

物 理 珍 話

新時代科學叢書之二
中等學校教科及自修適用

物理珍話

錢珩華著

文化書局印

新時代科學叢書之二

物理珍話

版權所有★不准翻印

基本定價五元五角整

著者 錢 嘏 著 秋 莘

發行人 陸 劍 秋

發行所 北京西單舊刑部街三號

上海河南中路三二八號

分發行所 聯 營 書 店

上海 北京 濟陽
漢口 廣州 重慶

一九五〇年一月二版

一	動就是力	一
二	萬有引力	八
三	長度、質量、時間	一三
四	重力與比重	二四
五	重心	三四
六	氣壓	四〇
七	熱和冷	五〇
八	熱的分類	五六
九	熱的行動	六二
一〇	熱與工作	六九

一一	潛熱、可感熱、比熱	八〇
一二	音波	八八
一三	噪音與樂音	九五
一四	光是甚麼？	一〇二
一五	光也是電	一一一
一六	磁話	一一九

一 動就是力

我們自詡爲萬物之靈，地球的主人。但是，我們所可自詡的，究竟是些甚麼本領呢？回答起來，十分簡單；我們所能自詡的本領，實在祇是僅僅能夠移動一些東西罷了。這個答案，粗粗一看，好像近乎俏皮；然而，仔細想來，却是千真萬確的。要是我們不依賴移動東西的力量，簡直不會做過甚麼，也不能做出甚麼，我們移動着一方石塊去橫在當路，就做了一個障礙物。我們移動着嘴唇和舌頭，就發出了聲音，表示了我們所想的意思。我們移動着手指拿起筆來，又將筆貼緊紙上移動着，就畫出了圖，寫出了字。我們移動着鋤頭在地上挖出一個洞作爲自己的住處；或是移動較多的材料，拼湊起來，成功一座宮殿。我們已經做成過許多奇妙的事情；我們也要繼續做成許多更奇妙的事情；可是我們所能做的，實在說來，祇是移動東西而已。東西的移動，可以成就非常的結果。人類的各種

工作，是依靠着動的；自然的各種工作，也是依靠着動的。

關於動的非常成就，我們可有多種的奇妙試驗。例如：把一片薄紙，放平了用非常的速率旋轉着，就能夠像刀一般的割削無論甚麼東西了。它的本身原祇是一片薄紙，因為在非常的速率中動着，它就會變成堅硬的。又如：把一支洋燭裝在槍上射出，使它走得飛快，它就可以安然穿過一道木板而不致有所損傷。又如：會耍流星的人，耍得恰到好處時的流星的繩索，就會能夠變作筆挺的一條木棍似的在一個指頭上旋轉着。又如：我們把亂堆在地上的鐵鏈的一環拿在手頭，用非常的速率旋轉着，它也會變得十分堅硬，像一個鋼圈；那時，若將它拋在地上，它就可以像鐵環似的一直滾得很遠；直到它的旋轉緩慢下來時，才自然而然地會和起初一樣的亂堆在地上。以上種種試驗，都使我們明白：所謂硬如鐵石的東西，並沒有甚麼特別會硬的所在，不過是在一定方式上動着罷了。

還有一個煙環試驗，那是很有趣的。法將許多的煙先放進一個面上有一個洞，背面有彈力的方箱子裏去；然後我們輕輕地敲着背面，煙環就會一個個從洞

中出來。——這裏，先得明白兩件事：一是真正的環，不是烟環而是空氣環；我們之所以必須要用烟的緣故，爲的是利用它容易看得出而已移動的情況，是一面轉着，一面還要紐絞着的：這種特殊的動作，存着異乎尋常的性質，不像它四周的空氣的。這種環的特殊名稱，叫做回旋環。它在空氣中能夠保存獨立，抗拒企圖破壞它的行動，譬如我們想用刀去割破它，它就會避開去的。它能從另一環中穿過，但決不會打破另一個環。它是在一直運動的；它的動作成就了它的抗拒的力量。據英人克爾文(Lord Kelvin)(即湯姆孫·威廉 Sir William Thomson)研究的結果，說有許多物質，一定可以像造成回旋環的方式做成。以太(Ether)到了一個特殊的運動狀態中，也可以成爲物質，正像空氣在特殊的運動狀態中，能夠造成回旋環那樣。這個理論，是很名貴的：它可以證明動作或者比物質還要來得重要；倘若動作可以造成物質，事情一定是這樣的。

一個正在動着的球，若要它停止下來，必須加點力上去。因爲動着的球中自有其力，如不加力上去消滅它的力，球是不會停下來的。球停止了，它的力量也

沒有了。火車的行動，汽車的行動，飛機的行動，都是力的作用。它們的力量氣體的壓力，製造在機器的引擎中的。氣體的壓力，是空間諸多重要的事情中之一。將氣體處於一個特殊的地位，使它自己膨脹起來，當它膨脹時，它就推動引擎了。關於這個，在十九世紀的末葉，已經發明了一個極奇妙學說，叫做氣體的運動論。在這個學說上說，氣體的壓力和別種性質，都是氣體中諸原子和諸分子的運動。例如火車、汽車的大動作，祇是千千萬萬不可思議的分子，在那裏作小的運動罷了。一塊大岩石，在炸裂時拋擲開來的；很大的軍艦在遇着魚雷或潛水艇時沉到水底去的；都不過是這些小分子集合在一起的一些作用。——動就是力。我們所看見的大力量，實在是由許多為我們所看不見的小動集合起來的。

動和力是不能於無中生有；也永遠不會遺失的。這是科學上的一個最偉大的發現：第一個想到這事的，是希臘大思想家退利斯(Thales)，遠在二千五百年以前；可是得到了證明，却在十九世紀的時候。動和力雖可從甲物移到乙物，但它的總量老是一定不變，無增無減，即不新生也不消滅。它有一個特別名詞，叫做

力不滅。能力是力的另一個特別名字。不滅律說力是永遠不會遺失的；此外，話雖沒有明白說出，而力的不能從無中生有的道理，實在也包含在內了。

牛頓的運動定律第一條，也叫慣性定律，或惰性定律，就能使這不滅律表現出來。慣性律說一件東西在動着時，它自己不會中止或變更的，永遠是向一個方向，保持同一速率進行，如果沒有別種力去阻止它或改變它，或使它慢些或快些的話。——這是慣性律的一半；還有一半是說一件東西靜止時，若是沒有外力去推動它，它會一直保持其靜止狀態的。這個定律，正和我國易經上說的「乾，其靜也專，其動也直」相符合。

我們把一個球拋向空中；或是滾過地面：過了一會兒，自然總會掉了下來或是停止前進的。這掉了下來或停止前進的緣故，並不由於球的疲倦或有甚麼停止的需要；完全是因為地球的引力，空氣的阻力，地面的摩擦力使它掉下或停止前進的。倘若沒有外力作用於一件東西上，這件東西總能永遠保持它的靜止或行動。我們如果仔仔細細地將這事加以前前後後的思索一番，就可明白此中的道

理；要不是這樣，則能力不滅的定律，也要被推翻了。——一件靜止的東西，若不需要外力而能自己動起來，則力或動，就可從無中生有了；一件動着的東西，若不需要外力阻止而會自己停止下來，則力或動，就可無端化爲烏有了。這就是我們所以要說慣性律是能力不滅律的一個好解釋的理由。

牛頓的運動定律第二條，也叫力之獨立作用定律說，使東西動着時，它的動一定和它所受的力，成嚴格的正比例。而且，這東西一定在外力所從來的一直線上動着。如果我們能夠知道一種甚麼力，將從甚麼方面，加到一個物體上的，我們用了這個定律，就能很準確的知道那個物體，將於甚麼方向，和甚麼速率上動着。靜止是力的平衡狀態：一面的力拉着；一面的力抵着；兩方面的力剛剛敵得過，所以就靜止了。譬如擺在桌上的書，地心引力總不時想拉它去的；但桌子的力却將地心引力抵制着；於是，書就靜止了。

牛頓的運動定律第三條，也叫反作用定律說，動和反動是平均的，相對的。這個定律，仔細想起來，實在是不滅律的另一種說法。當一顆子彈從槍口放出去

時，槍向後退的反動力，正可以作爲這個定律的最好說明：因爲槍向後退的動力的大小，與子彈向前出去的力量是恰好相等的。

這些定律，非常重要，總該知道一些，因爲宇宙的存在，是依賴着它們的。

二 萬有引力

一個東西從高空落下，它的速度的越近地面越快是由於地球的引力而來；行星環繞太陽作圓周運動，它的向心力由太陽的引力而來。宇宙間一切物體相互之間，均有這種作用的力存在。引力舊稱吸力、攝力，也就是萬有引力或宇宙引力。萬有引力定律是可說和世上大部分的運動，都有關係的。英人斯賓塞（Herbert Spencer）曾說，這是宇宙因之而得平衡的定律。形成宇宙的諸天體，是因為有了它而才得平衡，才得穩定的。那末，它的奇妙與偉大，我們也可從這點認識了。

引力是獨往獨來，不受任何干涉的：不能用距離去取消它，也不能用障礙物去阻止它；也不能用熱度去影響它；也不能用化學作用去改變它的。曾經有許多人化過許多心血，爲了要知道究竟有甚麼方法可以破壞它？可是用盡了各種方法的結果，還祇得到一個失敗。——除了不能破壞它之外，同時我們也不能管理

它。假使我們能夠加以破壞或是管理，那末我們就可做出些異乎尋常的事情來了。譬如一個蘋果不再會從樹上掉下地來；飛機也祇要用些少量的燃料發出力來抵抗空氣的摩阻，就可自由飛行，不會有什麼東西可使它落下來了。不過，這個時代，或者會到來的；因為在電學的研究上，現在已有一些希望的預兆了。

萬有引力律固為牛頓所發見，但動的科學的真正開始者，却不能忘記伽利略（Galileo or Galilei）。他十九歲的時候，在比薩（Pisa）的教堂裏，看見一盞掛着的銅燈在擺動；這在一般人是不會加以注意的，可是一到他的眼裏，却好像得了甚麼啓示似的了：他馬上將一個手指按在另一手腕的脈息間來測驗燈的每一擺動的時間；測驗的結果，知道燈的擺動，不論或大或小，每一次的時間總是一樣的。這是動的科學中的一個最重要的發見。過了五十年，他就把這個發見應用起來，憑藉一個擺動不絕的鐘錘，造成了一個鐘。鐘擺動的事情是值得注意的。鐘錘靜止時，它的頭總是最近地心，引力也因此便感滿足，不再發生甚麼事情。然而我們若是推它一下或是拉它一把，它就會動個不歇了。這個道理是這樣的：鐘擺到一頭時，地心引

力要它落下來；它越落越急，這時，正在集合着一種力量，這種力量，叫做主動力。它有這主動力，足夠反抗地心引力而有餘，所以它落到最低的地位時，不但不會停止，而且反要向另一端擺動了。它向另一端擺動時，它的力雖沒有消失，却正在變着，當它擺動到另一端的最高點時，主動力就都變成了潛伏力，潛伏力在它回向原來的一端擺動時，又變成了主動力。這樣的前後變動，使鐘錘便會擺動個不息。不過，這種擺動總要漸漸慢起來的；到了最後，仍舊要恢復到靜止的狀態。因為它力量，要在掛鐘的地方因磨擦而喪失，也要因空氣的抵抗而喪失的。

