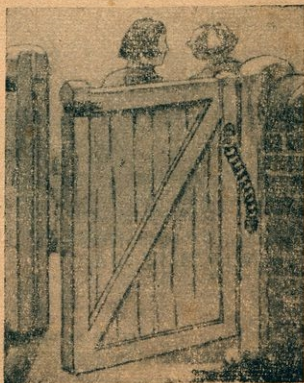


圖 155. 用鋼簧自動關門。

樣的物質，是彈性頗小的，我們可取土球，皮球，與鋼球各一個，從同一高度，任其自由落下。最好落在一塊平滑的石面上，就可看到土球不跳躍，皮球跳到相當高度，鋼球跳得極高（圖 156）。

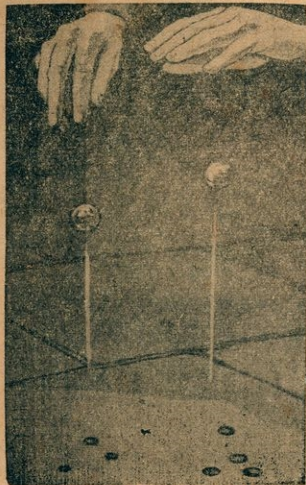


圖 156. 鋼球(右)與玻璃球(左)打着石面時係作臨時的凹陷，從兩球在擦着油的石面上所留的印子可以看出。

現在我們再做一個極有趣的試驗。在一個平滑的石面上塗着油。用兩個等大的球如玻璃球與鋼球把它們輕放到石面上，再仔細把它們拾起觀看，拾時不可使球滾動。則見球與石面相接觸處附有一個極小的油印。而後從同一高度再把它們自由落下，趁反射而跳上時，把它們承住。現在細看各球上的油印與石面上的油印，則見這些斑與印的直徑較以前大（圖 157）。由此可知球從高處落到石上時，必作瞬時的凹陷。再比較石上的兩球印，則見鋼球所留的印較大。這是因為鋼的彈性大於玻璃的緣故。

足球被踢時的情形

比圖 158 是三張瞬時照片（十萬分之一〔秒〕），很不易攝得的，那是正當足球由空中落地，乘其反彈而加以蹴踢時，用活動影片

照相機拍得的。從這幾個照片可以看到用球鞋猛烈踢球時，足球凹陷得很深，在踢出時球已回復。



圖 157. 鋼球跳得高，皮球跳得低，土球不跳。



圖 158. 足球被踢一瞬的情形。

五 物質的三態與奇妙的分子

1. 固體，液體，氣體三者，有什麼區別？
2. 你看到過汽嗎？所謂推動蒸汽機，汽輪機的汽力是那裏來的？
3. 什麼叫做分子？什麼叫做原子？

物 性

造成一切物體的質料叫做物質。世界上物體的種類極多，但物質却比較少。例如鐵器有刀，鋸，斧，鑿，螺釘，鉸鏈及其他不勝列舉的名目，可是這些物體的物質，只有一種，就是鐵。又如坊間陳列的玻璃器，種類繁多，也只由一種物質，玻璃，造成的。

不同種類的物質，形態也不相同。金與銀是光亮的，炭是黑暗的；粉筆是脆的，油灰是軟的，鋼是堅硬的。這些不同的性質叫做物性。物性有兩種，像這裏所說的不涉及物質的成分變化的，都屬於物理性質。還有一種叫化學性質，要在化學中討論。

物 質 的 三 態

世界上各種物質的形狀與性質，雖大不相同，但是我們只須向四周一看，就知道一切的物質都不外乎三態之一：像鐵或岩石那樣，是固態的；像牛乳或水銀那樣，是液態的；或者像汽水瓶內所放出的二氧化碳那樣，是氣態的。我們住在固態的土地上，船隻行在在液態的水面上，飛機飛揚於氣態的空氣中。

在正常的情形之下，一切物質只屬於這三態之一。例如廚房裏的鍋子總是固態的，溫度計裏的水銀總是液態的，我們四周的空氣總是氣態的。但是如果將情況加以相當的改變，那末任何物質都可成為氣態，液態，或固態而存在。水就是一個常見的例子。在正常情形下，水成液態；但受到太陽的熱，水就蒸發成不可見的氣體，叫做水蒸氣，簡稱做汽。空氣裏通常都含有若干量的這種氣態的水。到了冬天，又常凍結成固態的冰。



圖 159.

一切物質都可成固態，液態或氣態而存在。這三態的例子，以水最常見。冰，雪，雹是固態的水；江河及雲霧裏的水是液態的；液態的水在沸騰時就變做不可見的氣態水——汽。許多人常將沸水壺中噴出的霧狀物誤認為汽，其實這霧是汽遇冷而凝結成的小水珠，真正的汽是近壺嘴處的不可見的部分。



圖 150.



圖 161.

汽，水，冰

我們要使液態的水變做汽，只須加熱即得。例如我們平常將水壺置火上烹煮，最初水中發生氣泡，而後水就開始變做汽了。

但是我們不要誤會，把這時壺嘴中所噴出的可見霧狀物當做汽！這並不是汽，卻與空中的雲，地上的霧一樣，是一羣細微的液態水滴。真正的汽，是看不見的。你試在壺中沸騰時仔細觀察一下，就可看到壺嘴與可見霧之間，隔着一些空隙，這裏完全看不到什麼，這才是汽，也就是用來推動汽機的汽筒內的活塞，轉動汽鍋輪的轉子(rotor)，及使機車(火車頭)拉動笨重列車的力的來源。由此可知從機車煙囪中所噴出的白霧，也不是汽，而是用過的汽又復凝結成的液態水滴。

以上說加熱即可把液態的水變成氣態的汽。反之，減熱就可使液態的水變成固態的冰。大家都知道，嚴寒的冬天，河水就凍結了，屋簷上會掛着一根根的冰柱，從天空落下的不是液態的雨點，卻是固態的雪花。通常海洋裏都是液體的水，但是如果你航海到南北極的附近，就會看到那些地方的海洋亦都凍結成冰，常有大塊的冰山從這固態海洋裂出，向各處飄浮。

一切物質都有三態

水的三態，是大家習知的，沒有什麼稀奇。科學家告訴我們，世界上一切物質都可以變成固體，液體或氣體。例如我們呼吸的空氣是氣體——幾種氣體的混合物——但是如果把它的溫度降到極低，就會凝結成液體。如果降到更低，也會變做冰一般的固體。氫氣也可變做液體或固體。在正常情形下，一切金屬中只有汞(即水銀)是液體，但是加以劇冷或強熱，亦可凝結成固體

或蒸發成氣體。在鋼鐵廠內，鋼或鐵常置於鼓風爐或轉爐中熔化成液體。錒錫是鉛與錫的合金，在平常溫度為固體，但錒接金屬時，將它加熱就變做液體。這種液態合金，讀者大概在銅匠的坩鍋中曾看到過的。太陽表面的溫度，約為 6000°C ，合 11000°F 左右；太陽中心附近的溫度，約有攝氏4000萬度，或華氏7200萬度左右。因為有這樣高的溫度，所以太陽上的一切物質都是氣態的。

一種物質改變了它的形態時，它的物理性質可以變得很多，但是化學性質却仍舊不變，例如水是氫與氧的化合物，無論固態，液態或氣態的水，其中氫與氧的重量總是成1:8的。

分 子

任何物質都可分割。廚司把固態的肉切了再切，直到分做極細的顆粒為止；主人把酒壺裏液體的酒，分注於客人的杯中；煤氣貯藏櫃裏的煤氣，用管子通出，分注每盞燈每座灶，以供應用。

我們試取一粒糖，分做兩粒，而後把兩粒分做八粒，再分做十六粒，三十二粒等等。每分一次，取一粒加以檢查，如果這粒仍具有糖的性質，尚須再分。假設分到某種程度而取一粒再分時就失去糖的本性，那末這種最小粒，就稱做糖的分子。當然這是一件想像的事。

一切物質都與糖一樣由它們的分子構成的。物質的分子極微細，就是用倍數最高的顯微鏡都不能看到。斯吉令(William T. Skilling)說：“如果一小滴水均勻分散於全地球的表面，則每方吋的表面上約得一千六百個水分子。一小滴水中所含的分子數，就是請全世界上的十七萬萬人來數，數一生一世都數不完”。我們可以另用一個比喻來說，如果水分子能增加到足球一樣大，

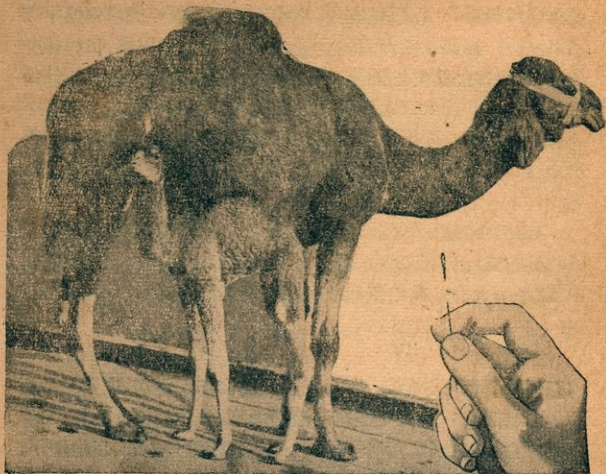


圖 162. 物質的原子內幾乎完全是空隙。如果把造成一只駱駝的所有原子的核心與電子都壓緊到完全沒有空隙，那末這只駱駝的身體將成爲一個小點，可以很寬舒地從一根針的孔中穿過。

那末一小滴水就可增大到地球一般。據計算一立方吋水內所含的分子數，在 6×10^{20} （即6以下加二十個圈）個以上。

原 子

分子雖然這樣微細，但是分子本身卻又由更微細的質點，叫做原子，所造成。例如一個水分子，由一個氧原子與兩個氫原子造成。但是如果將水分子分裂成原子，那末就不再是水了。世界上斷不會有所謂一原子水的，因爲一個水分子被分解後，就成

爲兩原子氫與一原子氧，而氫與氧的性質，都與水的性質截然不同。

“原子”的意思就是說“不能分割的東西”。從前科學家所以把這種小於分子的質點稱做原子，是因爲他理想原子是構成一切物質的終極質點，而世界上不會再有什麼比原子更小的質點了。所現在科學家知道原子本身却還由更小的質點，（叫做質子，與電子，中子）而造成。每個原子都含有一個或不止一個電子，繞着一個中央核心而運行，好像太陽系的行星繞着太陽運行一般。這個核心是由質子及中子造成的。

原子的大部分是空隙，據說，如果能將造成你的身體的所有原子中一切空隙都除去，而把質子，電子，中子壓在一起，那末一個人體就會成爲一個看不見的微點了。如果把造成一大隊軍艦的原子也這樣除去空隙，那末這全部艦隊就可容納於一隻縫紉用的頂針筒裏。

六 原子內幕

1. 一個原子裏繞核運行的電子數，與這元素的原子序數有什麼關係？
2. 電子從一個大軌道跳入一個較小軌道時，要發生什麼現象？
3. 氫核的構造怎樣？
4. 原子核中蘊藏着偉大的能量，人類怎樣運用它？

原子組成的家族

世界上一切物質都由極微細的質點，所謂‘分子’造成的，分子

又由更微細的質點，原子，造成的。不同元素的原子互相結合而成化合物，就像個人與個人互相結合而成社會一般。

這些個人——原子——雖沒有性別，但是它們却配合成雙，或成較大的團體，與我們組織家庭一樣。原子所構成的家庭就是分子。不同的元素，就像不同種族的人類，其間有很深的成見，有些贊成配合或團結，有些却非常反對。

有時，兩種元素的原子雖然不肯結合，但是它們却可與其他許多不同的原子結合成一個較大的分子。這些個人——原子——除去在氣態中的幾種金屬與空氣裏的氫，氮等氣體外，差不多都互相結合而成家庭——分子，沒有曠夫，也沒有怨女。

我們有時說，家庭是社會的單位，所以分子亦可說是物質的單位。原子常從一個家庭——分子——走到另一個家庭內，有時單身走，有時結團走，有時走得極急促，有時走得很緩慢。原子這樣地從一個分子走入另一個分子就是我們所謂化學反應。

電 子 的 結 構

大約在六十年以前，一般科學家都把原子當做組成一切物質的終極質點，是不可再分的最小質點了。但是我們現在知道，原子本身還由更渺小的質點，質子，電子，中子，所造成。每個原子都有一個核，還有一或不止一個電子依一定的軌道繞着那個核迅速運行着。電子荷着陰電，造成原子核的質子卻荷着陽電。

世界上已知的化合物，如水，鹽，糖，氨等等，約有百萬種，這些物質都是由九十二種不同元素的各種結合所造成的。元素不同，當然它們的原子亦不同。但各種原子的不同，並不是因為造它們的質點(電子，質子，中子)的種類不同，而却是因為組成各種

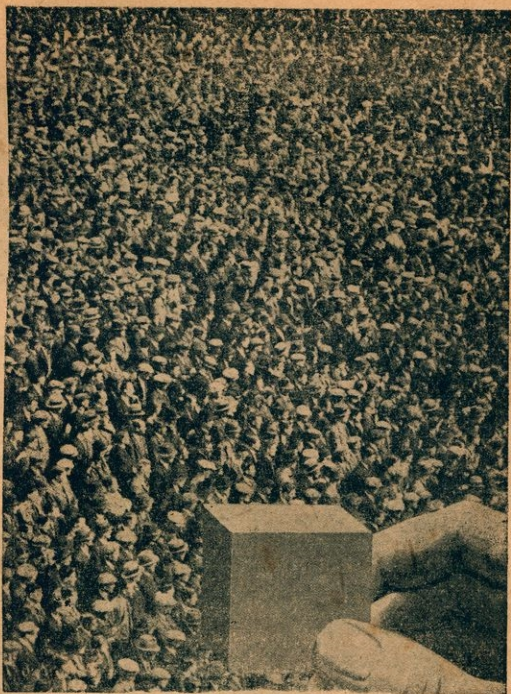


圖 163. 1[立方呎]空氣含幾個分子?