從前的人，曾經有過想造永久能夠會動的機器的企圖。可是到了後來，這個企圖仍舊不能不加以放棄。因為力也像別的任何東西一樣，不能從無中生有的；要用多少力，必須要有多少的力的來源。譬如我們提筆寫字，假使我們能夠算出因寫字所化的力的數量來，一定會等於身體中因寫字而燒去的碳質，這碳質是從糖質中來的。一切生物，一切機器，都不能從無中生出一些力來。有結果總有原因；有原因定有結果；有多少力，才能做出多少工作；力是永生不滅，只能改變

形式的。鐘錘的動力是我們在推它或拉它時授予的；我們的動力是從食物的糖質裏取來的；糖質中的動力是從植物裏取得的；植物的動力是日光射到它身上時的動力所造成的；日光的動力又是日體中許多原子所造成的；力的來龍去脈，釐釐着實，絲毫不爽。

伽利略還有一個發見，也是非常重要的。大約二千年以前，希臘大思想家亞里斯多德(Aristotle)說，一個十磅重的球和一個五磅重的球，若同時在高空掉下，十磅重的球到達地面時，五磅重的球却好只落到一半的地方。這句話一直被入相信着，誰也不起懷疑。但伽利略却不肯輕易相信這句話，而且提出相反的意見來。有一天，他還在比薩斜塔上當衆加以試驗，同時從塔上丟下許多重量不等的球，結果，它們都能在同一時間內着地。可是，事實雖然擺在眼前，沒有錯誤；但當時的人，總以為這是偶然的巧合，不但不相信他的意見，反而給予不應該的譏笑！然而現在的我們，已經明白了。球越大，它的力量，固然也會越大；不過要移動它的工作也一定跟着增加的：所以不論有多少東西，在地心引力範圍

內落下來，速率是一定會得相同的；不問它是甚麼，速率總按着同樣的度數，在每動中漸漸增加起來。

此外，伽利略還有一個重要的發見。亞里斯多德曾說東西的下落與上升，是由於輕重的關係。重的如一顆槍彈，總要落下；輕的像熱空氣，總要上升。伽利略也認爲這個說法是不對的。他說，宇宙間的東西的所以有重量，是因為引力在各方面向各種東西活動着的緣故；骨子裏是實在沒有甚麼輕重的。空氣上升，氣球上升；木頭浮起；竹竿浮起；並不是它們自身沒有重量，只爲了它們的重量，比了它們四周的東西所有的重量要輕些；因此它們四周的東西落到它們的下面而將它們抬起來了。

這是非常奇妙的事。伽利略不得到一個人的幫助而能見到有動的地方就有力。這個動中有力的說法，就是全部動的科學的基礎。不過，動的科學的正當名詞，我們是稱爲力學的。

三 長度、質量、時間

科學不過是一種測量。要學科學，不可不知道測量的方法。

凡有大小多寡可以計量的叫量。如欲精確地解釋一種物性或物理現象時，必須先將其大小多寡之量求出；這種量，我們稱爲物理量。例如面積、體積、密度等爲物性的物理量；速度、加速度、力、功、功率、熱量等爲物理現象的物理量。物理量的種類雖然很多，但大概的分法，只有兩種：由基本概念而得的叫基本量；由基本量誘導而得的叫導出量。自然現象既不能超越空間、時間及物質，則其變化中出現之量，都可由這三種基本量誘導而成。——空間可由長度決定；物質可由質量決定；故長度、質量與時間，就是我們所要知道的三種基本量。

若要表明某量的多寡，必取其同類的一定量作爲標準；這個標準的名稱，叫

做單位。某量如爲單位量的若干倍或若干分，則若干倍或若干分就是某量的數值。量的大小與其數值，不可混同：大小本有一定；而數值則要看它所用的單位爲轉移的。學術上所用的量，種類雖然不少，但爲便利計，通常僅選少數單位作爲基本，其他單位則由此少數單位導出。所選的少數單位稱爲基本單位；由此導出的單位叫做導出單位。我們所選的少數基本單位，即爲三種基本量的單位，茲分論如下。

長度單位是各國不同的，其中以英、美的最爲繁複；而且有些名稱，簡直是令人莫名其妙。英、美的商人，使用這種令人莫名其妙的煩複度量，去計算他們的貨物，不但不顧到別人的便利與否；而且還因爲別人的度量不和他們的一樣，就說別人愚笨：真是笑天下之大話的事！

現在的各文明國，對於度量的採用，逐漸一致起來了。這種新的測量制度，叫做米突制度。這個制度本是法國創立，以地球子午線的四分之一爲基本，取此基本的一千萬分之一爲長度單位，叫做米突。米突的分法，都是十進制的。這是很便利的事，因爲我們有十個指頭，所以數起東西來，也應該用十進的。我國的

舊式度量，也是十進制的；而且以縱累百黍之度爲一尺：比之英、美以英王的手臂之度爲碼，也畢竟自然得多。米突的分數，或米突的倍數，都有爲各國所公認的專門名詞，例如米突的十分之一叫特西米突，百分之一叫生的米突，千分之一叫密理米突；十倍叫特克米突，百倍叫海克米突，千倍叫啓羅米突。

我國加入萬國度量衡同盟會後：名米突制度爲標準制；米突爲公尺；特西米突爲公分；生的米突爲公分；密理米突爲公釐；特克米突爲公丈；海克米突爲公引；啓羅米突爲公里。同時又爲適合民情起見，又於十八年頒布市用制，市用制一尺爲一公尺之三分之一。

標準制的好處，就是別種測量法，也可以用它來做根據。譬如重量或容積，我們可用一種物體來作標準，而這種物體的大小，却根據於公尺的。所以重量、容積、體積等等，知道了一種，就可知道其他兩種；計算的麻煩，便可減去許多。英、美諸國以品脫、瓜脫、加倫爲容量制度；以克冷、打蘭、溫司，磅爲重量制度；它們之中以及和碼、吋等，是絲毫無關的；除了使人感到混亂而無頭緒

以外，絕無好處可言。假使他們老是抱着偏見，不肯改變計算的方法，則用標準制一天可以做了的事情，到了他們的手裏，就非化一星期的時間是不能成功的。所以科學家不歡喜用這種計算方法。我國的舊式容量、重量和長度是有關係的，不過欠合科學化一點，所以我們就放棄了它改用標準制了：這是我們的聰明處。

現在的標準重量單位，我們以水來作為標準的，因為水是人生最重要的東西，而又是各處相同的。況且水還有一種特別的性質，它在百度表零度以上四度時的密度為最大。我們就以一公分的純水，在四度時的重量為質量的單位。這種單位叫作格蘭姆。格蘭姆也是十進制的：格蘭姆之上，分為特卡格蘭姆（公錢）、海克脫格蘭姆（公兩）、基羅格蘭姆（公斤，一公斤合我國二市斤），邁里格蘭姆（公衡）、貴里特（公担）、脫因（公鐵）；以下分特西格蘭姆（公釐）、生的格蘭姆（公毫）、密理格蘭姆（公絲）。

百度表即攝氏溫度計，也是由此造成：表上的零度，就是水的冰點；百度則為水的沸點。這表不論在科學上或平常的用途上，均有最高的價值，但一般人仍

沿用着華氏的溫度計，真有些令人想不通了。

我們有時候用重量，有時候用質量。但就普通一般的習慣說起來，重量一詞似乎比較合宜些。在表面上看起來，重量和質量，同是一樣東西，但就實地上的研究，它們却是完全不同的。因為重量由地球引力而產生；而質量是物體中的物質的實在數量。如果引力一旦斷絕了，重量也要跟着消滅的；但質量却和引力無關，永遠不會變更。譬如一件東西在平地上稱起來是一斤的；在高山上升起來，就要輕於一斤；在深谷中稱起來，就要重於一斤；重量是以引力為轉移，而引力又因距離地心的遠近而變遷的。所以若將一斤重的東西在月球上升起來，一定會更輕；在木星上升起來則稍重，在太陽上升起來一定會增加好幾倍。稱出來的重量雖然不同，但它的質量是永遠不變的。

時間的計算，我國是開始於黃帝的時候，那時的計時器叫漏刻，以一百刻為一晝夜的總時間。自漢以下，曆法漸精，又分一日夜為十二時。明朝以後，西洋鐘錶輸入，漏刻也就漸漸不用了。時間的計算法，也曾有人想採用過脈絡震動的

次數；可是又有人以為太覺勉強，不如將天然的晝夜，作為根據來得方便。天然的晝夜，雖非一定不變；但地球的旋轉總是一定的。它旋轉的速度，雖然有潮汐做它的停輪機（即制動機，亦稱輪掣，俗稱殺車），年代久了，要漸漸的緩慢下來；但相差之數甚少，實際上也沒甚關係。我們將一天分為二十四段，每一段稱為一小時，每小時又分為六十段，叫做分；每分又分為六十段，叫作秒。所謂秒，就是地球自轉一周的時間的 $\frac{86,400}{60}$ 小段之一。以秒為測量時間的單位，已為各文明國家所公認，這委實是微倖的事。假使有人以為這個單位為時太長或太短，想要改變一下，恐怕這個人一定要被人目為愚魯，或者不識時務，有意搗亂的了。

以生的米突為長度的單位；格蘭姆為質量的單位；秒為時間的單位；攝氏溫度計一度為溫度的單位；這樣聯合而成為厘米克秒制；或為簡便起見，各取其英文之首一字母而寫作 C.G.S. 制也可。我們把它們集合起來講，必會發生許多有趣味的事情。譬如我們說，某人在若干小時內，走了多少路，將這兩樣混合起來看，則某人走路的快慢，自然可以不言而喻了。在科學上，往往將方向同快慢

兩種意思，包含在一個詞內，叫做速度。所以速度比較快慢這個名稱的意義是要寬廣些的。譬如說，一個人進行的速度與他人相同；這裏所說的速度相同，不是專指快慢相同，就是方向也是相同的。

但是，我們在這裏且把速度攔起，來談一談快慢。在自然界中，物體運動的快慢，有時漸漸減少，有時漸漸增加：例如，物體向上拋擲時則減少；向下掉落時則增加。所以我們若從極高的地方掉了下來是很危險的。俗語說：「爬得高，跌得重。」就是這個道理。任何物體因地球引力而掉下的，其每秒間增加的速度是九百八十公分；依照這樣設想，雨點或冰雹打着我們的身體的時候，是很可怕的了。——不過，我們的地球的四周，從包裹着厚厚的一層空氣的，雨點或冰雹穿過空氣時，速度是要被空氣的阻力減小。而且掉落得越快，則空氣的阻力也會越大。在跳台上初學跳落的時候之所以要攜帶一把張開的雨傘，爲的就是這個緣故；因爲傘與空氣接觸的面積很大，落下的速度就會減小的了。飛行者所用的降落傘，也是根據這個道理造出來的。

引力雖不能爲別的東西所隔斷，但它並不是天地間唯一的力。不過天地間的物體，無一不在它的勢力範圍之下罷了。物體靜止時，其中必有另一種力，足以抵抗地球的引力的；我們講到這裏，所說的靜止，就可以得到一個新意義了。

靜止是運動的相對名詞。天地間的物體，因吸力的作用，總是繼續運動著，並沒有靜止這一件事。桌子靜止於地板上，就表面上講，似乎並沒有錯；但實際上討論起來，它却和地板和地球一同運動着。所以，我們說桌子和地板是靜止，只是對地球比較而言，是相對的，不是絕對的。從此，我們可以明白靜止是沒有真實的，只有比較的了。