這個照片裏大約有三千人。照片右下角手中所拿着的匣子，其容積只有1[立方呎]，裏面盛滿着空氣。如果請這許多人共同來數這匣子裏的空氣分子，每人每[秒]鐘數1個，日夜不息，必需好幾百萬[年]才可數完。可見分子怎樣的渺小了。1[立方呎]水中所含的分子，數總目在600[核]（照中國物理學會定名，即6以下加20個圈）個上！液體（如水）的分子比氣體（如空氣）的分子團結較緊，所以一定體積的液體內，所含的分子數比相同體積的氣體內所含的分子數更多。造成分子的原子，比分子更渺小；氫氣分子含有兩個氫原子。科學家告訴我們，1[立方呎]氫氣內，有1,000核（16以下加19個圈）個原子。原子又由更渺小的質點——原子核與電子——造成，一個原子核的直徑大約有一京（1,000,000,000,000）分之一[呎]。

原子的核的質點個數不同，以及繞核運行的電子數目的多寡不同。例如一個氫原子的核，是一個荷陽電的質子，繞核運行的，只有一個電子(圖165)，氦原子中繞核運行的有兩個電子，鋰原子的核外有三個電子，碳原子的核外有六個電子。但是在週期表表中氫為第一號元素，氦為第二號元素，鋰為第三號元素，碳為第六號元素。由此可知一個原子核外繞行的電子數，與原子序數相同。例如最重的天然存在的原子為鈾，它的原子序數是92，所以有92個電子繞行於其核外。那核是由許多荷陽電的質子與不荷電的中子所造成的。電子運行的軌道，大小不等，離核愈遠，則同軌道的電子愈多。

關於原子的探索，是沒有終結的。近一兩年內科學家所發見的原子與原子核的構造，甚至比他們從前所理想的還要來得複



圖 164. 液體何如有流動性?

液體分子間相隔的距離，遠大於固體分子間的距離，而小於氣體分子間的距離，所以液體的流動性小於氣體，而固體完全沒有流動性。流體的流動性可用一盤砂來做比喻，每粒砂可比做一個液體分子。因為砂粒間的距離很大，故能自由滑動，因此投入鋼彈則沈，投入木塞則浮，如在水中一般。

雜。據近來的發見，知道電子也有荷正電的，這種電子，科學家把它稱做陽電子。後來又發見有些原子核中，有完全不帶電的質點。這些質點，就叫做中子。一個中子好比一個質子與一個電子的結合體，前者的陽電荷與後者的陰電荷恰相中和。

在這個發見之後，科學家又發見一種氫原子，與平常的氫原子不同。平常的氫原子的核是一個質子，核外繞有一個電子，但是這種特別的氫原子有一個較重的核。這個核相信是由一個中子與一個質子造成的，那個質子的陽電與繞核運行的一個荷陰電的電子相中和。

對於此種原子的氫，通常把它稱做重氫 (heavy hydrogen)。重氫的原子核，所謂氘核 (deuteron)，它的重量約為平常氫原子核的兩倍。

電子的軌道，好像行星的軌道，是橢圓形，不是正圓形。電子在軌道上繞核運行的速度極大，每〔秒〕鐘至少有數百〔哩〕，繞核的次數每〔秒〕鐘有幾千萬萬萬次。因為電子的速度極大，所以離心力亦大，因此電子不會被荷着不同電的核所吸去。同時因為核有巨大引力，所以電子不得離軌而他往。這種情形，正與太陽與行星的情形完全相仿，所以人們常把原子看作一個離型的太陽系。

原子受到極高的熱，如太陽中的熱，就可分解。這因為電子受高熱而得到較大動能，而能夠克服核對於電子的引力，所以有些電子就被分出。但是有些原子的核，對於最內層電子的引力極大，在人類所得造成的溫度下，都不能把這些電子分出。

天文學家吉恩士爵士 (Sir James Jeans) 告訴我們，從原子內所分出的電子，其飛行速度每〔秒〕鐘平均約有 30000〔哩〕，是鎗彈速度的十萬倍，由此可以推想到原子中所蓄的能的巨大了。

爲裂碎原子起見，現在科學家已設計成不少的原子破壞機了。

密立根教授(Milliken)說過，星體間空隙中的原子，常在被宇宙線或光子所的質點所撞碰而分裂。光子就是一種擊破原子的“能”彈(“bullets” of energy)。



圖 165 尋常氫原子的內容

這是兩幅理想的圖，表示一個尋常氫原子的內部情形。氫原子內有一個荷着正電的電子，繞着一個核而運行。這個核就是一個質子，荷着正電(左圖)。右圖表示電子忽然從一個大軌道跳入一個較小軌道，跳時放出若干量的“能”，這“能”即變成光。電子能從大軌道跳入小軌道，但是如果沒有外力的幫助，不能從小軌道跳入大軌道。

1933年英國劍橋大學有兩位少年科學家，科克洛夫特博士(Dr. J. D. Cockcroft)與瓦爾頓博士(Dr. E.T.S. Walton)，用一種龐大而複雜的器具，稱做電鎗(electrical gun)，把鋰原子的裂碎試出成功。

這個電鎗是一種有六十萬〔伏特〕電壓的電器。這兩位科學家利用它來射擊強有力的電彈(electric bullets)——電荷——穿過一個真空室，室內為鋰原子。當然，射擊的目標，不能對着任何單個的原子，其所用的方法，據說就像用幾百萬個鎗來鎗幾百萬個原子，只希望偶然鎗中幾個而已。所以他們在一千萬發中只能擊中一次。以後，加里福尼亞大學的勞楞斯(E. O. Lawrence)所設計的巨大的螺旋加速機(cyclotron)便可發出能量非常高的拋射質點，於是世界上任何原子的質點，都可以為定擊破，以研究其內幕情形。

原子的全部科學是很神秘的，我們如果追究造成物質的終極質點到底是什麼，就知道物質都是由電造成，換句話說，

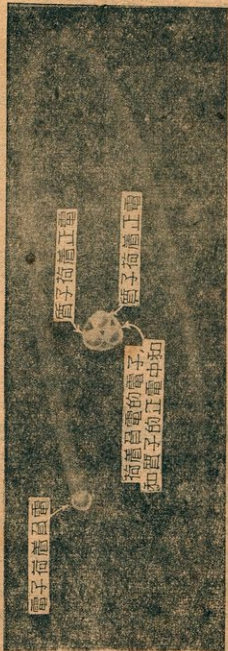


圖 166. 氦原子的內容

此圖表示一個氦原子的內部。尋常氦原子的核只是一個質子，氦核是由一個質子與另一個質子與電子的結合體(中子)造成的，此種氦原子存在於重水中。

就是一切物質實由“能”(energy)所造成。

在最近的十年間，原子物理學家得到空前的進步，不但明瞭原子的結構，並且可以利用原子中所存在的能了，由物質轉變成的能。原子能時代已由原子炸彈的造成而揭幕，關於這方面的詳細情形，我們留到“近代物理學圖說”一書中去講。

電 子 的 軌 道

一個電子繞原子核運行時，並不始終依着同一軌道。據1922年

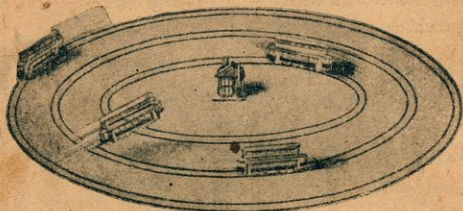


圖 167. 電子與電車

原子內的電子從較大軌道跳入較小軌道，非常迅速，德衛斯把它比做一輛電車迅速地從一個圓軌道跳入一個靠近中心的較小軌道。

獲得諾貝爾物理學獎金的著名丹麥物理學家波爾(Niels Bohr)教授說，最小可能的軌道，其半徑為一萬二千五百萬(125,000,000)分之1[吋]，這是電子的最普通的軌道。但是如果電子不在這個軌道內運行，它就立即跳到一個半徑有4倍大的軌道內，而斷不會依這兩軌之間的某軌道而運行的。然後電子如果要離開這個較大的軌道而跳到一個更大的軌道內去，這個更大軌道的半徑，必為最初軌道半徑的9倍。如此繼續下去，可得一結論，就是最小軌道外的可能軌道，其半徑為最小軌道的4倍，9倍，16倍，25倍

等等，換一句話說，就是電子的軌道，離核各有一定的距離，其半徑依整數平方 $1^2, 2^2, 3^2, 4^2$ 等之比例。

德衛斯氏(John Langdon Davies)把此種電子比做在軌上循環行駛的電車。^{*}他說電子並不像可以依任何路徑行駛的汽車，而卻須依軌道行駛如電車一般。但是有一件事，電車卻不能做到的，就是電子能從一條軌道跳到另一軌道內而運行。

一個原子的電子在其最小軌道內運行時，原子的能最小，如果沒有外力的幫助，電子不能從較小的軌道跳到較大的軌道。但是如果有一個荷着陽電的原子從它經過，就可把它引出它的軌道，或者一個電子從它經過，就可將它推拒。

但是電子可以不需任何外力而從較大的軌道跳回到一個較小的軌道內，因為它在較大的軌道內運行時，沒有在較小軌道內安定。電子從較大軌道跳入較小軌道時，它就放出一部分的能，這個“能”就轉變做光。電子跳軌的行動是非常迅速的。

第五章 水

一 比重的意義與求法

1. 在水中提重物，為什麼比在空氣中容易？
2. 入浴時我們的身體在浴盆中覺得要輕一點，輕多少？
3. 魚何以能在水中停止，不浮亦不沈？它要上升時，何以要鼓起鰾(魚泡)？下降時何以要減少鰾中的氣？
4. 鋁鍋何以比鐵鍋輕？
5. 在水中游泳，何以要使肺蓄滿空氣？
6. 浮在水上的木，何以能載重？
7. 在海水中游泳，何以較在淡水中容易浮起？
8. 不規則的固體物的體積，如何求法？

浮 沈 的 現 象

木何以能浮在水面上？鐵何以必沈到水面下？油何以不能與水混合而浮在水面？拿一小杯水銀，何以會覺得沈重？要了解這些問題，必須明瞭物質的比重(specific gravity)是什麼。

對於物質的輕重觀念，自然是最初的人類早已具備的，但科學地說明比重的原理的，要算阿基米得(Archimedes)氏。所以在談比重之先，須知阿氏發見比重原理的經過。

阿 基 米 得 原 理

科學上一切偉大的發見或發明，往往是從一些極平凡的日常生活中得來，牛頓見蘋果成熟墜地而發見萬有引力，瓦特見蒸汽衝擊壺蓋而改良蒸汽引擎，諸如此類，幾於數不勝數。大概常人熟視無睹的現象，一經科學家的思考，試驗，都可以成爲極偉大的發見與發明。這固然是這些哲人的天才表現，然而主要的還是因爲他們早有研究這些問題的熱誠與毅力，不然，這些現象在他們的眼前，還不是與常人一樣，隨便就忽略過去嗎？