物體的靜止和運動，都不過是力的作用。如果兩種作用的力，大小相同，而方向相反，物體就呈現一種靜止狀態。若是兩力不完全平衡，物體就有動作出來了。

物體受了力的作用而不發生運動的效應時，叫做物體的平衡。平衡有三種。一種叫穩定平衡，它雖然可以因外力而變更位置，但外力一鬆之後，它仍舊自能

恢復原位置的，不倒翁正是一個極好的例子。另一種叫不穩定平衡，這種平衡的例子，正可用雞蛋來做，因為雞蛋，我們雖然可以用手扶它直立，但手一放鬆，它就要倒下來的。還有一種叫隨遇平衡，這種平衡，也叫中性平衡。它在靜止的時候，固然屬於穩定平衡；但稍稍加以推動，它却是要移動位置後再事靜止的；可是因為它動後不復原位，所以不能叫作穩定平衡；又因為它動後就會停止，也不能叫它不穩定平衡；它是隨遇而安的，就以隨遇平衡名之。

玩過軒輊板的人，一定可以明白：板的一端坐一小孩，他端坐一大孩的時候；小孩的一端自然著地；小孩的一端一定被高高舉起。若要使板平衡，只須小孩不坐在板的盡頭，稍稍坐進一點，小孩的一端自會低下，小孩的一端就會上升使板成爲平衡的。這是我們應該知道的極重要的事情。如果小孩更坐進一些，小孩的一端却要着地，小孩的一端反而要高舉起了。這種情形，我們可用以解釋槓桿的原理。剪刀、鉗子、秤，都根據這個原理造成的。

不論是靜止或運動的物體，通常總有一二種以上的力。想去變更它的位置或狀

態的。但這種力，未必完全平衡。如果平衡了，運動的物體就會靜止；若是不平衡，物體就要運動了。運動的狀態、快慢、方向等等，我們都不可不研究的。一個物體為各種不同的力所作用的時候，我們若要斷定它的方向如何，當然是一件難事，不過，我們要是把運動定律研究過了，困難也不難打開的。每一種力，總有其自身的價值，這個價值，而且也不會因所處的地位複雜而改變的。所以，我們如果知道無數的力的大小和方向，那末，物體要向何方運動，快慢如何，就可推算出來，換句話說，運動的速度也可知道了。

上述種種，都是很有趣味的；我們若將一種運動的實事，有一定方向，一定快慢的，例如將行星來作證據，則要更加覺得重要了。動律的第二條上說，物體的運動是依一直線進行的。我們若用繩的一端縛了一塊石頭，而以他端握在手裏旋轉起來，這石頭並不依一直線進行而要成爲圓圈進行了。要它成爲直線進行，非繩斷了或手放開不可。行星環繞太陽旋轉的道理也是如此。論它的本性，原是要依一直線進行的；但因爲有引力拉住它，它就不得不被逼着而走圓圈的路；

正和石頭被縛在爲手所握住的繩上的情形一樣。縛住石頭不使它飛去的繩子的作用，等於太陽拉住行星的引力的作用。太陽的引力有把行星拉向裏去的趨勢；行星也有一種力，想抗拒太陽的拉扯，而依一直線運動；我們名前者爲向心力；後者爲離心力。有了這兩種力同時作用於一運動物體時，則這種物體是要作圓圈進行的了。

四 重力與比重

重力，就是地球對於各物體的引力。依萬有引力說，宇宙間的物體，都有互相吸引的力；所以地球與地球表面上的各種物體也常常互相吸引着的。不過，地球的質量大，各物體的質量小，因此各物體對於地球的引力作用不易表現；地球對於各物體的引力作用特別來得顯著而發生各物體常向地球表面墮落的現象，好像各物體自有其一定的重量的樣子。這種地球對於物體的引力，稱為重力；或地心引力，因為它的方向是向地心的。普通也稱為物體的重量。

世界各處的引力是不同的。從科學上看，地球是橢圓形的：兩極地方較為平坦；赤道部分比較膨脹。換句話說，兩極地方比較的近於地心；赤道部分要遠一些。引力的大小，與離地心的遠近是成反比例的：所以任何物體在兩極地方要比較重些；在赤道部分要比較輕些。地球是永遠在旋轉着的，在二十四小時內，它

必定要旋轉一周。若是在南極或是北極地方，懸掛一個物體於離極心五六吋處，使它跟着地球旋轉，那末它於二十四小時之內，還只在空中畫了一個小圓圈。若將這個東西，移到赤道上去，則就要大不相同了。在赤道上，地球的圓周長度，大約有二萬五千哩；換句話說，在二十四小時之內，近兩極上的物體，不過走了幾吋，而在赤道上的已經走過二萬五千哩了；每一小時，竟要走上二千多哩呢。

任何物體在作圓圈運動時，都有一種離心力，運動得越快，它想飛出去的趨勢也一定越大。換個說法，物體越近赤道，它的離心力也要越大，因為在赤道上的物體是運動得很快的。離心力是與地球引力相對抗的。所以任何東西的重量，若在赤道地方稱起來，它的分量是要減少的。因為赤道部分離開地心較遠，引力也要減小；而且又因離心力對抗着引力；所以物體的重量也不得不較在兩極地方減輕一些了。在這裏，我們又得到一個好教訓，知道物體的輕重問題，不但與引力作用有關，而且還有別的原因的了。

比重的意義，就是用一個簡單的名詞去表明一種物質，和它在空間所佔的位置的比例。譬如一磅鉛，在空間所佔的位置，比一磅木頭所佔的位置要小；也就是在同一地位上，鉛的質量要比木頭多些，因為鉛的質量是很緊密的。這是十分重要的問題。許多物質的功効和能力往往因比重的關係而不同。有的東西會浮；有的東西要沉。如將熱水倒入冷水盆中，熱水能夠浮在冷水上；若將冷水倒入熱水盆中，冷水就要沉入熱水的底下去了。我們肺裏所呼出來的熱氣，會升騰到冷空氣上面去。氣球可以飛升空中。這種種事實，都是比重的關係。

我們用來作為比重的標準的，仍舊是攝氏四度時的純水；因為純水在攝氏四度時的密度和收縮性最大。我們為方便計，就將這純水在攝氏四度時稱呼為一，於是凡在同一容量內，那東西的比重，若二倍於水的，就稱呼為二；其他可由此類推。依牛頓所說，任何物體的重量，都是靠着引力；而引力的多少，又都是靠着物質的質量的。所以我們比較物體的重量，實在就是在比較物體的質量。

我們要知道形狀有規則的東西的比重，並不困難；但，若是碰着凹凸不堪的

奇形怪狀的東西，那就要感到麻煩了。我們對付這種東西，唯一的法子，就是把它浸入水中，看它所擠出來的水是多少。

液體的比重測量法是很重要的。考察牛奶裏有沒有攪水；酒中含有多少酒精等；都可應用這個法子的。測量各種液體的儀器，叫作浮秤，也叫比重計。它是兩端封閉的一支玻璃管，管上刻有表示比重的度數，好像溫度計的樣子。上部小而下部大，下部末端有一個充滿水銀的小泡，所以在液體中能夠直立而且浮着。當它放入一種液體中時，如果這種液體是重的，它那沉下部分便短一些；如果這種液體是輕的，它那沉下部分便長一些；我們就它的管上看了沉下的度數，便可明白這液體的比重了。這種浮秤，通常所用的有屠華德浮秤，波默浮秤兩種，所以用浮秤來表示比重時，我們是不說它比重為若干而是說它屠華德的若干度，或波默的若干度的。還有一種叫尼科爾孫浮秤，它可以測量固體也可測量液體的。它的構造，可分四個部分：最上部是一個金屬盤；盤下是連着一支金屬棒，棒的中央有一標準的標記；棒下為中空的金屬圓筒；筒下為一圓錐形的金屬重盤，

因為盤重，放在水中時，便能直立浮游了。應用時，先將我們要求比重的東西在水外稱過，然後再放在重盤裏，沉入水中，另於金屬盤上添加砝碼，使金屬棒沉到標記處，我們就可從這些砝碼上結算出比重來了。

此外還有一種測量比重的儀器叫做比重瓶。它是有一定容積的小瓶，能夠容納標準溫度的水一千克冷（克冷 *Cent*，也譯作格林，也叫英釐，也寫作厘，一克冷合 0.0648 公分）。瓶口有塞，塞上有極小的孔，瓶中盛滿水時，一塞緊塞子，則多餘的水就可以從孔中溢出，所以瓶裏的水總是一定的。應用這瓶去測量一種液體時：可先將瓶的重量稱過；然後將水倒進去再稱它的重量：這兩個重量相減，就是水的重量。倒出了水，倒進要測比重的液體，再稱它的重量：這個重量減去瓶的重量，就是液體的重量；又將水重去除液體的重就可結算出比重來了。這瓶也可用以測量細碎固體的比重。譬如我們要測量一個槍彈的比重是少，可先將槍彈，稱出重量，然後將它放入盛滿水的瓶中，看它擠出來的水是少。——這被擠出來的水的體積，是和放進去的槍彈的體積相等的。我們求得了

擠出來的水的重量，再去和槍彈的重量相比較，就可結算出比重來的。倘若槍彈的重量是十一倍於所擠出的水，則槍彈的比重，就是十一倍。如果這槍彈是鉛做的，它的比重差不多就是這個數目。其他的東西，也可這樣求得。

我們把水假定爲一，凡物體的比重大於一的，就要沉入水中；小於一的，就會浮於水面；若是和一差不多的，它浮於水面之先，必須沉下若干時，才能慢慢的浮起來，茲將尋常物質的比重，列表如下：

固體類的比重表

鉍	21.5	鎢	19.6
金	19.3	鉛	11.4
銀	10.5	鋁	8.9
銅	8.9	黃銅	8.8
鐵	7.4	錫	7.3
鋅	7.1	金鋼石	8.5

大鹽石	2.8	玻璃	2.6
鋁	2.6	鉀	0.9
冰	0.9	橡樹	0.8
鋰	0.6	松樹	0.5
橡木塞	0.2		

液體類的比重表

汞	13.6	二硫化碳	12.9
硫酸	1.8	鹽酸	1.3
甘油	1.3	血液	1.1
牛奶	1.0	海水	1.0
石油	0.8	酒精	0.8
汽油	0.7	以太	0.7

至於氣體，它們有自己的比重的。它們是以氫作為標準氣體；定氫為

一，於是氧爲一六；空氣爲一四。四：這就是說氫的重量爲氧的十六分之一；爲空氣的十四分之一。有時候也將一定溫度的空氣，當作標準氣體的。

氣球充滿了氫，可以上升空中；但它上升的高度，却有一個限制：因爲空氣密度，是隨高度的增加而減低的；換句話說，就是空氣的比重，漸漸減低了。到了一定高度時，空氣的比重，或者和氫相等，甚至於比氫還少，連氣球也托不住了。

關於氣體比重的話，有了這幾句話已經夠了。但於固體、液體，還有幾種重要的事情，不可不特別注意。

各種固體物質，並不都是很重的：例如鉀、鋰的比重竟小於一，能夠浮於水面。講到冰的比重，也比水小，因爲水冷到零度時，體積是要膨脹起來的。此外，鋁的比重，要算是金屬中最輕的；因爲鉀、鋰，祇有在實驗室裏才有純粹的東西。若將鋁和鐵相比，它是堅硬而不笨重的東西，產量也多，僅次於氧和矽而已，在元素中佔第三位：所以它是最重要而且是最有價值的，製造理化器械，醫

療器械都少不得它，它還可與別種金屬熔合而成種種合金。

至於液體中的汞，就形態講，它是金屬中最特別的；就比重說，它不但是液體中要佔第一位，而且有許多固體的東西，也無法和它相敵的。除此以外，有幾種液體的比重，也很重要，例如，在化學上要用以太或硫酸作為特別的用途時，這兩種液體，一定要有某種的比重才能合宜。

若將牛奶和血液比較時，牛奶中所含的水分要比血液裏的多一些。血液是常有一定的比重的。如果血液的比重不一定，則全身的作用，就要不能如法調理了。水分對於生理也是很要緊的。因為若無水分，全身的液體，就要被抽到血管裏去，調濟血液的密度，使它不至過於濃厚。假使水分太多，全身的機關，尤其是肺、腎、皮膚，也要羣起運動，排出多餘的水分，不使血液的比重減低。——倘使這多量的水分是在身體中製成奶汁的，那末，身體裏的腺就要起而活動做榨水的機器了。缺少奶汁的婦人，爲了增加奶汁的數量而多喝米湯；農家爲了要增加牛奶的奶汁而給牛多喝淘米泔水；就是這個道理。不過這種奶汁的比重，却要因

此減低，滋補的作用，也就要微弱得多了。

至於海水，它的比重，和牛奶幾乎不相上下，祇比高級動物的血液稍稍輕些。這個原因，可有兩個解釋。從歷史說，各種生物的生長，大都發源於海裏，所以將現在的我們的身體裏的血液，去和海水作比較，實在是有興趣的事。這種事實，不但是對於生物的比重有關，就是對於它們的天性，和所含的鹽質的分量，也有密切的比例的。第二種關於海水比重的事情，就是它們對於游泳的影響。因為游泳與飛行，都是一種比重的問題。空氣比重越輕時，則飛行較高；海水也是這樣，水的比重越輕，則游泳也容易得多了。

五 重 心

地球的引力，還有一個專門名詞，叫作重心。任何一個物體，其中必定有一點，可以使全體物質平衡的；這一點就是重心，或者也可稱爲物體的中心點。

圓球的中心點，就是它的重心，這是最簡單的，可以不必多說。如果是一塊四方的物體，它的質量和厚薄，通統是一樣的，若要求它的重心時，我們可用一根線縛住這物體的一點懸掛起來，倘使這物體左右前後都能平衡，則這一點就是重心。要是我們遇到形狀極不規則的物體，要找它的重心，可用這樣辦法：先將這物體的任何一角上，縛了一條線懸掛起來，等它靜止時，由線端引長下來作一條虛線；此後再另取一點，依前法作成第二條虛線；這兩條線的交叉點，就是這物體的重心了。因爲重心祇有一點，又同在二直線上；而二直線的交點，祇有一個地方：所以我們一定可以相信，交點和重心是合而爲一的。其他，像石板之

類，也可用這個法子去試驗的。

若是我們要在人身上找求重心，自然很不容易，因為肢體太複雜，形狀太不整齊，而且各部的密度，又有種種不同。可是，經過許久時間的研究結果，我們也居然找到重心的所在了。原來人身的重心，是在從膀關節中心到地的一條垂直線上。假使重心不在這條垂直線上而在這線的前面，則我們的身體必至向前傾倒了。牛馬的不能直立，就是這個緣故。嬰孩也是這個樣子；他們一定要等到長大了，背脊骨才漸漸向後仰轉去而直立起來；至於不因向後仰轉去而致向後傾倒的緣故，則賴乎膀關節前面的一組特別的筋的支持。人們生活於地球之上，對於自然的定律，不但沒有違背，而且還十分服從的；所以能夠自由活動，像一種機械自動一樣，完全是在乎構造得巧妙罷了。

平衡有穩定、不穩定、隨遇之分，已經在上面講過；我們若用重心去解釋它的原因，就可懂得更清楚。簡單地說，物體的重心，被外力提高時，這個物體就處於穩定平衡的地位；被外力逼低時，就處於不穩定平衡的地位；這種解釋，只

要想像重心就是物體重量集合的地方，便可以明白的了。以雞蛋為例，可以說明各種情形。在極短的時間內，我們固然可使一個蛋直立於平衡的地位，但一有小小的震動，它的重心就要降低而變更它的位置的，這就是一種不穩定平衡的例子。它也能夠橫臥。假使蛋黃永遠不破而處於中心，它也會在桌上滾動，直到空氣的阻力，桌面的摩擦力阻止它停下來的時候：這就成為隨遇平衡的態度了。若是我們變更了它的位置，不使它滾動而要它直立起來，不必多變時間，它就要左右擺動而倒下，恢復它原來的位置的。這原來的位置，就可說是穩定平衡。因為當我們變更它的位置時，它的重心就因而提高；手放鬆後，它就降低了重心，恢復了原位：它在這個原位上，它的全體物質和地心相近，地心引力就可反抗要改變它的位置的外力了。

物體的平衡，以重心為轉移，這是非常重要的而且為我們所必須明白的事情。有時，船在風浪平靜的水裏發生覆沒的危險，就是由於坐船者太不解事的緣故。若要免除這危險，最簡單的規矩，就是坐船者切不可三四個人一同直立船上；人蹲

得越矮，船便可以越覺平安。因為船的重心，若在人的膝蓋以下，好像不倒翁的有一個很重的底部一樣，一定不易翻轉；即使上下簸動，也不要緊的；因為它已處於一種穩定平衡之中。外力的作用，只想提高它的重心，不是要改它的重心。人若直立船上，船的重心就要高起來；這時若遇外力侵襲，它就要因為重心降低而翻轉了。要是船上祇有兩人，而且立直在一塊，那是尤其危險的事。——有許多年輕人的慘遭沒頂，都是在這種情況之下發生的。船若是有兩層，船家總要把貨物裝到下層去，也是這個道理。一般乘客，祇怕貨物放在下層，會受到損害，硬要將貨物移到上層的舉動，實在是不顧安全的行爲。

近來，造船的人，有了長期的經驗，已能應用平衡定律，使救生船達到盡善盡美的地步。至於潛水艇的成功，尤可證明平衡的學理，已被極端的利用了。——但是，講到飛機，似乎仍有許多困難；地球的引力，要它下來；空氣的阻力，要它不能前進；還有壓力，不許它上升；由空氣所生的風，也是一般的給予一些困難。可是，人究竟是聰明的，現在已從飛鳥的行動上，得到極好的教訓，也能

夠使飛機可以在天空中顛倒上下的翻筋斗了：這委實是駭人聽聞的事。

我們所講的，總不能脫離引力的勢力範圍，因為引力是各個問題的起點，比較飛機和船隻的問題，要重要得多。但是，天地間既有這種無窮的引力，吸住一切物質；而且又使物與物互相吸引着；那末為甚麼世界上的物體，不會併作一團，成爲一個極大的固體，却仍零星散處於各方呢？這個問題，有新舊兩種說法。

舊的說是天地間的東西，將來總有一天會要併合成爲一團的；現在之所以還是散處着的緣故，因為時間不夠而已。這個物有始終的學說，被大家相信了許多年；直到半世紀前，才由英人斯賓塞(Herbert Spencer)提出異議來，他說，我們雖然現在還不知道天地間另有些甚麼力，足以抵抗引力，但我們一定可以相信天地間確有這等的力的存在，而物質的歷史，一定是成爲一種韻律，如海裏的波浪，滾滾不絕的，正像聖經上所說，自永遠到永遠。——現在，我們不必專門注意於地球引力作用的結果；只要這麼想，要是沒有反抗引力的力在活動，宇宙間的東西，將來一定要併合成爲一團；而現在的事實上却沒有這個趨勢，可知一定是另有一

種反抗力的了。例如光綫是有力的，其他輻射熱，以及別種發光體，都有一種力存在的。這種力，叫做輻射的壓力。輻射的壓力和引力，對於人生和物質，有同等的重要。

壓力和引力，處於一個絕對相反的地位；在一方面看，似乎引力比壓力強大；但從另一方面去考察起來，壓力實在強於引力，它能使一切東西散處各方。——更重要的一點，它還會改正我們的宇宙觀，因為從此以後，我們不再相信天地有始有終的說法，而相信天地是無窮無盡的了。

六 氣 壓

壓力不止一種，這裏想談的是大氣壓：大氣指地球周圍的空氣全體而言；大氣壓或氣壓，都是大氣壓力的簡稱；它是諸般流體壓力中的最重要者，我們必須明白它的。

物質有三種態度，固體、液體、氣體。液體與氣體，頗有相同的地方，例如它們都能夠流動；所以又合稱流體。固體的物體，有一種叫做分子力的力，可使分子與分子之間，有相互的作用，不變其一定的形狀。流體是沒有的。

我們生長在大氣海洋之下，跳不出大氣壓的勢力範圍；要是能夠在大氣中游泳一回，像飛機所做的，我們就驕傲極了。

氣壓所做的最重要的事情，就是使我們有呼吸的能力。當我們用一種運動，使我們肺裏的東西，盡數抽出時，肺裏就留下許多空洞的地方。這種空洞的地

方，全靠氣壓的作用，將外界的大氣，直接壓進肺裏去。否則我們要想生活，也不可能了。這種事情，開始研究於三世紀之前，研究的結果，說這是自然的趨勢，叫做『天忌真空』(Vacuum，拉丁文，意思是空洞的地方)。發明這個事情的人，是意人伽利略(Galileo, or Galilei)的學生托里拆利(Evan Galileo Torricelli)。他的最大功績，就是說吸取唧筒所吸出的水，絕對不能高過三十三英尺以上；所以天忌真空，也有一定的限度。他又想到氣壓的作用，既能使水升高；也一定可以使別種液體升高的。於是他就用水銀來加以試驗，結果也隨上升；不過因為它的質量比水要重，升不得像水一樣高而已。

托里拆利的實驗，實在非常簡單。法用長一公尺的一端封閉的玻璃管一根，盛滿水銀，按塞管口；倒立於水銀槽中，就開管口；管裏的水銀，也跟着下降一些。但不論玻璃管是否直立，管內外的水銀面，總距離七六公分；再申說一句，這就是氣壓所能抵住的水銀柱的重量。水銀柱下降後所留下的空洞地方，我們稱為托里拆利的真空。這個地方，雖稱真空，其實，還是有許多物質充滿着，因為

水銀在真空中最容易氣化；所以其中雖然沒有空氣，而水銀的氣化分子是不能免的。有時，我們也確用種種方法防止水銀的氣化，使我們所得的真空，比較好些；不過無處不在的以太，總還仍舊有的。在這裏，我們對於真空的意義，又得到一種新的見解了。

水銀柱的高低，可以表示氣壓的大小。氣壓大時，槽內水銀面所受的壓力也大，逃入管裏的水銀柱就要增高；氣壓小時，水銀面所受的壓力也小；水銀柱也就降低了，所以托里拆利的實驗，不單是可以證明大氣壓力的存在，也可以當作一種測量壓力的方法。平地的氣壓比高山上的氣壓要大，因為高山上的空氣比較稀薄，所以壓力也就漸漸減低了：這和水的壓力一樣，入水越深，壓力也要加大的。