在一切科學上的偉大發見之中，阿基米得氏從極平常的現象發見比重原理，可以說是頗爲有趣的。阿氏生於公元前287年，死於公元前212年，是希臘的一個有名的哲學家。有一次，敘拉古斯(Syracuse)的皇帝亥厄羅(Hiero)曾拿若干量的金子，還給一個匠人做一隻金冠。匠人做成以後，果然，式樣很好，而且重



圖 108. 許多魚類是與水有同一比重的，所以它能在水中停住，既不上浮，亦不下沉。古時不知此理，以爲魚是無重量的。英皇查理第二 (Charles II) 曾命皇家學會的會員們研究此問題，他們作了許多很長而且似是而非的論文，直到後來把一碗水來稱，再加入一條魚到碗中去，發覺重量增加，這問題才算解決。

量未減，但亥厄羅很懷疑匠人偷去了若干金質，而摻入如銀之類次等的金屬進去，遂命阿氏研究此問題，但規定須絲毫不損壞金冠，而能說出金冠內有無摻入銀質，及摻入多少。這樣的題目，在以前還沒有人解決過，在當時的人們看來，當然是不可能的。但阿氏仍不短他的志氣，用盡一切心思與實驗來研究這個問題，甚至寢食不忘。

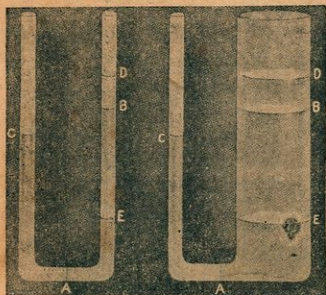


圖 169. 把兩種密度不同的液體，放到 U 形曲管中去，讓它們各在一管中，并能以 A 為界平衡起來，則兩液體的面必不在同一水平面上。若用的是比水的密度小的油來平衡水，那麼水的體積若占空間 AC，油的體積必占空間 AB。若改油為比油更輕的酒精，它必占更多的空間，即 AD。若用水銀來平衡水，那麼因為它的密度比水大，它所占空間只有 AE 了，這個 U 形管的一管若改為比他一管大若干倍的，管內液柱的高度，仍與上面所說一樣，並無分別。

學者對於真理的獲得，是如何愉快的事。

阿氏所“找得”的是什麼呢？他所“找得”的道理可分為兩項：一是把物體浸在任何一種液體中時，那液體被排開的體積，等於

有一天，適逢他到浴室沐浴，浴盆原來注水甚滿，水面高達盆口。亞氏坐入時，水即向外溢出，直至他的全身都沒入水中，水才停止外溢，同時他自覺有身輕之感。及他走出盆外時，盆中的水面，已不再與盆口相平，而陷下若干了。亞氏由這個事實，忽然悟到他的問題可以解決，當時驚喜若狂，不再沐浴，連衣服亦未曾穿好，奔向皇宮，向亥厄羅報告，沿途大呼“攸勒加！攸勒加(Eureka)!”。意思是“我已找得了！我已找得了！”可見

物體所浸入的體積；二是物體所受到那液體的浮力（即物體在液體中所失去的重量）必等於所排去液體的重量。至於物體在那液體中是浮起或沈下，要以它的重量是否小於這個浮力，或大於這個浮力來決定。這個原理，現今叫做阿基米得原理（Archimedes principle），雖然只是平淡無奇的幾句話，但闡明了宇宙間一個很重要的秘密，若沒有它，不惟許多東西的比重無法求出，而且近代的許多水上，空中的交通工具，都無從造出了。

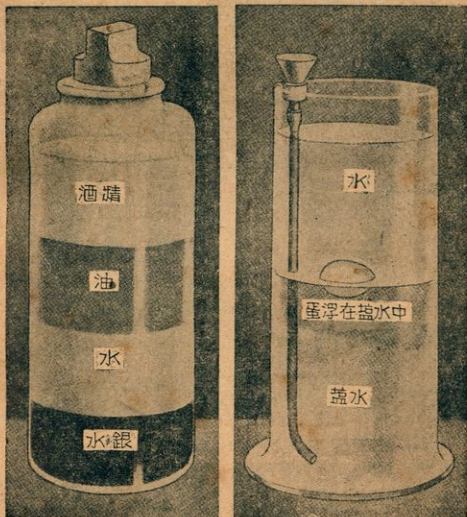


圖 170. 若把比重不同的若干液體，同放到一個瓶中去，它們將依照自己的密度，上下存着，如左圖。右圖中係表明蛋如何浮在兩種液體中的情形。

但阿氏如何由上面這個原理獲得解決金冠秘密的方法呢？阿氏想到物質因為組織的疏密程度不同，所以同體積的兩個不同物質，其重量必不相等，組織密的必重，組織疏的必輕；譬如，同樣大小的一塊鐵與一塊木，必是鐵重於木。反過來說，重量相

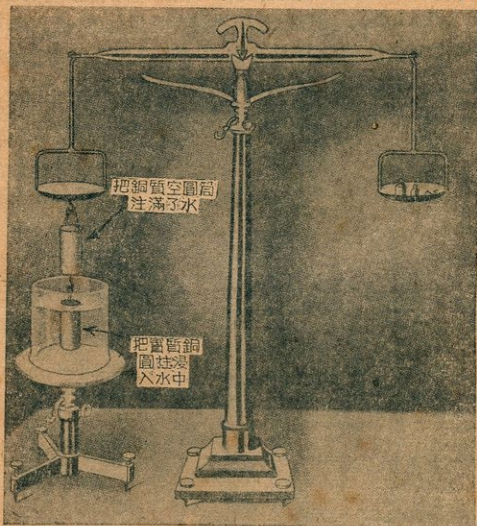


圖 171. 這是一架用於流體靜力學試驗的天平，用來證明阿基米得原理的。左邊的盤下掛着一個金屬圓筒，筒下再掛一個實心金屬圓柱，兩者的大小，是做成恰好可以把圓柱放到圓筒中去，非常密切。先把它們在空氣中稱，用砝碼在另一盤中平衡，而後把圓柱浸沒到水中，使天平上表出不平衡，這說明圓柱在水中失去重量。若在空筒中注滿以水，則天平又回到平衡的狀態，可見物體在水中所失的重等於同體積的水重。

等的兩種不同物質，體積必不相等，組織密的體積小，組織疏的體積大；譬如，重量相等的一塊鐵與一塊木，必是木的體積大於鐵的體積。他就應用這個概念到金銀上去，想到金比銀的組織密，所以等重的金塊與銀塊，其體積必是銀塊大，那麼金冠內若沒有摻入銀質，則體積必與它等重的金塊相等，若摻有銀質，則體積必比等重的純金塊大，比等重的純銀塊小。現在若金冠是摻銀的，則放入水中時，照他在沐浴時所悟到的原理，金冠所排去水的體積，當然要比純金塊放入時所排去的多，比純銀塊所排去的少。根據這個理由，阿氏用重量與金冠相等的一塊純金與一塊純銀，來與金冠輪流放入一個水槽中，精密地測定每次所排去水的體積來，結果果然金冠比純金塊排水多，比純銀塊排水少。於是他斷定金冠內必摻有銀質，再利用計算的幫助，他更把摻入的銀量確切計算出來。亞氏不息不怠的精神，終於從極平凡的事實，獲得了偉大成功，可見宇宙間的一切現象，都是我們知識的源泉，只要我們能努力研討，終有成功希望。

比 重 的 意 義

明白了阿基米得原理之後，我們可以來談比重了。若把某一體積的某物質所具的重量，來與同體積的另一指定作為標準的物質所具的重量相比，所得的比值，即叫做某物質的比重。這個作為標準的物質，本是隨便指定都可以，科學上為了便利與統一起見，都規定在攝氏4度（簡寫為 4°C ）時的純水，作為求物體比重的標準物。所以我們說某物質的比重是多少時，即是說，用那物某體積的重去與 4°C 的同體積水重相比，所得的比值。比重的數值既只是代表比水大若干倍的，所以是一個不名數，可以適用於一切度量衡制，譬如銅總是比水重8.9倍，金總是19.3倍，銀



圖 172. 美國大發明家愛迪生氏 (Edison) 有一次要想知道一個電燈泡容量，授此問題於他的一個助手工程師。過了三天，還沒有結果，愛迪生去問他時，他說他的計算還未完畢。愛氏從這位工程師的手中拿過燈泡來，把水注滿，再傾入一個刻有容量數的器皿，立即知道那燈泡的容量是多少。

總是10.5倍。下面略舉若干種常見物質的比重(以水為標準，即其比重為1)：

海水	1.03	金	19.3	鑄鐵	7.2
冰	0.911	水銀	13.6	鋅	7.1
火油	0.8	鉛	11.4	鋁	2.65
汽油	0.7	銀	10.5	軟木	0.25
鉑	21.5	銅	7.9	空氣	約0.0012

氣體的比重，不以水為標準，而以空氣為標準。即把空氣的比重作為1，拿同體積其他氣體的重量來與空氣相比。常見的幾種氣體的比重如下：

氫	0.59	氮	0.97
二氧化碳	1.5	氧	1.1

一氧化碳	0.96	甲烷	0.56
氫	0.096	乙烷	0.97
	汽(212°F時)		0.488

阿氏原理的應用

從上面的比重表，可知海水的比重比淡水大。照阿基米得原理，我們在游泳時，身體必失去重量，其值等於身體所排去的水重。因為海水的比重大於淡水的比重，那麼在海水中所排去的水量，自然是要比在淡水中所排去的要重一點，這即是我們的身體在海水中易於浮起的道理。假定我們可到水銀池中去游泳，就可不沈下去，而要浮在上面了。我們在水中游泳時，常常使肺部蓄滿空氣，目的為了增加我們的體積，體積增加即等於減少比重，使身體易浮。游泳者的本領就在能否使肺部空氣的含量多而能持久，精疲力竭的人所以在水中有下沉的傾向，因為他不能保持肺中充滿空氣的必需程度。魚的升降，完全靠它的鰾內空氣的增減。近代的潛水艇，是利用水櫃內儲水的排出與吸入來升降，也是利用阿氏原理的。

密 度

上面我們曾說求比重的標準物質是在 4°C 時的水，為什麼要這樣規定呢？因為水在 4°C 時密度最大。那麼密度是什麼呢？即是說物質內部組織的疏密程度。這裏我們且來談談密度的表示法。

任何物質的輕重與它的內部組織情形，是直接相關的，組織密的重，組織疏的輕，因此物質的組織疏密與否，即決定比重的太小。所以一物質的密度，無妨用每一單位體積所含該物質的質

量來表示。譬如水的密度是1〔克/立方厘米〕，銅的密度是8.9〔克/立方厘米〕。表示密度所用的單位體積，與質量的單位，都是可以隨意選定的(例如用〔立方米〕，〔立方呎〕……等來表體積單位，用〔克〕，〔磅〕等來表質量單位，都是可以的)，不過科學上為了便利統一計，規定的單位體積是〔立方厘米〕，質量是〔克〕，所以當我們說某一物質的密度是多少時，意思即是說該物質每〔立方厘米〕有多少〔克〕的質量。密度的值須用單位來表出，不像比重只是一個比值。它是名數，其值隨所取單位而異，譬如水的密度，照英國權度制就是62.4〔磅/立方呎〕了，銅的密度是555〔磅/立方呎〕磅。

求固體密度的方法，是以那物質的體積除質量。不過不規則體積的求法，頗不容易，通常是應用阿基米得原理所造的一個錫罐，罐口旁有管，可讓水流出；當罐中裝滿了水以後，把物體放到罐中，水必溢出。若令溢出的水流入一種量器內，精確地去測定溢出水的體積，即可得到該物體的體積了。這個罐特名為“攸勒加”罐。

比重的求法

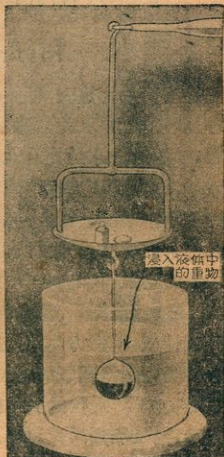


圖 173. 此圖表明一種求液體比重的方法。一個玻璃球內，以水銀注入，使有重量，掛到天平的一盤下，用砝碼在另一盤中使平衡起來。若將玻璃球浸入欲求比重的液體中，因浮力的關係，玻璃球必失去若干重量而使天平不平衡起來。慢慢在掛球的一盤中加入砝碼，使天平再回復平衡。從加入砝碼的重量，可以知道所排去的液體是若干重。再把液體改爲水，作同樣的實驗，又可以知道所排去的水是若干重。以這兩種數值相比，即得那液體的比重。