托里拆利以後，法人巴斯噶(Blaise Pascal)曾經帶着托里拆利所發明的水銀柱上下高山，加以實驗，結果測量出上山每十二公尺，水銀柱就要下降一公釐。上山越高，我們的呼吸就要越覺困難。這種呼吸困難的病，我們叫作山疾。所以在高山上睡覺，總要覺得不甚舒服，因為那兒的氣壓太小；在海洋邊睡覺的人，往

往覺得十分痛快，因為海邊的氣壓與人們的呼吸所需要的恰恰相合。不過人的身體，究竟是構造得夠奇妙的；據說若在高山上睡過幾天，就會產生一種紅血細胞來做從肺裏將氧氣運送到肌肉組織裏去的工作，以應付呼吸的困難。這是很奇怪的事，我們的身體，對於環境的適應，竟有如此妙法？

托里拆利所發明的測量氣壓的器具，叫做氣壓計，它的意思，就是重量測量器。因為氣壓的大小，和天氣的晴雨有關，所以又稱晴雨表風雨表，譬如，某處的氣壓十分大，則某處的天氣，一時還不會有甚麼大變化。若是氣壓過小，則別處的高氣壓下的空氣，就要被逼而來；於是風雨的現象，說不定就要發生了。——不過，天氣的變遷原因，並不止此一端；所以氣壓計所告訴我們的天氣現象，有時也不會絕對可信。因此，將氣壓計稱做晴雨表或風雨表，也不十分妥當的。

氣壓計又因地面高低的不同而要發生水銀柱的升降變化，所以也叫高山測量器。不過這個測量方法，並不好，因為必須親自登山，然後才能知曉水銀柱下降的數目。

最通用的氣壓計有兩種。一種叫水銀氣壓計，也叫水銀風雨表或晴雨表，這是直接用托里坭利管造成的；不過直玻璃管改爲曲玻璃管而已，曲玻璃管像一個U字形：但左邊的長而封口；右邊的短而開口，且有一膨大部的。放入適當分量的水銀於管內，固定於木板上，右邊管內的水銀面與大氣接觸而承受其壓力；左邊管內的水銀面上爲真空部分；相當於真空部分的木板面上，刻有度數。氣壓的增大或減小，可於左邊管中的水銀柱的升降上看出來：如天氣晴朗時，左邊管內的水銀柱驟降，即兆風雨；雨時忽升，即爲晴兆。

還有一種叫無液氣壓計，也叫空盒晴雨表。它是一個密閉而扁形的真空盒，表面爲金屬薄膜，會依氣壓的大小而起伸屈的。另用極精巧的槓桿裝置，將此伸屈的動作擴大起來；槓桿的一端有一指針，因槓桿的運動而沿刻有度數的圓盤轉動：視所指的度數，就可明白氣壓的變化了。無液氣壓計的好處，在乎便於攜帶，所以用它的也比較的多。

無液氣壓計還可用好幾個重疊起來造成氣壓記錄器（或稱自記無液氣壓計）。

它是能夠將各時刻的氣壓，在裝置於圓柱上的紙面畫出曲線來的，極便研究之用。

氣壓的重量，據計算過的人說，在我國北平地方，每一平方呎，大約有十四磅多些。假使空氣的壓力，都是下壓力，我們就要無法在天地間立足了。現在，我們所以能夠絕無損傷地生活着，因為四面八方的壓力都是相等的。換句話說，就是下壓力的強弱不但與上壓力相等，還和左邊右邊的旁壓力的強弱也相等的。要是不是這樣，我們的身體將要變成怎麼一個樣子，似非我們的想像所能及了。

我們若將一個小玻璃管加熱，使它裏面充滿了熱空氣，立即趁熱將管口着合在人的皮膚上，則管口裏的皮膚，就會高起來，成功一個小小的瘤。因為管裏的空氣被熱時，就會膨脹起來；冷了之後，又要收縮攏去，這時管裏的壓力，比管外的壓力小了。換句話說，就是玻璃管口裏的皮膚所受到的壓力，比全身所受到的壓力要小，因此就起了這樣的變化。——這個玩意兒，還可以作為止痛的一種

方法，譬如，在街頭替人治病的遊方郎中，每逢施行打針手續的時候，同時一定用一些紙頭在一個竹管裏一燒，然後把它着肉地罩在針上，使管口與皮膚相切合；於是竹管就像生在那裏了。等到手續完畢，取下竹管的時候，我們還可看到會被竹管罩住的皮膚，有過凸起的痕迹。——西醫所用的玻杯止痛法，不過用玻璃杯代替竹管而已；道理是一樣的。

小孩子用一方溼牛皮貼緊一塊小石頭，使小石頭附着在牛皮上的遊戲，也是同樣的理由。若是牛皮的一角懸起時，小石頭就會立即掉下，因為空氣可從懸起的一角進去了。——這個遊戲，如果在沒有空氣的月球上，就玩不成功的。

我們的呼吸，全靠氣壓作用，已經在上面提及過了。有時，我們想吸水入口，也是利用這個原理的。譬如，我們用一支麥稈吸汽水時，口裏這一端的壓力是很小的，而另一端的氣壓却很大，所以汽水就會從稈中上升了。如果我們用舌尖抵住吸水的一端，則稈中的水柱就會停住而不下墮，不問地心引力如何作用，它總能保持着原來的地位。假使舌尖一動，水柱就要立即下落，因為這時的麥稈

的兩端壓力都是相等了。

這個麥稈吸水的原理，和注射器及抽水唧筒都是一樣的。在抽水唧筒中，有一個活塞和筒的四壁緊貼着。當活塞上升時，內部的壓力，就漸漸減少；於是外面的空氣壓力就趁這個機會逼水上升以補其缺。要使筒裏的水放出來，只要增加它內部的壓力就行。

還有虹吸管的道理也是一樣。它是一支U字形的曲管做的吸水器，又名吸龍。我國也叫酒偷，據說是一個偷酒的人發明的。應用時，先將管中盛滿了水，然後再將一端插入盛水的桶中，另一端下放一空桶；這時，可見管的水會不絕地流入空桶裏去。管裏的水一面流去，桶裏的水因受大氣壓力的壓逼而上升管中補其空位；於是桶裏的水必至繼續流盡而後已。——爲簡便計，管中也可不必盛水，只須於一端插入盛水的桶中後，以口就另一端吸去管中的空氣就行。

氣壓是流質壓力中最重要，也是最容易了解的，流質的壓力，上下四方都是相等的：這是巴斯噶發明的。他是思想非常敏銳的人。研究數學的，研究物理

的，研究宗教的都要敬佩他，因為他的發明，不但奇怪的引人發生興趣，而且奧妙異常，想得出別人所想不出的。這等人物，實在是人類史上所少有的。

水也是流體，所以水的壓力也是四面八方相等的；魚類的能夠在水裏自由游泳，像我們人類在空氣中生活一樣，也是這個緣故。總而言之，流體的壓力是不關方向的。例如，我們將一個空瓶子用塞子塞住了口，沉於深水之中，不論瓶的位置如何放法，順也好；倒也好；斜也好；側也好；塞子定會被水的壓力壓進瓶裏去的。——至於固體所受的壓力，却止限於下壓力一種了。

液體和氣體，同為流體；流體的定律，大都為液體和氣體所共同遵守。不過這兩者之間，倒底有個區別，譬如說，氣體可用力將它壓緊，使它縮小；壓力一去，它的體積也會恢復。因為氣體是有壓縮性的；液體就不能這樣。

一六六〇年，英人波義耳(Robert Boyle)發明了一個氣體的定律，說，一定量的氣體，當溫度不變時，所加的壓力越大，則它所佔的地位就越小。換句話說，就是它的壓力增高了，它的體積便要縮小；壓力減少了，它的體積却要增大。

這個定律的意思，就是說氣體壓力的大小，是和它的體積成比例的。所以當氣體的體積縮小到極小的地位時，它們必定要起一種激烈的爆裂的事情。——波義耳定律又稱馬略特定律，因為法人馬略特（Edme Mariotte）於一六七九年又獨立發表與波義耳同樣的定律，所以才又有這個名稱。

但是，現在也有許多人證明，液體也同氣體一樣的有壓縮性的，不過它的壓縮性非常之小，若不用極大的壓力是無法變更它的一絲一毫的。氣體的壓縮性來得大，容易被人發見；液體的壓縮性過小，不容易被人發見：只是如是而已，說液體沒有壓縮性，似乎也是一種偏見，當不得真的。——在這裏，關於液體的話，不想再說甚麼；本篇就此結束。

七 熱 和 冷

熱是一種東西。冰加了熱，可以融化而成水；水加了熱，可以蒸發而成汽。又如把熱加在鐵上，鐵就會變紅色。但它却不是物質，因為若是物質，地球的引力，對於它必有一種作用；而它也有一種重量可以稱了。英人梅列笛斯（George Meredith）曾說：『若是我們用一個相當的名詞去代表一種東西，可以省去許多思想，免除若干煩惱。』所以我們把有重量可稱的物體，叫作有重物質；無重量可稱而實在有的東西，叫作無重物質。不過，在實際上，這些名詞，對於我們，仍無一點用處，因為我們並沒有依賴它們確實知道了些甚麼。

熱是沒有重量的；它不過是一種運動罷了。它是物質間各分子或各原子的往來擺動；就這一點，便生出許多奇異的結果。

譬如一桶水，它的內部溫度是有一定的；換個說法，就是它內分子的擺動

有一定的速度，擺動所及的範圍是不變的。若是加熱進去，水裏的分子的運動速率，就要增加。要是所加的熱非常多，則分子運動的速率就越加增大，擺動的範圍，也越加擴大：於是分子的能力，不能保持其原狀，就要由液體而變為氣體了。反一個面做，若把水的溫度漸漸降低，在若干時之後，它就要變做固體。因為水的冷卻，在乎熱的減少；熱減少了，分子運動就要停止，分子不能保持原狀，只好變個樣子，成爲我們所說的冰。

我們在水裏加熱，儘管可以加進去的；即使它已變成爲汽，汽還是能夠吸收熱的；至於它的限度如何，我們就無法知道了。若說減低了熱，却有一個限度，譬如水已冷得成冰；冰並不是已經絕對無熱，不過比水少些罷了；還是可以再減的。但是，減到冰的分子的運動力完全失去，冰就必定要降到一種絕對冷的地位。——這個絕對冷的地位，若用攝氏溫度計來表示，恰等於它的零度下二百七十三度的溫度。任何東西，到了這個溫度，就不能再冷了。

普通溫度計上的零度，並不是真正的零度；我們捨棄了真正的天然零度不

用，反將真正零度上的若干度認為零度，實在是毫無理由的。在科學上稱真正零度為絕對零度；以絕對零度為溫度的起點而計算溫度，叫做絕對溫度。例如攝氏溫度計的零度為絕對溫度二百七十三度；百度為三百七十三度。

任何物體，降低了溫度，它的體積就要縮小；縮小的多小，和降低的溫度成正比例的。所以從前的人，以為物體的縮小或增大，既與熱成正比例；則熱減至絕對零度時，物體也必成為零了。但是，現在的我們，已經知道，熱並不是物質，是加入物質中的一種不可思議的東西。熱雖然可以完全取去，而物質仍舊是存在的。不過在絕對零度時所留下的東西，却是物質的真正面目了。

在絕對零度下所留存的東西，是一種真正的物質的說法，不過是爲了否定熱度是零，物質也是零的話而已；實際上並不如何正確，因爲凡是物質的熱，並不是都可以降到絕對零度的。然而物質不能消滅的道理，我們却有許多證據可以找得出來。例如各行星的軌道之間的溫度，已經接近絕對零度的，可是那裏也有許多叫做宇宙塵的物質存在着，從這點看起來，物質即使到了絕對零度時，的確也

是可以存在的。又如我們自己也能夠使地球上的有些物質達到絕對零度的地位，可以看見絕對零度下所得的結果是甚麼。譬如使碳酸氣化爲固體，我們就可看見它的形狀，和冬天的雪相像。雪是水蒸氣的固體，所以兩種情形，實在是差不多的。

要使空氣變爲液體與固體，雖然不易，但也可以做得到的。液體空氣和水相同，不過比水要冷得多多。若是將它滴一二滴在皮膚上，固然無甚妨礙，然而絕對不能將手浸在它的裏面。要是把它用作飲料，那就危險極了。它的最大用途，就是作爲涼劑，可使他物降低溫度。在煤礦爆炸時，從事救護的人，必須攜帶着它，使它氣化，供給自己呼吸。液體空氣若再降低溫度，還可成爲固體，像冰的樣子。不過它比液體空氣要更冷了。但是，它離開絕對零度却還遠得很。

液化的工作，近來大有進步，不但可使氮化爲液體與固體；而且連氫那變強硬的東西，也可使它變爲液體與固體了。

我們研究這種降低溫度的時候，發見一件最有趣味最關重要的事情，那就是

使我們知道一切的化合作用，都要在一定的溫度之內，才能進行不息：太熱太冷，都是不行的。太陽裏太熱，一切原子，都不能化合；所以太陽裏只有原子而沒有化合物。反個面說，溫度降到極低時，原子的運動力也要一概停止的。

生物的生存，都要有一定的溫度；所以研究生物與溫度的關係是很要緊的。沸點的溫度，雖然比不上平常的火燄；至於比火爐裏的或是太陽裏的溫度，那就相差得更遠了；然而若是生物碰到它，已經覺得太熱了。英國皇家學會證明細菌在沸水溫度中，祇能挨過五分鐘之久；再長就不能生存。若在液體空氣之中，就是過了六個星期，還是活的。這樣說來，有許多的魚類、植物，細菌之所以能在冰天雪地之中還能生存的道理，也可恍然了。

生命常常依賴發酵作用以爲生活。這種作用有一種極強大的力量，能使它四週的東西起化學變化。不過它是最容易爲熱力所破壞的。譬如我們的唾液、胃液之類，沸到一二分鐘之久，消化力量就要完全喪失。這就是細菌被熱後不能生存的理由：因爲它們所依賴的發酵作用已經爲熱力破壞，雖然再予冷卻，也無法恢

復了。——若是放在液體空氣中，它的作用雖然一時停止；但它的機能却沒有滅絕的。發酵作用的暫時停止，只可說是暫時的死亡；要是機能不滅，仍有重新復活的可能。

我們對於小孩子的吃冰淇淋，雖不絕對加以禁止；但多吃總是不答應的：因為他們的熱力既不足以破壞那發酵能機；同時，我們又無法幫助他們使消化器官冷到極低的溫度，以停止那發酵作用；所以多吃畢竟是無益的事。

八 熱的分類

熱是物質中的分子的一種特別運動這句話，實在還祇講到熱這個詞所代表的一半意義，其他的一半尙未道及。所謂還有一半是表示以太中的一種特別波浪的。

太陽與地球之間，實在沒有甚麼物質存在的。這沒有甚麼物質存在的地方，但以太的腳迹，還是依然充滿其間。以太能夠做成種種波浪；波浪的大小和形狀雖然不同，但它們的性質和來往的速度却是一律的。例如我們可用眼睛看見的光波，可用觸覺感到的熱波等都是。這種光和熱，在科學上稱爲輻射光輻射熱的。它們在以太中經過的速度，大約是每秒鐘一八六〇〇〇哩；同時從太陽中直達到我們身上的。

太陽也是物質構成的；而這些物質，又正像別的物质，也都是由原子或分子組成的。太陽裏的這些東西，都非常之熱，熱度總在幾千度以上。太陽裏的分子

或原子，因為往來運動的速度很快，於是便產生了熱力。地球和太陽，雖然相距九千萬多哩，但因為地球和太陽同在以太的海裏，太陽的熱力在這海中所激起的波浪，自然不能不波及到我們的地球。可是我們所最徹幸的，就是這種極大的波浪，通過空氣的時候，受了空氣分子的阻擋，減低了許多的威力。假使我們的地球沒有空氣包裹着，像月球那變的樣子，我們就沒有人能够經得起太陽的光芒了。這種熱力，和其他的物質相接觸的時候，會使其他的物質也產生一種熱力；換句話說，被太陽光晒着的東西的分子或原子之間，也會起一種往來移動的特別運動的。所以我們摸着被太陽晒着的東西有一種熱的感覺，就是這個緣故。

看了上面一段話，對於熱之一詞所含的整個意思，我們總不會像從前那變含糊了；因為我們已經知道物質中的分子間一種特別運動所生的熱和以太所傳送的熱是不同的。而且以太波在千萬哩以外，沒有物質存在的地方，也能往來無阻的。

關於輻射熱的事情，現在暫且告一段落；下面再來講一講由物質中的分子或原子間的特別運動所產生的熱。這種熱的運動方法有兩種。其中的一種，可用糞

開水來做例子。當我們在鍋下不絕地加熱的時候，鍋底的水分子因受熱而膨脹，密度減小，向上升起；其他冷而密度大的移來補充，受熱後又向上升：這樣交相代替，熱也跟着傳遍全部；這種現象，我們叫做對流。

對流的傳熱法，我們可用蜜蜂採蜜來做比喻。蜜蜂在飛來飛去採蜜的時候，有一種因飛行而發出的嗡嗡的聲音，以這種因鼓動翅膀而來的聲音來比喻熱是恰好適當的。它們飛到那裏，聲音也就跟着響到那裏。水的分子好比是蜜蜂，嗡嗡的聲音好比是熱；分子到了那裏，熱也就到了那裏：記牢這個比喻，一定不會和熱的另外的一種運動法相混雜的了。

熱的對流法，祇限於流體，因為流體是流動的，所以能夠帶着熱一同走。這種情形，擴大起來說，可以引用到汪洋大海的身上去；也可以引用到大氣上去。它們的結果，很是重要；不單是因爲熱，可以從這裏傳到那裏；却因爲傳熱的物質也能夠移來移去了。海水所生的洋流，空氣所生的氣流（風），都是因此而起的。它們一直運行着，無時或息，如赤道地方所發的貿易風，就是很好的例子。

貿易風的得名，因為古代的商船，是依賴它而發展貿易的。赤道地方的空氣，受熱上升，於氣圈上層造成高氣壓，分向兩極吹去；但因地球的形狀，從赤道到兩極，面積漸小，故此氣流到達南北緯度三十度附近，一部分互相壓縮而降於地面，與兩極氣流相合，再歸赤道。貿易風的方向，本來是直北，直南的，可是因為地球旋轉的關係，方向也不得跟着改變：在北半球的變為東北風；在南半球的變為東南風。至於上層氣流的流向兩極者，叫作反對貿易風。方向正與貿易風相反的。貿易風在從前，確很重要；不過，現在的商船，已經用不着它了。只是它對於熱的關係，仍舊是很有趣的。

海水中所起的洋流，也是這個樣子。赤道附近的水的溫度比較的高，浮在上面而分向兩極流去，叫作暖流；兩極的冷水，或溫帶上一部分的水向下沉着，流向熱帶，叫作寒流。海水中的生物，是依賴這兩股洋流活命的。暖流浮在上面時，會吸收氧氣；等到它變為寒流而沉入海底時，就將氧氣供給了海底的生物。

熱力的對流法中，還有一件事，不但很有趣味，而且也是很重要的。那就是

我們的體溫的得能保持，也是由於熱力對流的妙用。我們的身體中的熱，由於身體中的幾種機關和幾種筋肉的運動而產生；產生之後，由血液循環的作用而分配到全身。血液的循環是無時或息的，它所傳達的，不止是氧氣和食品，還有許多的熱；當血液經過身體外部的血管時，熱就被送入肌肉裏去，使各部都時常保持着一種舒適的溫度。要是沒有這個作用，身體的外部，就不能保持適當的溫度了：因為它的失熱要比受熱快得多多。

還有一種熱的傳播法，叫做傳導。這種傳播法，是把熱由這分子遞傳到彼分子的一個法子：這不但適用於氣體、液體、或固體的本體中，就是從這物體遞傳到那物體，也一例適用的。熱有從溫度高處移於低處的性質。譬如一冷一熱的兩個物體，放在一處，熱的物體，往往把熱送到冷的物體中去，直到它們的溫度平均了才停止。這種現象，好像高處的水，因吸力作用，一定要向低處流去，非達到水平的程度不止的情形是一樣的。

傳導和對流不同。傳導是熱的互相授受，絕對不變更物質的位置的。譬如一

支鐵棒，把一端插入火中，過了一會，他端也會覺得很熱的緣故，就是由於熱的傳導而來。假使把鐵棒換了木棒，即使是木棒比鐵棒短了許多，也會一端儘管很熱，他端還是冷冰冰的。這是因為金屬是最好的傳導體；而木棍之類的為生物所組織的東西，傳導的力量，實在很弱。其他如骨，角，羊毛，絲綫，棉花，葛布，都是弱的傳導體。

我們的身體，也是一種生物組織的東西，傳導熱力的能力是很弱的，所以我們體中的血液，一定要循環流動，使肝臟裏和筋肉裏所產生的熱，傳播到全身各處，使溫度都處於一個平均的態度。至於生物組織的東西，雖然是極不好的傳導體，但這個並不是缺點，因為熱血動物的身體，本來需要一種特別不傳熱的組織，遮蓋着全身的。所以不易傳熱，不僅不是缺點，而且還正是優點咧！

九 熱的行動

熱的行動法，有對流、傳導、輻射三種。對流與傳導這兩種原理，不但常被我們在日常生活上應用着；就是英人法麥(Sir Humphry Davy)的發明安全燈，也是依賴它們的。安全燈的燃燒物，仍是油質，不過它的罩子，不是玻璃而是長圓形的二重細孔銅絲網。銅絲是金屬；金屬的東西，都有極強的傳熱能力。燈火在網裏燃燒，但所發生的熱，却立即被銅絲網傳導開去，不會使熱力逃出網外來的。自從有了這種燈之後，煤礦工人的生命，真不知得救了多少。同時，假使燈內有煤氣鑽入夾在燃燒的時候，礦工也可立即籌備預防的法子了。——可是這種燈，還有不可靠的地方，因為如果銅絲網破裂而不察覺，或是燈火被風吹滅而劃火柴點燃，仍不免要引起災禍，發生無窮的危險的。還有，礦裏的爆發事情，往往不由於煤氣，而由於煤塵。因為這個緣故，所以在煤礦裏應用的燈，必須更加

安全才行。現在，礦裏都改用電燈了；可是我們却不可因為電燈比安全燈更安全，就對於安全燈的發明者加以輕視：輕視真正有功於人類的聖哲，實在是一種狂妄的愚蠢。

現在，我們來繼續講輻射熱。一個十分炎熱的東西，不但會對於四周的空氣，用傳導的方法傳播它的熱，而且也會像太陽一樣的發生一種輻射熱，使它自己的熱發散完盡的。

輻射熱是在以太中成功波浪的。它的定律，很是簡單；第一，它的前進形狀成一直線，和光的發射一樣。第二它能夠從一個阻礙它的物體面上反射，也和光的反射相同；而且從空氣入水中時的曲折情形，也和光一樣。