至於求各種物質的比重方法，現在舉幾個簡單而重要的在下面，所根據者，大致離不了阿基米得原理。

(a) 求重於水的固體物的比重法。



圖 174. 這是一種用來求出粉末或者細粒如彈丸之類的比重的比重瓶。其構造是一個大口玻璃瓶，瓶口有一個玻璃塞，塞中有一小孔。裝滿了水以後，瓶塞插入時，水必從塞中小孔出來，把瓶中空氣排出。假定瓶內容量是可裝1000[克]的水，在裝滿了水以後，再裝入彈丸500[克]，若兩者能同時存在瓶中，總重量自然是1500[克]。現在因為彈丸加入，排去同容量的水，其總重量比1500[克]減少。從失去的水的重量與彈丸的重量，就可以求得彈丸的比重了。

把比重尚未知道的物體懸在天平的一盤下，先在空氣中稱其重量，再把它浸到水中(不可靠在器邊，必須四面都有水)，稱其重量，後一重量必比前一重量少。因為物體浸在水中稱時，被水的浮力所舉，必減少重量。這個失重，照阿氏原理說，應等於所排去同體積的水重。那麼從比重的定義說來，拿那物體在水中所失的重量(即其同體積之水重)，去除物體在空氣中所稱得的重量(即那物體的重量)，所得的比值，不就是該物體的比重了嗎？

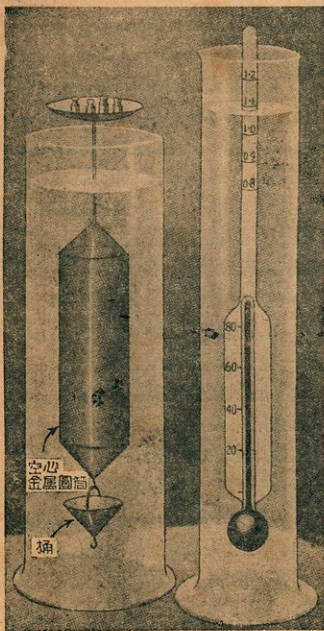
(b) 求輕於水的固體物的比重法：

取一塊輕於水的固體物，譬如一塊軟木，在空氣之中稱其重量，再取一鉛片，在空氣中及水中各稱其重量。其次，把鉛片附在軟木上，一同浸入水中去稱。從兩物在空氣中的重量減去兩物同在水中的重量，即得兩物在水中所失的重量，再從此結果減去鉛片在水中的失重，剩下來的自然是軟木單獨在水中所失的重量了。依照前面的方法，軟木的比重即可以求得。

(c) 求液體的比重法。

求液體的比重，可藉助於比重瓶。比重瓶是一個薄玻璃瓶，瓶口有一個穿有很精細小孔的瓶塞蓋着。這個瓶內若裝滿了液體以後應有若干體積，是預先已知道的。現在把空瓶連塞放到天平的盤中，用砝碼把它平衡起來，其次裝滿了所須求比重的液體，

再放在天平的盤中，加砝碼使它再平衡。這所加砝碼的重量，即是瓶中液體的重量，用瓶的體積去除這個重量，所得商數即是那液體的比重。



另一種更簡捷的方法，

圖 175. 這兩種是液體比重計。左邊一種是一個中空而上下兩端呈圓錐形的圓筒，筒的下端掛有一個桶。筒的上端有一直立的棒，棒的突出水面一端有一盤，可放砝碼。這個器械的製造法，是要在盤上放預定的某重量，恰好能夠把圓筒與桶浸入水中，達到一定的深度（棒上刻好）。那麼把這個儀器放到別的液體中去，因為密度不同，器械浮沈的深度不一。由加減盤中砝碼，可知道要若干重才會使這儀器仍舊浮到如在水中時的同一深度，即可求出那液體的比重了。

右邊一種比重計，也是通常所用的。它的原理是由它浸入液體中的體積來求比重。液體比重愈小，浸入部分愈大。上部梗上刻有度數，即指比重。下端玻璃球內有小鉛彈，使儀器能直立浮定。

是用一種名叫比重計(hydrometer)的儀器來量。比重計直地浮在液體中，有刻度的梗伸出液面之外。液體比重愈小，計器沉得愈深。齊液面處所示的度數直接指示該液體的比重。液體比重計中，特別用於測定酒精比重的叫酒精計，測牛乳比重的叫牛乳計。

(d) 其他求比重法。

求容易吸收水分的固體物的比重，須預先用油漆塗在外面，使不易透水，然後再放入水中去稱。容易溶解在水中的固體物，可先把它放入熔化的蠟中，使它的外表包一層蠟，而後再放入水中去稱，或放在已知比重而不溶解那物體的液體(如松節油之類)中去稱亦可。

氣體的比重求法，是在一定容量的瓶中裝入氣體，在一定溫度之下稱其重量。

二 液體所生的壓力

1. 液體的壓力，與深度及密度有何種關係？
2. 人立水中，頭露在水面上，呼吸就感覺到困難，何故？
3. 自來水噴泉的水箱總放置高處，何故？

我們先來做一個極有趣的實驗，可以證明液體壓力的定律。取一隻強固的木桶，注滿了水，桶頂上捻入一根長而細的管，與桶內相通。我們只須灌入幾磅水到管內，即能使桶破裂(圖176)。

理由是這樣的，若管的橫截面為 $1/25$ [方呎]，裝滿此管須 5 [磅]水，則此 5 [磅]水對於桶的內壁每 $1/25$ [方呎]面積所生的壓力，也必為 5 [磅]。但 1 [方呎]面積所受的壓力就達 18000 [磅]了。

這樣大的壓力，已不是普通的桶所可支持，所以它要破裂了。

器底壓力之怪現象

液體內任何處的質點均須支持



圖 176. 一瓶水能裂開一只堅固的木桶。

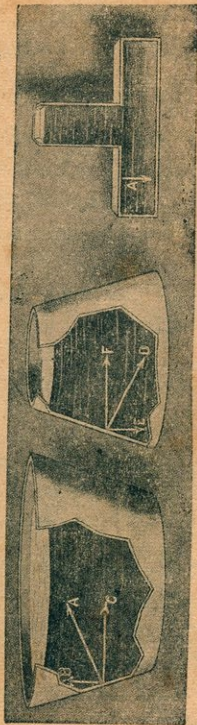


圖 177. 這些容器的形狀雖各不同，但它們的高與底面積卻相等的。把它們裝滿了水後，雖然各器容水之量，多寡不同，但底面所受的壓力，卻完全相同。

在它上面的液體之重；此質點所受的壓力，既由於鉛直向下的重量，故只與上面液體的鉛直深度成正比，而與周圍的液體之量與容器的形狀大小無關。爲了使這個事實更易了解起見，我們可以研究一下圖177所示的一組容器。

這些容器的形狀雖然不同，但它們的高度與底的面積，都是相等。依普通人的思想，器底上所受的水壓力，當然視器內所容的水量而不同，但事實上只要這些器內的液體面的高度是相等的，則每一器底上所受的壓力，完全相同。

爲什麼有這種似乎矛盾的事實，乃是我們所必須了解的。我們首先要記着、任何容器的壁，對於所容的液體，都發生壓力，那壓力的方向，是垂直於壁面的。

在圖177的第一種容器裏，器壁對於液體所生的壓力A，可分

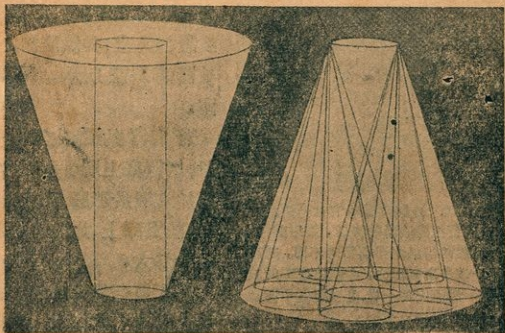


圖 178. 在左圖的容器裏，若裝滿水，它的底上所受的壓力，等於一個以容器的底爲底，而與容器一樣高的水柱之重。容器內其餘的水，都被容器的斜壁所承托。但在右圖所示的容器裏，因液體以相等的壓力作用於一切方向，故底上每一部分所受的壓力相同。

爲二個分力B與C。分力B的作用向上，在支持斜壁上方的水。

在第二種容器裏，器壁向內傾斜，它加於液體的壓力D，可分爲二個分力E與F。E力向下作用，經過水而傳到器底。它使其底面上所受的總壓力，與有鉛直壁時所受的相等。

第三種容器底上所受的壓力，與前述兩種容器底上所受的完全相等，這是因爲這器的水平的頂部供給向下壓力A的緣故。自然，照力與反力相等而相反的定律，這裏的水也以相等的壓力向上作用於容器之頂，不過這個反力的壓力，仍是由水以等於A的力下壓於器底而生的。

總括地說，圓筒形容器底上所受的壓力，適等於那容器所盛液體之重。若容器的壁由底向外傾斜，則底上所承的重（壓力），等於立着於那底面上的液體柱之重；其餘液體之重，被器的斜壁所承，與器底無關。



圖 179. 液體常要尋它自己的水平面，因爲若把盛液體的容器，加以動盪，而使液體兩端的水平面暫時不同，則在高的一端多出的壓力，必壓迫底部的液體，從一端流向他一端，直至回復平衡為止。

若容器的壁，由底向內傾斜，則器底上所受的壓力，亦等於立着於那底面上的水柱，故實際上，比所盛的液體之重爲大。

我們還可以從另一方面來看。假定有兩個等大的圓錐形容器，一個係以近尖處作底，一個係以闊的一端作底（圖178）。

在第一種器裏，很顯然地，無論裝何液體，它所容的液體，比立着於底面上的液柱爲多，這多出部分的重，爲器的斜壁所阻而不

墜落，換言之，即那部分的壓力被斜壁所支持。

在第二種器裏，器的口比底狹，我們可想像把底分成若干圓形，每一圓等於器口的面積，并假定底上含有此種圓形八個。

根據液體壓力向一切方向相等地作用這個定律，很顯然地，由



圖 180. 左圖一個奇異器皿，是一個自以為可以解決永遠運動的人所設計。據他的意思，這樣一個器具，若在大容器內裝水，因水量多的關係，它的重可以壓迫小管內的水柱上升，并從管的上端流出。流出的水，仍令再流入的大容器內，這樣，永遠不停的運動不是可以得到了嗎。不過如果他知道了水壓力的原理，就不會陷入這樣的謬誤。他的理想若有實現的可能，那麼，我們茶壺內的水，必然要從壺嘴跑出來了。

任何小體積的液體(例如在器頂的液塊， $\frac{1}{2}$ [吋]厚)重量所生的壓力，將以相等的壓力傳達到器底的八部分(圖 178)，好像用這樣的八個液塊分佈在底上一樣。

器的上部不論有如何的壓力，都將以相等的壓力，傳達到器底的各部分，故器底所受的結果壓力，只與底的大小與液體的高度有關，而與容器所含液體的總量無關。

液體必尋自己的水平面

水在容器內運動，前後搖擺時，器底上所受的壓力，是不斷地在變化的。若容器被傾斜，使器內的水平面，在一瞬間，兩端高低不同，則加於器底上的下壓力，自然也兩端不同。左邊所多的

壓力，必壓迫底部的水，使它向右，必至器內全部的水達到同一水平面才止。這說明了液體為什麼必尋求它自己的水平面的理由（圖 179）。

液體的深度與壓力

一個長 2.3 [呎] 而管腔截面為 1 [方吋] 的管子，約可容 1 [磅] 重的水，所以在水的任何深度，不論是在底上，四周的壁上，每 [方吋] 所受的水壓力，大約說來，每 2.3 [呎] 深，約有 1 [磅]。

一個空氣泡，若在深水下面發出，因壓力的關係，起初是小的，但它漸漸上升，壓力漸減，它的體積必隨着漸漸增大。

又若將一個大而方的空玻璃瓶，嚴塞其口而沈到水裏，在它還未達水面之下 60 [呎] 的地方，它就要被水壓力所壓碎了（圖 183）。

那時瓶所受的壓力約有 $60 \div 2.3 = 26$ [磅/吋²] = 3750 [磅/呎²]。

船的失事，若係沉在淺水地方，則壞船的木板等，必浮出水面。但若遇難船沈沒於水面下很深的地方，則水壓力將把水分壓入木質的孔隙，增加它的重量，使木板不能浮起。古時捕鯨的船，常有在抓住鯨魚之後，被鯨魚拖到深海底的事情，若遇此種不幸，那船將永不出現於水面了。