輻射熱，光，聲音，以及地球的引力，都是一樣：它們的能力的大小，是跟着位置而變遷的；就是和熱源、光源、音源的遠近成爲平方的反比例的，譬如距離熱源，光源，音源較第一次有兩倍遠時，所得的能力的結果，不是原來的二分之一，而是四分之一；若是距離三倍時，則爲九分之一。以下可依此類推。距離

越大，它們的能力就越減少。這種現象，不是物質能力的散失；而是因為距離越遠，則能力所散布或包含的地方也越加廣大起來了。

光可通過水中，無所阻礙；輻射熱却不能夠通過。不能通過，熱力並不就此喪失；原來熱力被水吸收去了。所以把水放在太陽光下，可以使水也熱起來的。這種現象，大都以物體的表面為轉移，黑暗的常比光明的更會吸熱。夏衣宜白，冬衣宜黑的道理，就在乎此。

一種物體的會有輻射作用，是由於它所處的環境太冷的緣故。假使環境比它熱，它不但不會放熱，而且還要吸收環境的熱了。這樣推想起來，我們就可明白熱物體與環境的溫度相差越大的時候，則熱物體放熱速度也要越快，變冷的時間也會越短。

世界上的事，絕對不能無中生有的。一個熱物體的繼續放熱，到了最後，它的溫度必至和它四周的溫度相等。這種事實，若以行星的情況來做例子，我們就可知道它的重要了。譬如月球的體積很小，所以不能保存它的空氣。它現在已是

赤裸裸的了，外面沒有甚麼東西包裹着，所以它的表面，被太陽光照着時，就十分炎熱；可是一到夜裏，頃刻之間，熱便發散完盡，變成極冷的境地。這個緣故，就是因為月球上沒有空氣，所以它的溫度也變遷得極快了。

至於地球，也是一個行星，它的受熱與散熱的情形，與月球無異。因為地球雖然有空氣包裹着，但空氣是差不多由氮、氧兩氣混合而成的；這兩種氣體，完全可以讓熱通過。——可是在事實上，地球的溫度的變遷，並沒有像月球那麼劇烈：月球已住不來生物，而地球上的生物，却還繁榮地生長着。這個原因，據考察所得，不能不感謝空氣中所含的水蒸汽了。水是不許輻射熱通過的；即使水的形狀改變了，而它的性質，還是依然保存。有了它在空氣中，我們的頭上彷彿添了一頂帳幔，可以遮蓋我們，保衛我們，使我們不至受太陽光的虐待。同時，它還可以使地球的散熱，也減低了速度，不至像月球那麼快；於是溫度變遷的苦楚，也可免除了。這種功績，實在是水為生物所做的諸般重要工作中最不可磨滅的一件大事。

我們再來把火星也研究一下。火星的情形，恰好介乎月球與地球之間，它的外部還包裹着空氣，也還有水蒸汽，不過比地球少些；但這種水蒸汽，能夠吸收太陽的炎熱以及減低散熱的速度是一樣的。

月球、地球、火星，與太陽及各大小物體都很相像的，它們所處的環境的溫度，都比它們要低；所以它們要把自己的熱力發散出來。至於發散的快慢，和它們的體積的大小成比例。譬如一個圓形物體越大，同它外面的面積相比較的內部物質也越大，因此它所包含的熱必不容易發散，也就不容易變冷。這個理想，正和事實相符合；如：太陽比木星熱，木星比地球熱，地球比火星熱，而火星則比月球熱。它們在最初的時候，雖然用同一溫度的材料造成；可是因爲大小的懸殊，結果便生出大大的差別來，成爲現在的樣子了。

關於輻射熱的事情，還有一樁也是很要緊的。那就是它對於沿海生物的影響。我們談起天氣的時候，普通總分兩種：大陸上的，叫作大陸氣候；海岸邊的，叫作海洋氣候。海洋氣候，比大陸氣候要更適宜於生物的生長。因爲它的空

氣中，含着多量的水分，以致四季的分別，不像大陸氣候那麼嚴厲：夏天不十分熱；冬天也不十分冷：一年到頭，沒有甚麼大上下。

海洋氣候的造成，應該歸功於水。海水有極大的吸熱本領。它不但會把太陽的輻射熱盡量的吸收了去；而且也會利用傳導的法子，把空氣中的熱歸爲己有。

在夏天的時候，海水要格外熱些；因爲它一方面直接吸收了由太陽那裏來的輻射熱；一方面吸收着空氣中的傳導熱。這樣一來，空氣的溫度就降低了；於是，近海的地方，就有了溫和的夏季。

氣候溫和了，但海水却漸漸的熱起來。海水最熱的時候，不是夏季的正中；而是夏末秋初的時候。這在有游泳經驗的人，一定可以非常明白。海水過了夏季的正中，正在漸漸增加熱度，所以空氣的溫度就因此降低了；人也不會感覺到熱悶得難受。到了秋去冬來的時候，太陽的熱力大大地減少，空氣的溫度也太低了；於是海水就把以前吸收着的熱發散出來調劑空氣的溫度，於是，我們也藉此而不覺得寒冷的可怕了。

熱有從更熱處注入到更冷處的性質。在夏天的時候，海水比空氣冷，熱就從空氣中注入到海水裏；在冬天的時候，空氣比海水冷，熱就從海水裏散播到空氣裏；如是一調劑，就將冬夏兩種天氣平均，使夏天不會太熱，冬天也不會太冷了。

地理書上有句成語，叫做「海岸線越長的國度，越是富強」。海岸線就是海陸相接的界線。所謂海岸線長，就是濱海的土地多。濱海地方，就氣候說，適宜於人的居住；而且身體也因為氣候的適宜而容易康健；身體康健，做事也當然活潑了。就交通說，海邊也較內地便利；因為交通便利，文明也易於進步。就生產說，濱海的土地比內地肥沃，雨量也不至欠缺，種植東西，容易長大；海裏又有天然的魚鹽之利可得，不必化多大的人工；所以海濱的生活，也比內地容易許多。——這樣說來，富強的話，也不是無稽之談了。

我國的海岸線，也是很長的；我們應該感謝我們的祖先，為我們開闢成這麼一個好地方，使我們可以托足。我們也該有作有為，保持這塊土地，為我們的子孫孫。

一〇 熱與工作

熱的物體中，總蓄有若干可用的能力。利用這種熱的能力作工的開始者爲英人瓦特 (James Watt)。他看見開水鍋裏的水，能夠脈動鍋蓋，就發明了許多奇怪的東西。

熱既能做出許多工作；工作也當然可以產生若干的熱。譬如要燒着一根火柴，就得將它在匣側摩擦一下，使它的熱足以發火。由這樣看起來，我們所說的熱的運動，可以使它變爲平常的機械運動，如鍋蓋的掀動，車輪的推行等等；而平常的機械運動，也可使它變爲一種特別的熱的運動的。機械運動可以叫作物體運動；熱爲物體各分子的原動力，所以也可叫熱的運動爲分子運動。因此，我們可以說，物體運動可變爲分子運動；或分子運動可變爲物體運動。也就是說，工作可變爲熱；或熱可變爲工作。這種事實是很有價值的，一定要懂清楚。

平常，我們只知道熱與工作，二者互為因果而已；若要測量若干工作可以產生若干的熱，或若干的熱可以產生若干工作，總有些為難。然而，我們假使這樣想像：熱是分子運動，工作是物體運動；那末，這一種運動應該變為那一種運動，『和這一種運動的準確數量，能從那一種運動的準確數量得來。』都有理路可尋了。如果不是這樣，就要弄到運動會從無中生有，或運動會從有中變無了。

以上所說的，是一種重要科學的基礎，這種科學，我們是叫做熱力學的。熱力學所討論的是熱和能力的關係。這種科學不但是各種人造機械的製作和運動所必需，就是將來人生的因果，和造物所造成的永遠不能消滅的宇宙，也有莫大的關係。

能力不會消滅的話，出於二千多年前的大思想家之口；證明於十九世紀英人焦爾(James Prescott Joule)之手。原來其中的神祕，不過是將這一種運動變作那一種運動，正是我們在每天所看見所做着的事情。焦爾證明了若干定量的熱，可以產生若干工作，所以我們為紀念功績起見，就將焦爾一詞的第一個字母J去

去代表一個定量的熱內所產生的工作量了。應用焦爾的實驗，知道能夠使一磅水在華氏溫度計六十度升高到六十一度的熱量的熱，却正等於七百七十八磅的物體升高一呎的能力，或等於將一磅的物體升高七百七十八呎的能力。這和確實的數目，雖然稍稍有些上下，但就大概說，這種相互的關係是能夠存在的。

在這種科學上，第一條定律，就是熱與工作間不絕的關係；兩方面可以互相變換。第二條定律，就是熱祇會從一種高溫度的物體傳導到低溫度的物體。第一條的意思，我們可以說它就是能量不減律。第二條的意思，就是能量固然可以不減，但要利用它去做工作，必須在某種情形之下。換句話說，就是四旁物體的溫度，如果和它一樣，它就不能流動，我們也無法利用它去作工了。

希望每一分熱都能夠做出工作而不致有所損失，固是我們的最高理想，可惜在實際上，並不能夠如此：熱的能力真正可為我們利用而做出工作來的，僅僅祇有十分之一而已；十分之九是要損失掉的。這是一個嚴重問題，現在有許多科學家，都在集中心力於這一點上的研究。

我們的身體，實在是世界上最有效率的一種機器。但是它之所以有這樣的效率的祕訣，却還沒有人能夠知道。然而我們的身體，也並不能夠將所有的能力，都做成工作，就是有一部分也要化為熱的。不過這種熱和人造機器所產生的熱有些不同，因為它能使我們的身體保住溫暖。所以兩相比較起來，我們的身體，要比任何一種人造機器的效率要強了。

機器發熱的問題，不但在實用方面覺得重要；就是在另一方面也覺得非常重要的。因為能力的變化，不僅是機器常會使有用的能力變為不能再用的熱，差不多凡是化學作用所產生的熱，都要四散逃逸而無着落的。至於各種運動，除機器外，也要因為摩擦作用，變化為熱而散失。由這樣看起來，我們就得了一種新的認識，那就是說，世界上的能力雖然不會遺失，但對於我們是容易遺失的。

依照能力的用途，我們可以將它分為上下兩等：最有用的列為上等；無用的列為下等。下等的就是散失了的熱，這種熱，對於機器，不但無益，而且有害的。上等的是太陽的能力。太陽的熱度比四周的物體要高，所以常常會流傳到別

的物體上去做成許多工作。這種由熱物體流到冷物體的熱所產生的工作，正如在高地方的水，向低地方流去時能做出若干工作來的情形一樣。不過，因此我們可以知道上等的也總是要變成下等的；有如轉過磨坊車輪的水不會再使車輪轉動的樣兒。這樣想起來，太陽的能力，也有一部分是被擲於無用之地的。我們雖然可以不必害怕這種事實，因為太陽所供給來的上等能力，是繼續不斷的。可是這種供給，雖然時間久長，卻總有停止的日期的一點，我們倒應該知道才是。