深海所產的魚，若將它擲出水面，它的身



圖 181. 人們常以為在地中海與死海之間有某種地下的通道，這是不可能的事，因為死海的水水平面在地中海的水平面之下約 1,312 [呎]。若有通道，地中海的水必立即衝入死海，使兩處的水平面高度相等了。



圖 182. 一個空氣泡從海底發生，漸漸上升，則所受水壓力亦漸減，它的體積必漸漸膨脹。

體常要爆裂，因為它們的構造，適宜於巨壓力之下生存，一旦到了水面，外界的壓力減少，它們的身體，自然要向外擴張而爆裂了。

一塊軟木，若放到海底，它的變形，並不像我們單從上邊壓下而



圖 183. 一個方形的空玻璃瓶，若嚴閉後放於水裏，漸漸下沉，受水壓力也愈大，在將達60[呎]深之前，它的壁就要破裂。一塊軟木，若設法讓它沉到海底，它的體積，將全部縮小，而不像我們單壓它一邊時所呈的扁平形。

得的扁平狀，而是各方面都要縮小，所以看去是一個與原來同形而縮小的軟木塊。這說明液體壓力是以等強之力在一切方向傳達的。

可是我們須知道在一隻正方形的開口水箱裏，滿盛了水，則任何一個直立的箱壁上所受的總壓力，僅等於同面積的平箱底上所受的總壓力之半。

理由是這樣的，箱壁的中心點是在從水面到器底的深度之一半的地方，故它所受的壓力，只有箱底上任何點所受壓力之半。水內任何一點的壓力，既正比於其深度，故凡在此中心點所在水平面以上的各點所受的壓力，各依在水面下之深度漸減而漸小，凡在此水平面以下的各點所受的壓力，各依在水面下之深度漸增而漸大。這樣平均起來，所以任何一面鉛的箱壁上所受的總壓力，適等於同面積的箱底上所受的總壓力之半了。

在建築工程上，如閘壩等構造，其橫截面從從上狹而下闊，成爲三角形，即是根據水壓力變動的道理的。

三 液體的傳力——巴斯噶定律

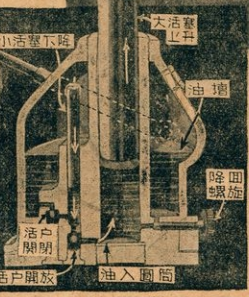
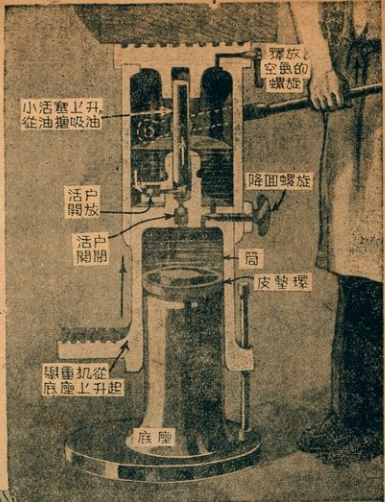
1. 試述玩具水鎗的作用。
2. 滿盛水的熱水瓶，用手蓋上軟木塞，往往因用力過大而致爆裂，何故？
3. 什麼叫做巴斯噶定律？這條定律有何重要的應用？

液 體 的 性 質

力學中有一部門，專門研究液體的平衡，液體本身所生的壓力與其對容器壁所生的壓力，名爲流體靜力學 (hydrostatics)。

液體與固體不同之處，在它的分子會被很小的力所排開，但同時它們又有黏滯性 (viscosity)，即它們的質點有彼此互相黏附的性質。所以液體的一部分運動時，有將附近的其他質點拉

圖 184. 右圖所示的水力舉重機，屬於雙舉式，因為它的頂與底都可以負重。此機的小活塞，係用一手動槓桿來提上與壓下。活塞交替上下運動，把油從一個單流向球形活門吸入，再經過另一個球形活門壓入大圓筒。機的底座是固定不動的，作用如一個大活塞，不過油壓力並不是使這個大活塞運動，而是使機的全上部升起，這是要注意的。若要已上昇的機械部分下降，只須把一個螺旋活門（即降回螺旋）捻開，使圓筒內在壓力下的油放出，流回到貯油室，則壓力減低，機就下降了。



左圖所示，為另一型的水力舉重機。雖稱水力，所用的液體却是油，因有很多理由用油比用水適宜。此處所示活塞與活戶等的動作與上面所述並無不同，稍異者，只在油等液體被壓入圓筒後，乃是使大活塞上升以舉重物，不像雙舉式的大活塞是固定的。降回螺旋用法，也與雙舉式一樣。活塞上附有一個皮墊環，使油不至漏出，致減少工作力。

着同行的傾向，而這些被拉走的質點，又有把運動部分拉回的傾向。

液體的流動性，可從液體隨器成形的一事實看出。不問你把液體傾入如何的形狀的容器中，它自己會立即適應那容器的形狀。

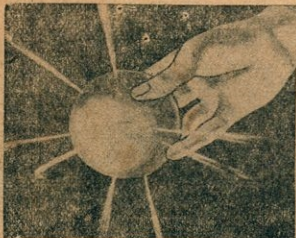


圖 185. 若把一個橡皮球貯滿了水，再在球面上穿了許多小孔，而後把它擠壓，水即從每一孔中以等量的力射出。

一般人總以為液體的體積是不能壓成更小的，用科學術語來說，即是不能壓縮的。但現今已知這是不正確的，不過所壓縮的程度很微小罷了。例如，以3500〔磅〕的壓力施於橫截面為1〔方吋〕的水柱之上，則水的體積將縮小百分之一，如要把同樣的水銀柱依同比例縮小，則須

13 倍大的壓力。

液體的質點，都具有向任何方向同等運動的趨勢；所以，要液體保持靜止，則凡有壓力施於液體的任何部分上時，該液體的每一部分必以相等的力來抵抗。

因而施於一液體的壓力，必對各方向以不變的強度傳遞，這一事實，更可以一個很簡單的實驗來證明。取一大小適中的空心

圖 186. 水壓機的工作原理。水壓機有兩個直徑不相等的圓筒，以一管連通。兩筒內均滿貯受壓力的水。右邊小圓筒裏有一個活塞，藉槓桿的運動而使之上下抽壓。當小活塞上升時，水從下方的一個水槽被吸而起，通過一個活門，貯於小圓筒中。把槓桿壓下時，小筒底下的活門關閉，小活塞乃壓於水上；此壓力經過連通管而傳達於大圓筒內的水上，因此把大活塞推起，使壓板壓攏。連接於連通管的，有一安全活門，以防萬一水壓力過大，水管不能支持時的危險。工作完了，欲大活塞降下，可將降回活門開放，使大圓筒的水在壓力下流回到水槽中。

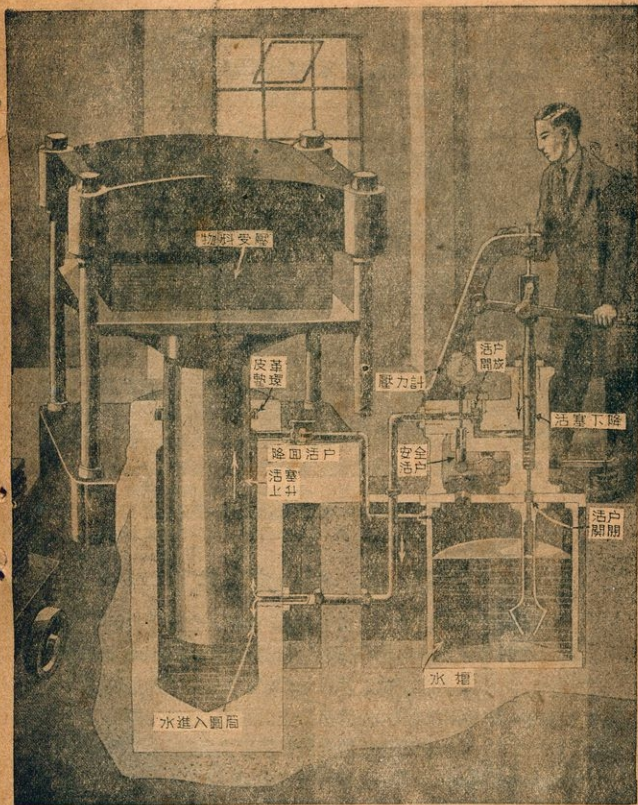


圖 186. 水 壓 機.

橡皮球，在球上刺一小孔，用手握持擠壓，把它浸入一碗水裏，手指放鬆，就有水進入球內。待球內的水已滿，用一指按着球上小孔，把球從水裏拿出，更在球面上其他地方刺孔若干，再用手擠球，則立即有水從各孔裏以相等的力射出。



圖 187. 一個裝滿水的密閉容器，連有兩個等大的狹管，管內各有活塞（左圖）。若把一活塞用力壓下，則他一活塞必被同大小的壓力推起。若兩管的大小不等（右圖），例如說第二管的橫截面為第一管的10倍，則第一管裏的活塞，若被1[磅]的力壓下，第二管裏的活塞，必被10[磅]之力所推起。

巴 斯 噶 定 律

這個事實，在一切水力機械上，極為重要。它所代表的一個原理，已經科學家寫成定律，因係法國巴斯噶氏 (Blaise Pascal) 首先提出，故又名巴斯噶定律 (Pascal's law)。那定律說：

施於一個封閉液體的任何部分上的壓力，必以相同的強度傳達於各方向，並垂直地作用於液體接觸面之各部分。〔注意，所謂壓力的強度，是每單位面積所受之力。〕

設有滿貯水的密閉容器，在器壁上裝一小管，管內有一可動的

活塞 現在若以1〔磅〕的力把活塞壓下，則容器內壁的任何部分上，每個等於小管橫截面的面積，必同樣受到1〔磅〕的壓力。

若那器上還有第二個小管，大小與第一管相同，且也有一個活塞，則一管內的活塞以1〔磅〕之力壓下時，他一管的活塞必受到1〔磅〕的水壓力而上升。不僅如此，若容器上有許多這樣相似之管，每管各有活塞，則我們只需壓其中的一個，則其餘的同受影響。若其中一個活塞有加倍大的面積，則所受的力亦加倍大，若有10倍大的面積，即必被一個等於10〔磅〕的力所推起。

換言之，若把液體密閉在一個容器內時，祇要第二個活塞面積儘量加大，則施以1〔磅〕的力，可產生10〔磅〕，20〔磅〕，100〔磅〕，以至巨大的爆裂力。總之，這種壓力的傳遞可用作機械動力，增加力量到任何強度。

水壓機(hydraulic press)，即是巴斯噶原理應用於工業上的一例。我們從水壓機的圖裏可看見小活塞底部所發生的壓力，被水傳達到一個大活塞的底部，使它工作。

一個似乎矛盾的事實

用這種方法，可以使1〔磅〕壓力產生幾百幾千甚至幾萬〔磅〕壓力的一事實，看去頗為奇異，所以有“液體靜力學之謎”(hydrostatic paradox)之稱。其實並無任何矛盾或神秘的地方，因為

圖 188. 巴斯噶原理之一個極有用的應用是水力升降機。本圖表示兩個水力升降機，並說明它們的工作方法。在升的時候（如左方），司機人用他的手拉一條繩，因此揭開一個活戶，把有壓水管接通，於是在高壓下的水，立即進入圓筒，把活塞壓下。活塞係與一滑車組連接的，經過纜索的傳力，遂使升降車上升。降的時候，司機人用他的手拉另一條繩，這條繩把有壓水管的活戶關閉，而同時開通排水管。作用於活塞上的壓力遂因之減少，而令升降車開始下降。同時因活塞上昇，迫圓筒內的水排出。水力升降機比電力升降機的速度慢得多，但它很經濟，所以在工業上仍有許多用途。

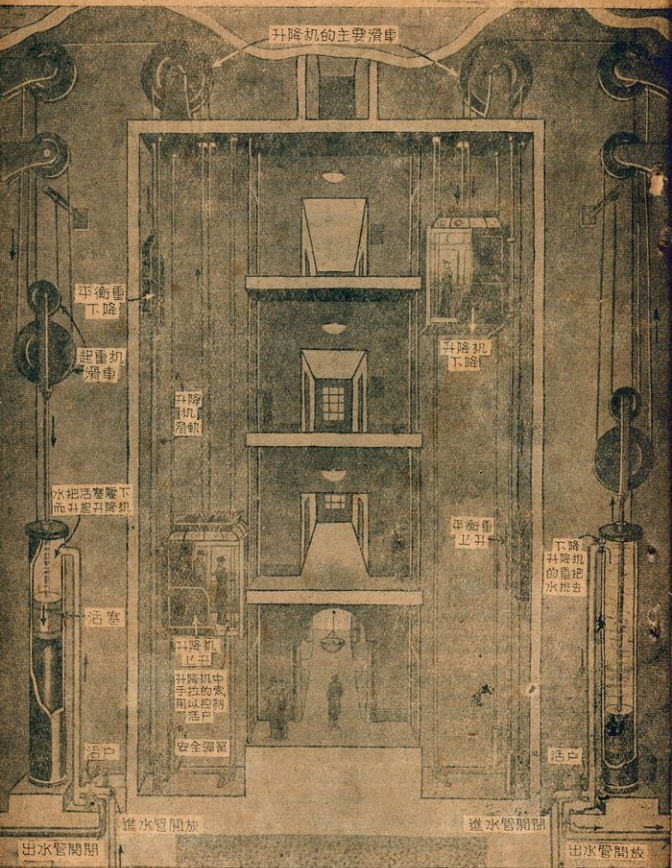


圖 188. 水力升降機

便是槓桿的長臂端懸 1〔磅〕重物可用以平衡短臂端所懸 10〔磅〕或更多〔磅〕重物的道理，其間並無神秘可言。

拆穿來說，水壓機無非是一種使強度不等的諸力互相平衡的機械，而達此目的的方法，是把這些力作用在一架機械裏運動速度不等的諸部分。

若容着大活塞的圓筒的面積比小活塞的面積大 100 倍，那麼作用於大活塞上的總壓力，雖然比小活塞所加於液體的壓力要大 100 倍，不過有一個事情要注意，就是大活塞運動的距離，却只有小活塞運動的距離的 $1/100$ 。這是功的原理必然的結果。

除水壓機外，巴斯噶原理還用於水力升降機 (hydraulic lift 圖 188) 與水力舉重機 (hydraulic jack 圖 187) 等。所以坐在水力升降機裏的人，當它升降時，覺得它的速度比近代的電力升降機慢得多。不過水力升降機比較經濟，所以在堆棧與工廠內舉重物的工作，仍多用它。

近代大都市如倫敦，紐約等，地下都埋着很長的特別總水管，管內通過壓力很高的水，即係用以運用水力升降機，或其他用於堆棧工廠與碼頭等地方的各種水力機械的。

四 都市給水是怎樣的？

1. 接一根橡皮管子，到你家所用的自來水龍頭上，量出向上噴的水柱的高度，再計算給水的壓力？這個壓力是怎樣得到的。
2. 調查本地的給水情形，寫一篇報告。

都市裏用做飲料，洗滌，或是旁的用處的給水，俗稱自來水，其供給方法可用後面的圖來表明。水從水源——像江河湖泊——

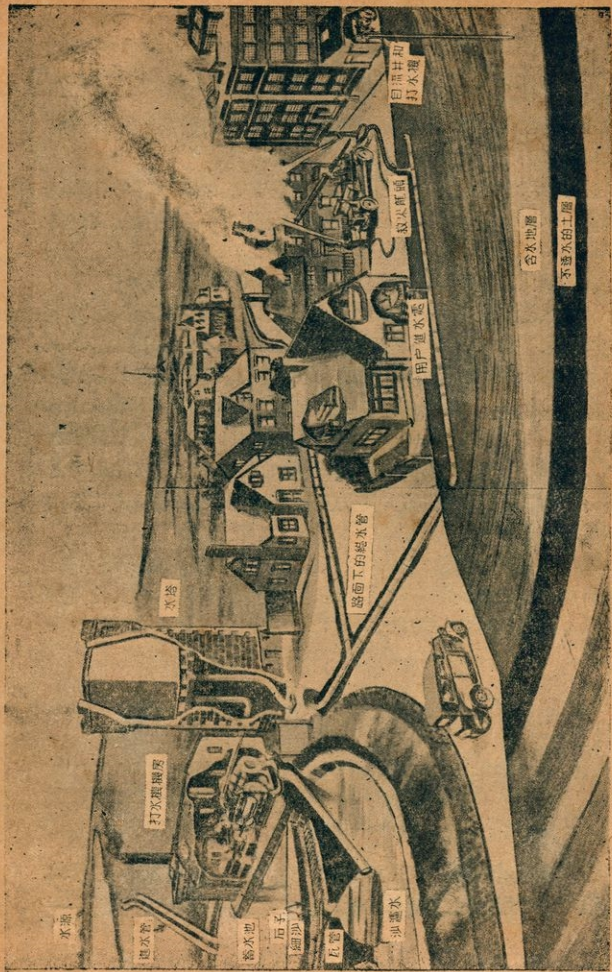


圖 189. 給水系統

用抽水機抽起或藉自己的重力，經管子引到蓄水池裏；再經碎石，細沙，瓦管濾清；然後再用抽水機送到高架的水塔裏去。水塔下面用總水管通到都市各部分的支水管去。要用水的地方，就可以用小管子接到支水管上，一頭通到房子裏。在房子裏，也有把自來水通到屋頂上的水箱裏的，然後再分佈到各間房間裏去。在大路旁還有救火龍頭；萬一有火災的時候，救火員可以利用來滅火。有許多地方地下有含水層，就可以打自流井來取水；然後通到各處。工廠，學校，銀行等機關所用的水多有用這種方法來自給的。講到抽水機；有的用汽力發動，也有用柴油機或是電動機的，小規模的亦可利用風力的。

第六章 空氣

一 空氣是物質的證據

1. 我們的身體上，每[平方吋]受到 14.7 [磅]的空氣壓力，爲什麼大家不覺得？
2. 空氣有重量，你怎樣試驗出來？空氣1[升]重多少？空氣比水輕幾倍？

空氣是物質嗎？

我們因爲不能目睹所呼吸的空氣，所以很懷疑它的存在。空氣爲目力所不能見，不像普通的物體，如泥土，水流，或煙囪中的黑煙等。我們能夠感覺有泥土與水，若置少許於杯罐中，我們又可視察到它的存在，因爲不但覺其重量，並且可以看見它。



圖 190. 腳踏車輪胎中空氣已脹滿時，則氣難再打入。

我們雖不能憑目力來視察空氣，但是仍須視它爲一種物體，像鐵，鉛，或木材一樣。在若干家常事件中正有不少簡易的試驗可替它證明。

我們斟水滿杯，就不能更注入涓滴。倘使充沙盈匣，有時力搖並緊壓之，或者可以再加

入少許。但是匣中的沙真實充塞時，便不容再行加入。空氣也是如此。把空氣灌進鬆弛的腳踏車輪胎，起初很容易，到得脹滿時候，就不容易再行打入(圖190)。這是因為輪胎已為空氣所填滿，不能再有所增益的緣故。照此情形，我們如緊壓一個脹滿的氣墊，便不能迫使它平扁；把壓力加在一處，另一處就要隆起來，這就是空氣被壓後，從此處而流到別處的證明(圖191右)。

我們若張手在水中推動，愈速愈感到不易，這是因為水阻礙手的行動的緣故。倘使我們拿扇子揮扇極速(圖194右)，扇子受空氣的阻礙就要彎曲，與手受水的阻礙一樣。

空氣的壓力

空氣隨處在各方向中對吾人施壓，對各物施壓。它的力量在每1〔平方厘米〕上有1〔仟克〕

重。它能向下施壓，也能向上

讀者如不信，有一個方法可以證明：取一個杯子，充滿了水。

上面蓋一卡片，杯緣須微濕。

卡片放好後，把杯子倒轉。倘使卡片緊貼，使空氣無從自紙與水之間溜入，那麼水仍舊可以留存杯中，紙片覆着杯口不落下，這是因為空氣向上的壓力把它托住的緣故(圖192)。

童子遊戲吸盤時，也可以證明空氣施有強大的壓力。這個吸盤是一個革製圓盤，中心繫一根繩。先潤濕此盤，覆於道上(圖193右)，用足踏之，漸漸逐出盤與石隙間的空氣。空氣驅出以後，要把它提起，非用大力不可。因為空氣有每〔平方厘米〕1〔仟



圖 191. (左)空氣壓力支持銅幣之情形。
(右)充滿空氣之橡皮墊。

克)重。我們若張手在水中推動，愈速愈感到不易，這是因為水阻礙手的行動的緣故。倘使我們拿扇子揮扇極速(圖194右)，扇子受空氣的阻礙就要彎曲，與手受水的阻礙一樣。

克)重的壓力加在它上面。

倘使把盤覆在一平坦的小塊石頭上,用力拉它向上,盤的中心就稍隆起,石與盤之間成真空;結果石下的空氣壓力大於石上。



圖 192. 空氣支持倒轉杯中之水。

若我們拿繩提起吸盤,石塊也隨同帶起。這是因為石塊靠下面的空氣托向上方的壓力,所以附着於吸盤。

另有一個試驗表示空氣壓力也施向各方向的。用一平滑的銅幣置於木器的壁上,用手指力壓之(圖192左),並用力上下

推動,使銅幣與木器間的空氣被逐出。然後將手離開,銅幣可牢固着於壁上而不落下,這就是空氣施壓力於側面的證據。

又一有趣的試驗,也是表示空氣的壓力。拿一條長1[米]闊約15[厘米]的木板置於桌上,約伸出桌外10[厘米]。然後拿一張報紙,張開覆在上面。



圖 193. 吸盤何故提起石塊,石下空氣壓力較大於石上。



圖 194. (左)一童子正提一吸盤。
(右)扇張開鼓動空氣,

用手臂壓緊報紙後,將木板伸出的一端盡力向下推移。我們初意木板必然顛覆墜而於地上,結果木板情願斷裂而不顛覆。

空氣在報紙上每[平方米]有1000[仟克]的壓力;當我們把

這木板盡力推移時，空氣無暇衝入報紙與木板之間，結果板的另



圖 195. 空氣壓力阻止木塊顛落於地上。

一端欲向上抬起，而報紙上甚重的大氣壓力堅令它向下。當然，推移時必須迅速，否則此試驗即不能成功。設我們推移遲緩，並力壓木板的時候，空氣就乘機進入紙下，報紙上下兩面的空氣壓力均等，木板就要顛覆了。

二 我們周遭的空氣

1. 開罐頭牛奶時一定要鑽二個洞，否則牛奶不易倒出，何故？
2. 茶壺蓋上爲何常有一個小孔？
3. 將盛滿水的試管倒立水中，管內的水不會下降，何故？
4. 氣壓計的玻璃管，不宜過細，是何緣故？

大 氣

地球是被空氣包圍着的，這層空氣的全體，特名大氣。大氣近地的部分，要比上部分濃密些，這是因爲上層大氣的重量壓着下層大氣，使下層大氣的分子更爲緊密的緣故。因爲離地愈高，空氣愈薄的關係，所以登高山的人，愈高愈不能吸夠所需氧氣，呼吸愈感不快。

大氣層究竟有多少高，這是我們急於想知道的事情，但至今我們還不能說出肯定的數目。根據天空隕石受空氣摩擦而發熱，

抵地時已達赤熱的程度推算起來，空氣的深度約在200〔哩〕左右；但另一方面，從地面仰視空中所射來北極光的高度來推算，似乎又深到400〔哩〕左右。不過不論它的深度如何，我們可以



圖 196. 德國科學家葛列克在十七世紀時於馬德堡地方實驗大氣壓力的情形。二個半球密切對合，球內抽出了空氣，要用二十匹馬才能把它們拉開。

說，全部大氣的重量，有一半佔海平面以上3.6〔哩〕，四分之三佔海平面以上6.8〔哩〕，八分之七佔10.2〔哩〕。全部大氣的重量，約為全地球固體部分一百二十萬分之一，這個重量，約等於把地球全面積，蓋着一層厚34〔呎〕的水。

馬 德 堡 實 驗

空氣既是有重量的，那麼它壓在我們人體上，究竟有多大的壓

力呢？1651年德國科學家葛列克氏(Otto von Guericke)，在他作市長的馬德堡(Magdeburg)地方，作了一個公開實驗(圖196)。他用的是兩個空的金屬半球，球的製造很精密，兩半球的口相合時，可以不透空氣。球內有空氣時，可以與球外的空氣相平衡，所以球在這時



圖 197. 用一塊圓盤狀橡皮，上附一掛物的鈎。把橡皮盤用水潤溼以後，壓在玻璃窗上，因為玻璃和橡皮之間，沒有空氣，外邊的大氣壓力，把它壓住。橡皮不但不墜下，而且可以掛起一個提包。

合起來，便容易再行分開；但是若球內沒有空氣，只有壓在球外單方面的大氣的壓力，便可使兩半球不容易分開了，其力量之巨

大，實足驚人。因葛氏所作的公開實驗，係用直徑3〔呎〕的空球，合攏之後，先裝滿水，再用注射器把水吸乾，使球內空氣抽出(當時還沒有現今的抽氣機，其後若干年始經葛氏發明)以後，以德皇的御馬二十四匹來



圖 198. 用一塊圓盤狀橡皮，在中心點繫着一繩，用水將橡皮潤溼以後，壓到一塊平均的石頭上，可以把石頭提起來。

分兩邊拉，才把這兩個半球分開來。葛氏實驗所用的球，至今科學上稱為馬德堡半球。大氣的壓力，據推算的結果，約為每〔平方吋〕14.7〔磅〕。

大 氣 的 壓 力

大氣的壓力，我們還可以用一塊小的皮吸盤來做實驗(圖197, 198)。取一塊圓盤形的皮，在中心地方繫一條粗繩，次將皮在水中浸濕，使它柔軟，并用腳將它踏平，使附着在一塊石頭的面。



圖199. 烏賊有吸盤生在牠的觸鬚上，可以用來握住它的獵獲物。

這時若用手拉繩，非有巨大的力，不能把皮從石上分開。這是因為皮與石的中間，沒有空氣，皮的外面，有每〔平方吋〕14.7〔磅〕的大氣壓力壓着，所以不易將皮從石上分離開來。若石塊係活動的，甚至可以被這個皮的吸盤提起來。動物中如章魚，烏賊等的觸鬚，均有此種吸盤(圖199)，即係用來握住它的獵獲物的。

大氣壓力係向各方面壓着的。我們房屋的外面，雖有巨大的大氣壓力，但並不至於將房屋壓倒，係因屋內同時亦有相等的壓力，向外壓迫，互相抵消之故。但若忽然兩力失其平衡，房屋即會傾倒。一地受風災時，往往倒塌無數房屋，即係因有颶風經過，屋外空氣驟然減少，屋內空氣向外壓迫所致。

大氣壓力既然是 14.7〔磅/方吋〕，那麼以我們人體的面積來計算，總共所受的壓力，約在 10〔噸〕至 12〔噸〕之間。以這樣大的力量壓在我們的身上，似乎可使我們粉身碎骨，壓成肉餅了，何以竟毫無損傷，且我們亦毫無所覺呢？這是因為垂直於身體上各部份而作用的壓力，有的方向向上，有的方向向下，可以互相抵銷，而且身體外的大氣壓力為體內相等的壓力所抵住，不僅大的洞穴中，有這個反對的壓力，甚至極小的毛孔與血管中，都有壓力。所以我們若置身於一間密閉的室內，設法把空氣排去，那麼因為體內的壓力，大於體外的空氣壓力，必會脹破血管，而使我們出血了。

一張普通的餐桌，假定桌面是 4〔呎〕見方（即 16〔平方呎〕），那麼它所受的大氣壓力約等於 15〔噸〕，這個數目差不多等於把每袋 200

圖 200. 大氣壓在一張 4〔呎〕見方的餐桌面上，其重量約為 15〔噸〕，等於把每袋 200〔磅〕的煤 150 袋堆在這張桌上。但桌並不因而壓壞，因為大氣同樣以相等的壓力從桌面底下向上壓的緣故。



[磅]的煤150袋，堆在上面，但桌面並不受影響，即是因為大氣從桌下壓上的力量，亦恰有此數，互相抵消了。

我們人體的腿骨，係以一個圓形的骨頭與骨盤的臼相嵌合，兩者的表面都是軟骨，嵌合部分的中間，只有一種液體，沒有空氣，若沒有外面的空氣壓力保持它們的接合，我們是隨時都要有脫臼的危險的。

大氣之有壓力，由於空氣有重量，大概在平常一間10 [呎]高，12 [呎]見方的房間內，所容的空氣，重110 [磅]。在極大的禮拜堂中，可以重到幾十 [噸]。

三 氣 壓 計

1. 為什麼氣壓計又叫做晴雨計？
2. 說明無液氣壓計的構造？
3. 托里坭利真空果真是真空嗎？若放入其他的氣體進去，氣壓計中的水銀柱將怎樣？
4. 如果用酒精來做氣壓計，玻璃管要長多少 [呎]？

水 銀 氣 壓 計

大氣的壓力，不是經常一定，時時在變動着。測量這種變動的器械，名為氣壓計，可分為兩種。一種叫水銀氣壓計（圖 200），最簡單的形式，係一根上端封閉的長玻璃管，管內盛水銀幾滿，直立一個水銀槽中。這管的長度略大於 30 [吋]。首先滿裝水銀，而後將管倒置於水銀槽中，管內的水銀乃自行下墜；但只能墜到約 30 [吋] 的地方為止，遂使管內水銀柱的上面留出一個空間。這空間內沒有空氣，特名為托里坭利真空 (Torricellian

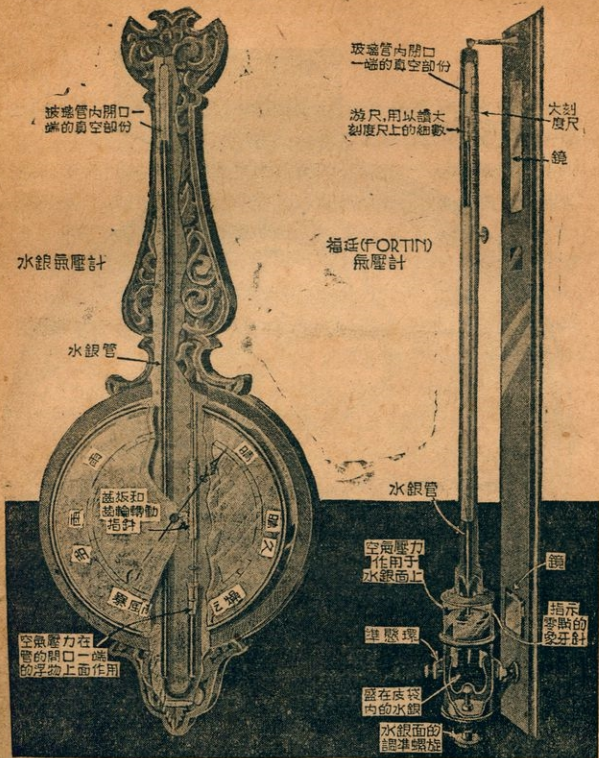


圖 201. 兩種水銀氣壓計。左邊一種有一根玻璃管,長約 33 [吋],上端閉口,下端開口而彎上。開口端的水銀面上有一浮物,與一個齒板相連。氣壓變動時,齒板跟浮物升降,經一齒輪而轉動指針,指示出氣壓的變化。右邊一種叫福廷氣壓計(Fortin barometer),是一根直的長玻璃管,水銀柱與下端一個皮袋內的水銀相通。皮袋係放在一個木質圓筒內,空氣的壓力作用在皮袋上面,使管內水銀柱上升或下降。但水銀柱必須有一個一定的零點面,才能讀出柱的高度,故皮袋下配有一個調準螺旋,用以調準水銀面到象牙針所指定的零點面。象牙針背後木板上置一鏡,以便看清象牙觸針的地位。水銀柱的高由頂上刻度尺與游尺來讀出。

無液氣壓計

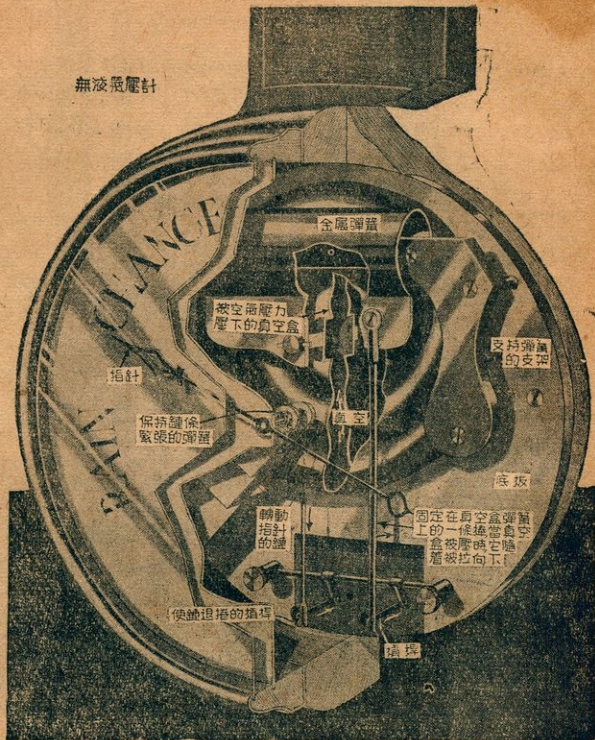


圖 202. 家用的普通無液氣壓計，有一隻抽盡空氣的金屬盒，盒面寓於彈性，但為預防被大氣壓擠起見，盒的隔面上附接着一個強壯的金屬彈簧片。由這彈簧片上接出一條長棒，與下面裝在軸上的槓桿相連。這個槓桿推動軸上的第二槓桿。在這第二槓桿上連着一條直立的棒，棒的上端有一條精細的銼條，繞在裝着氣壓計指針的軸上。另有一條彈簧保持指針的張緊，當大氣壓在空盒上有變化時，盒面或升或降，因此使指針轉動。

vacuum), 用以紀念發見這個氣壓原理的意大利科學家托里坵利。水銀柱的上面既無空氣, 即無任何壓力, 故只有管中水銀本身的重可以使它自由流出到貯槽中。但它何以竟能不墜, 而保持30[吋]的高度呢? 這顯然是由於水銀槽中的水銀面上所受的大氣壓力, 阻止了水銀柱的下墜。

以前的人都知道無論用如何好的抽水機, 不能把水從井中水面抽到32[呎]以上。托里坵利斷定井水所以能被升到32[呎]高, 必是由於井水面上大氣壓力的壓送, 於是他就推論, 水銀既比水重約13倍, 那麼大氣壓迫水銀上升的高度, 應該只有32[呎]的十三分之一, 即約30[吋]。於是他用一枝一端閉着的玻璃管, 裝滿了水銀, 倒立於貯有水銀的盆中, 觀察水銀柱下降的程度, 果然如他的預料。上面所說的氣壓計, 就是應用這個原理, 現今所用的, 雖多少有點改動, 但根本上仍與托氏原來實驗所用的形式差不多。

有時不用水銀槽的裝置, 而是把玻璃管的底部, 即近開口的一端彎上。管的直立部分, 約長33[吋], 大氣壓力作用在彎管的開口端內, 支持着管中的水銀柱。這個水銀柱的高低, 照大氣的情形而不同, 約在29[吋]至30[吋]之間。

氣壓計內水銀柱的讀法, 因其構造而不同。一種是在靠近玻璃管的上端附一標度尺, 水銀柱的升降, 即可在這尺上讀出。另一種則在管的開口端內放一浮物, 用繩懸起, 繩的他一端繞過一個滑車而懸着一個平衡重物。水銀面的升降, 把繩推動, 因而轉動一個指針, 在分度圓板面上指示出讀數。

無液氣壓計

另外有一種氣壓計沒有水銀, 也沒有管子, 名為無液氣壓計

(aneroid barometer, 圖202)。大氣的壓力係壓在一個裏面已抽去空氣的金屬盒子上面。爲了防免壓壞空盒起見,盒外用一金屬彈簧片支持着。盒面上的大氣壓力變動時,富於彈性的盒面帶着彈簧片發生上下運動,這個運動,經過若干槓桿的傳達,轉動一個指針,在氣壓計的分度盤上移來移去,指示出壓力。

氣 壓 計 預 測 晴 雨

氣壓計發明後不久,人們就發見氣壓的變動,與天氣狀況有密切的關係,於是把氣壓計看成是預測天氣的一個工具,所以我們的家中最好預備一個氣壓計。

太陽光,風與空氣流的變動,都能影響於大氣的密度,結果乃影響到大氣的壓力,因此氣壓計中所支起的水銀柱,亦隨着而升降,大概在27〔吋〕至32〔吋〕之間。

通例,在溫帶區域內,對於雨,風暴與天氣改變的到來,氣壓計的讀數,都預先有顯著的變化,但是水銀柱忽然低降的情形,雖在氣候很平靜時,亦是有的。照普通情形說來,每一日中的水銀柱升降的範圍,不能超過 $1/10$ 〔吋〕,可是在暴風雨將臨的時候,竟有在1〔小時〕內,水銀柱下降達半〔吋〕或更多的。在熱帶地方,氣壓計預示氣候變化的功用,比在溫帶更大。

除了預示氣候變化之外,氣壓計還有一個用途,那就是用來測量高低。這是因爲大氣愈近地面愈濃密,愈到上空愈稀薄的緣故。大概從海平面升高 $3\frac{1}{2}$ 〔哩〕,氣壓計的讀數只有15〔吋〕,再升高一倍,即7〔哩〕,讀數即減至7.5〔吋〕。約略說來,每升高90〔呎〕,水銀柱降低 $1/10$ 〔吋〕。

四 空氣的浮力

1. 氣球怎樣會上升?
2. 氣球能升到的高度,應如何決定?

你的老師曾經戲問過你這樣一個問題嗎: 1〔磅〕鉛與1〔磅〕軟木那一種重? 實在說來, 1〔磅〕軟木確是比1〔磅〕鉛重, 因為在空

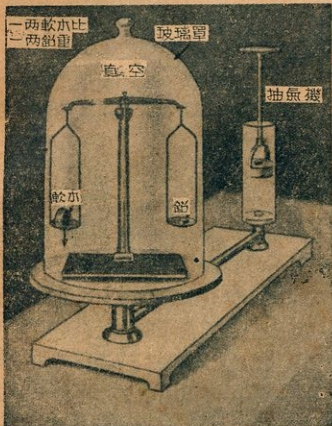


圖 203. 證明 1〔兩〕軟木實際上確比 1〔兩〕鉛要重的實驗。先將兩物在空氣中放在天平上準確地互相平衡, 再放到一個抽氣機的鐘罩中去稱。若把鐘內空氣抽去, 鉛的重量就要表現輕於軟木的重量了。原因是軟木在空氣中所受浮力比鉛多, 所以兩物在空氣中的重量雖然平衡, 但除去了空氣的浮力, 體積較大的物就要較重了。

氣中稱重時, 大體積的軟木要比質地緊密的鉛所受空氣的浮力多一些。倘使把 1〔兩〕鉛與 1〔兩〕軟木先在空氣中平衡於一個小天平的兩端, 而後一同放在一只抽氣機的玻璃鐘下; 若把空氣從鐘內抽出時, 掛軟木的一端必降下(圖 203)。

一個 50〔呎〕直徑的氣球有 70,000〔立方呎〕容積; 被這氣球體積所排擠開的空氣的重量約為 5,000〔磅〕。這氣球內灌煤氣的重量約為 2,000〔磅〕, 相差 3,000〔磅〕, 即是空氣的浮力。

但氣囊本身與所掛的車大概重1,000〔磅〕，那麼它還可以裝載乘客，器具等2,000〔磅〕。

若把這氣球灌裝氫氣，則所容氣體的重只有350〔磅〕，因此它可以裝載4,650〔磅〕的客貨而浮起了。

五 唧筒與虹吸管

1. 先明抽水機的構造
2. 說明壓力唧筒的構造。

唧 筒

大氣壓力的應用極多，一切注射器與抽水機的作用，都是利用空氣的壓力。通常都說我們提起注射器的活塞把液體吸入器中，事實上所以要提起活塞是使管內成爲真空，以便管外的大氣壓力把液體壓入管中。

抽水機又稱做抽水唧筒，它的運用的原理與注射器相同。圖204及205表示通常的吸取唧筒。把握柄升起，活塞降下，於是活塞下的水受壓而衝開活塞中心處

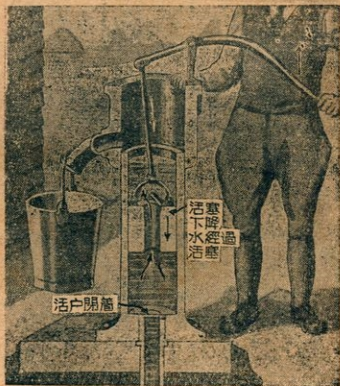


圖 204. 吸水唧筒
活塞壓下，水衝過活塞的活戶。

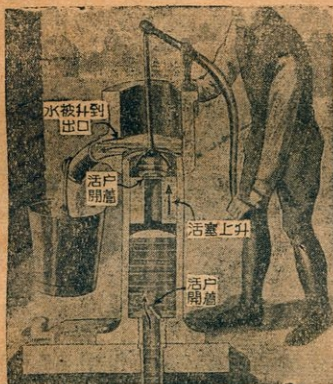


圖 205. 活塞提起，水從出口流出，同時吸水入筒。

圖 206, 207 表示壓力唧筒。活塞上沒有活戶，其出水活戶裝在出水管的底下。當握柄扳下而活塞上升時，因筒內壓力減低，水即跟着升起，以填補活塞下的真空。井管上的活戶被水所衝開，但一方面這水的壓力把出水管的活戶壓閉。把握柄提起而活塞下降時，其壓力

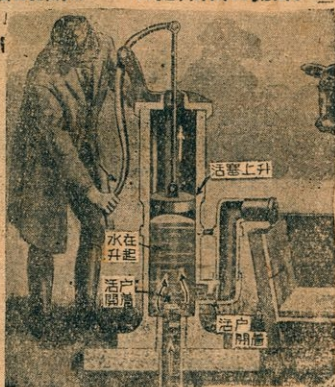


圖 206. 壓力唧筒：活塞提起，吸水入筒。

的活戶而升到唧筒的上部，同時活塞的下壓力把井管上的活戶關閉。現在把握柄降下時，活塞上升，活塞下的壓力突減，於是井水面上的大氣壓力把水由管中推起，跟着活塞的上升而流入唧筒內。同時活塞中心的活戶被在其上面的水壓力所關閉，在活塞面上的水被升高到出口處，由出口流出。

把進水活戶關閉，同時，把出水活戶推開，因此水便壓出管外，甚為有力。

虹 吸 管

虹吸管也是應用大氣壓力的一個例子。所謂虹吸管，是一個彎曲的管子，一臂長，一臂短，用以從容器中吸取液體。先把這個管子裝滿了液體，而後將短臂放入所欲吸取的液槽中，或者不先裝液體，在短臂放入液槽以後，將空氣從長臂中吸出，槽中液體即自行經由短管而到達長管，流出外面。若短管係放在液體的底部時，竟可以把槽內的液體吸盡。

其原理是這樣的。容器中的液體被面上所受的大氣壓力，由短臂中壓起，流入長臂。液體所以能從長臂流出，則因在兩臂口上的壓力不同所致。

在短臂口的向上壓力，為大氣壓力減去短臂內液體重的下壓力。同樣，在長臂口的向上壓力，為大氣壓力減去長臂內液體重的下壓力。但長臂內液體的重大於短臂內液體的重，故在長臂口的壓力小於在短臂口的壓力，因此液體從長臂流出。這樣，長臂的上部分易成真空，所以短臂內的水不斷地升起以補

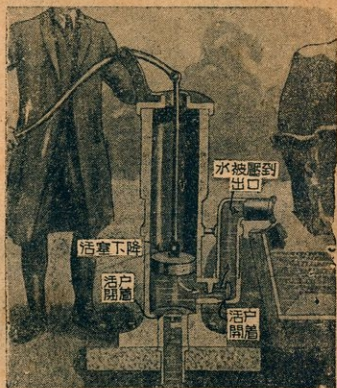


圖 207. 活塞壓下，把水壓入出口。

充其空間，只要短臂是浸在液體中，液體就可繼續不斷地從長管流出了。

現今用來吸乾堤堰及溝渠內的水的虹吸管，都是很大的鐵管，在開始之先，把兩管口密閉，從另一個小口地方，用漏斗灌水入內，管內原有的空氣由一個放嘴慢慢放出。

但虹吸管吸水的工作，只有在管的彎頂不高出水面33〔呎〕才為可能。因為過了這個高度，大氣壓力即不能把管內的水柱托住，所以沒有水可從長臂內流出了。

空氣壓在桶內的液體上面
迫使液體由管中升起



圖 208. 用虹吸管把上面一桶酒吸盡。大氣壓力把液體由管的短臂中推起達到彎頂，而後液體自身的重量，使它由長臂中流出，注於下面的壺內。

六 潛水鐘與浮沈子

潛水鐘又名沈箱，是一個鐘形鋼室，可用來建築橋梁的基礎，以及掘鑿水底等工程。裏面裝着電燈和電話。頂部有一個空氣管，連通於水面上駁船中的壓氣機，使鐘內的工人，可以繼續得到新鮮空氣的供給，且把鐘內的水壓迫下降，使與鐘底齊平。膨

脹的空氣，則變為氣泡，陸續上升到水面。

圖 209 表示用潛水鐘來建築碼頭基礎的情形。先把每塊花崗

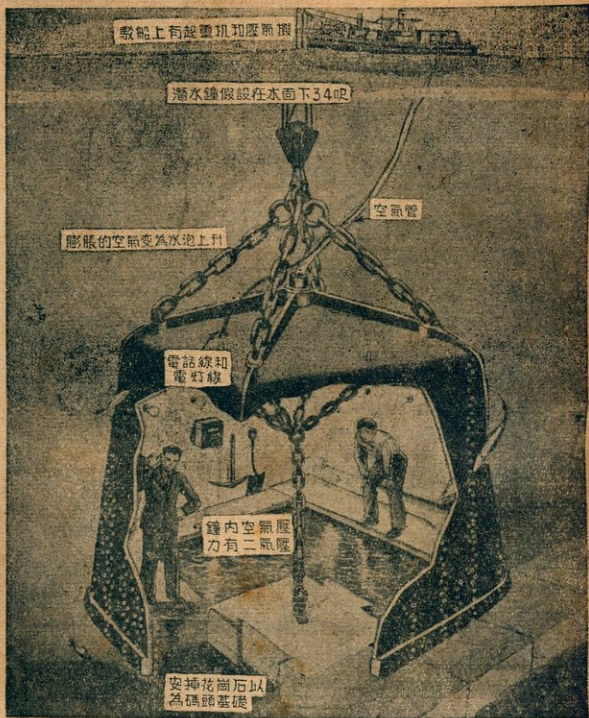


圖 209 潛水鐘

石，都用一條纜掛在鐘內，於是用起重機把鐘沈入水底。而後鐘內的工人，把石塊安置於適當的位置。

鐘內的空氣，必須與鐘外的水壓力相等，不然水必上升鐘中。例如潛水鐘在水面下 34 [呎]，則鐘內的空氣壓力，必須有 2 [大氣壓]。

據世俗傳說，潛水鐘是十三世紀培根 (Roger Bacon) 所發明的，但據可靠的記載，却是一五三八年西班牙所創始的。

玻璃瓶中裝水近滿，上口用羊皮紙密閉。瓶內所浮的玻璃球內，水與空氣各佔一部分，球的下端係一小孔，并懸一小瓷人。當手指在羊皮紙上向下壓迫時，小人即下沈，手指移去，小人復上升，非常有趣。因為手指的壓力使瓶中空氣受壓，傳達壓力於水，使玻璃球內注水更多，玻璃球內的空氣體積減少，所排去與人物同體積之水重，即浮力，亦隨而減少，因而下沈。指移去後，瓶內的空氣仍復膨脹，浮力增加，因而小人上浮。此種玩具名曰沈子 (Cartesian diver)。



圖 210. 浮沈子

科學叢書
大眾物理學圖說第一集

力 學 圖 說

中華民國三十六年出版
中華民國三十八年三版

版權所有 翻印必究

編輯者 楊孝述 楊逢挺

出版者 中國科學圖書儀器公司
上海(18)延安中路537號

總發行所 中國科技圖書聯合發行所
上海中央路24號304室
電話 19566 電報掛號 21968

分銷處 中國科學圖書儀器公司
南京：太平路32號
廣州：永漢北路204號



國華書店經售

台北市重慶南路
一段六十六號

156

(PS 42)

實價

¥ 11,200