能之降級的意義，我們已經知道了。能之散逸，我們也應該知道它：這是克爾文開始應用的。它的意義，就是說，宇宙間的能力，雖屬不滅；但能力都可變其全量為熱；而熱的全量則難變為他種能力。例如煤礦所有的化學能，燃燒則直接化熱而散逸；若利用它供給於機器，雖能變為機械能，但機械能因逆摩擦力而作功的緣故，仍要漸次變熱而散逸。所以任何物體所有的能力，常為變熱而散逸的；散逸之熱，無法再利用它來作功。這樣，能力漸次變為我們無法利用的狀態，叫做能之散逸，也叫能之變衰。

前面曾經提到過一樁非常的事情，說引力的作用，如果沒有反抗它的力，則宇宙間物質，一定要漸漸的團結起來，成爲一個極大的固體的。現在所講到宇宙間的能力，也有一個類似的情形。這情形，就是依照能之降級及散逸說起來，將來的結果，一定會將宇宙間的能力，統通降級，統通散逸；到頭來，有用的能力，統通會流入於無用之地的。

當然，我們總希望造得成功一種機器，能夠將工作變而爲熱，熱又能變爲工作；使世界上的能力，不致有散逸。的時候可是，這種機器永遠是造不成功的。克爾文曾說，就是宇宙這樣的好機器，在完全一詞上看起來，還是不能算做一個頂好的。

能力本有兩方面，有用的與無用的；可是在實際上，它却時常偏向無用的一方面走，那就是走向降級與散逸一方面去。要是這樣的一直下去，結果一定很可怕，正如我們祇知道宇宙間有引力而無反抗力的可怕一樣。

要是能之散逸這一種事實是確實的，則宇宙間的能力和運動，一定要達到完

靈的地位，宇宙間將會沒有任何事情發生，成爲一個死的宇宙。其中，物質和動力，或者仍舊有的；但是，動作的能力已經沒有了。我們講到這裏，又要碰到宇宙始終的問題了。因此，我們若就太陽系來說，祇要太陽的能力一旦完結，宇宙的末日也就到了。這好比一架時鐘，當發條開緊的時候，自然會不絕地走着；可是發條總有寬鬆的日子，到了那個日子，鐘也祇好停頓起來了。

在十九世紀之末，有人爲了這個問題曾經說過這樣的話：「看了一切自然界進行的特性，使我們就要想着宇宙的始，和宇宙的終；在這始終之間，就是大自熱的歷史或生命，正在一天一天將能力消耗下去，把活動的地位變到不活動的地位。」這個說法，頗爲當時的人所相信。祇有英人斯賓塞(Herbert Spencer)却不爲這個說法所鼓惑，他說：「天地間必另有別種特別的進行，足以爲能力消耗的補償者。這種進行，雖然爲我們的目力所看不見，但總是確實有的；它會把越走越慢的宇宙鐘開緊起來。」

到了本世紀，對於這個問題的研究更加深遠了，大家都明白斯賓塞的說話是

不錯的，天地是一個永遠運動的機械，萬無停頓的道理的。當我們發見一個方向的諸種進行的時候，應該明白反對方向的諸種進行也一定同時存在的。易曰：「天行健」，就是這個道理。宇宙是無始無終的，永遠能夠繼續下去。

溫度對於各種物體是非常重要的。因了溫度，我們才明白熱的平位。兩個溫度不同的物體，互相接觸，溫度高的，就有熱要流傳到溫度低的那兒去；熱在流傳時，便會做出工作來。測量溫度的器具，叫做溫度計，也叫寒暑表。溫度計所測量的是溫度的高低，不是熱量的多小，這是應該記牢的。

第一個溫度計是伽利略製造的，距今已有三百多年了。他用一支一端連着一個玻璃球的玻璃管加熱後，就倒插在水盆裏；球裏的空氣被熱時，體積便脹大起來，所佔的位置也放寬了；空氣冷時，體積便收縮攏來，所佔的位置也縮小了；於是水便接着上升。看管裏的水的上升的高度，就可知道空氣的溫度。——這種溫度計，實在沒有什麼用處，因為水的上升，也有些空氣壓力的作用夾在其內，並不完全是溫度的關係；而且同時又因為它所指示的空氣溫度和壓力，究竟到了

一個甚麼程度，也沒有人說得出來的。

距離伽利略發明溫度計的五十年後，才有真正的溫度計出現，那時的溫度計是不用水而用酒精了，叫做酒精溫度計。一六七〇年又有改用水銀的溫度計出世，叫做汞溫度計（通稱水銀溫度計）。

溫度計是應用物質熱脹冷縮的原理製造的。其法，取內徑很小而極均勻的厚壁玻璃管一支，於其下端作一球形，內充水銀（或用酒精）加熱，使水銀膨脹，逐出管中空氣後，即將上端管口封閉；冷時水銀收縮，則管內的一部分成爲真空了。再將球部插入將熔解的冰中，依水銀面所在處作一記號，稱爲冰點；又將全管放入氣壓爲七十六公分的水蒸氣中，在水銀面所在處，也作一記號，稱爲沸點；於冰點、沸點之間，等分爲若干度，即告成功。分度的方法，普通有三種：一種是在冰點、沸點之間，等分爲一百度的；以冰點爲零度，沸點爲一百度；這是瑞典攝爾修（Celsius）所創製，稱爲攝氏溫度計，也叫攝氏溫標，也叫百分溫度計，簡稱百度計或百度表。科學上用的就是這一種。還有一種是冰點、沸點之間，等

分爲一百八十度，而以冰點下三十二度爲零度，沸點爲二百十二度的；這種爲德人華倫海 (Gabriel Daniel Fahrenheit) 所創製，叫做華氏溫度計，或稱華氏溫度，簡稱華氏表。還有一種是冰點，沸點之間，等分爲八十度；冰點即零度，沸點即八十度的。這種創自法人列奧陸爾 (Réaumur)，叫做列氏溫度計，或稱列氏溫度，簡稱列氏表。以上兩種是通常所用的。

有了溫度計，我們就可知道空氣的溫度：管外空氣越熱，管內的水銀柱越高；管外空氣越冷，管內的水銀柱越低。這樣看起來，水銀柱的升降，正和伽利略所發明的儀器相反。因爲他的儀器是以管內的空氣爲轉移的：管內空氣越冷，水柱升得越高；管內空氣越熱，水柱反要降低了。

此外，還有因爲特種用途而造的溫度計，這裏也不多說了。不過醫生用以檢查疾病的醫用溫度計，却該提一提。它是非常精密的一種，因爲如果一有差池，就和病人有莫大的關係了。它升高後，仍會留於原處，非用力搖之，不能下降。同時又因常人體溫大概在攝氏三十七度附近，所以它的標度，也祇限於體溫相近的

範圍以內，即由三十五度到四十二度之間，過高過低均無用處。

一一 潛熱、可感熱、比熱

溫度計的意義，雖然是量熱器，但在實際上，它所量的不是熱的絕對量，過是比較量而已。量熱的比較量，就是量熱的平位，彷彿量缸裏的水面高度似的；我們祇要知道缸裏的水的平位怎樣；至於水的分量究竟有多少是不管的。

要量熱的絕對量，當然也有法子；但是要做到這一層，須先弄明白潛熱。潛熱，正如它的詞面所表示的意義，是隱藏着的一種熱；這種熱是不會被我們感覺着的；可是熱却真實地存在，並不是沒有。例如：取在溶點的冰，從外加熱，可使它的溫度，毫不增加；又取在冰點的水，夾着一些冰屑，我們可從其中取出熱來，仍不使它的溫度降低；或者在水和冰的混合物中，加熱或取熱，均可使其不變溫度；又如：我們把沸水放在開口壺裏煮着，慢慢地加熱，也可使它的溫度保持沸點，不因加熱的緣故，較前更熱，後來，液體的水變而為汽，可是汽的溫

度，還仍舊和液體的水一樣。從以上的事實裏，我們可以看出一種現象，那就是水的溫度固然不變；但它的體態却是變了。第一個例是由固體的冰變做液體的水；第二個例是由液體的水變做固體的冰；第三個例是第一、二例合併起來的。第四個例是由液體的水變而為汽了。

加熱於冰，冰化為水；加熱於水，水化為汽；這水，這汽的溫度，並不比冰、比水加高；所加的熱，似乎於無形中不見了。但這不見，並不是喪失，只是隱藏起來不使我們覺着而已；不過，所加的熱的去路，總可追尋的，因為它的體態已經變樣了。如此，我們可以得到一個潛熱的定義：導一定量的熱到一在某體態的物體上去，使它變做另一體態，而不使增加溫度所需要的熱，叫做潛熱。

說得仔細些，也可分潛熱為兩種：使固體物質化為液體的熱，叫做熔解熱，或熔解的潛熱；使液體物質化為為汽的熱，叫做汽化熱，或汽化的潛熱。

和潛熱相對的熱叫可感熱。可感的意思，就是能夠用感覺覺察出來的。譬如，加熱到一物體上去，能夠使它比原來更熱，這便是可感熱。克爾文曾用簡明的

詞句，解釋過可感熱與潛熱的意義，他說：「加熱於水，水的溫度增高。這所加的熱量，若把我們的手浸入水中，便可覺得。設有一盆溫水和一盆冰、水的混合物，我們把手先後伸入盆裏，就可覺察出溫度的高低來。若把溫水倒入冰、水混合的盆裏，攪擾數秒鐘的時候，假使所加的溫水不很多，不致把冰完全熔去；那末，把手浸入盆裏，不會覺得溫暖，祇覺得它的溫度，和未加溫水之前一樣。所以我們叫這種在溫水盆裏可以覺察，一倒入冰、水混合的盆裏，就覺察不出的熱爲潛熱是很確當的。」

潛熱的事實，可使我們量熱的本身。因爲冰化爲水而不改變溫度，這冰的分量是可量的；並且溶去的冰越多，所用的熱量也必越多。某定量的冰，可用多量的溫水或較少的熱水溶化它，使變爲與冰同溫度的水。所用的水的溫度，雖然不同，所加的熱量却是一樣的。

從前的人，以爲熱是一種液體的物質，取名爲卡路里。測量熱的器具，叫卡路里計，簡稱卡計。一個物體裏所含的熱量與它的溫度是不一致的；所以應該牢

牢記得一句話：卡計與溫度計是兩件絕對不同的器具，不可混而爲一。卡計是用來量熱的多少；溫度計是用以量熱的平位的。潛熱，是指熱的本身講的；如果說今天的天氣很熱，這並不是指熱的本身而言；是指溫度的了。

首先發明量熱器的，是法人拉普拉斯(Pierre Simon Marquis de Laplace)和在大革命時被害的拉瓦節(Antoine Laurent Lavoisier)。他們是用溶去冰的分量來量出熱的分量來的。此外，我們也可利用水蒸發爲汽所需要的熱的分量來量出熱量。我們更可不用潛熱而取一定溫度的水或其他物質注意它的溫度所提高的熱量來量出熱量來。

潛熱一詞，若以近代的物質觀念來說，似乎頗能引起誤會。因爲當冰受熱溶成爲水的時候所潛藏起來的熱量，確已變爲另一現象；這現象是使固體的冰和液體的水彼此不同的。這所謂另一現象，是液體的水裏的分子運動。所以冰受熱溶成爲水的一回事，無非是熱的運動，變爲水的分子運動而已；即水之所以能由固體變爲液體，實在是因爲它的分子已作液體的運動了。同樣，水受熱化而爲汽，

所有的潛熱就變成了汽的分子運動。這運動的一部，可說就是熱。熱的運動有多少，所以氣體也有較熱較冷的分別了。

要水化爲同溫度的汽，必須加熱；但汽中並沒有較多的熱的運動；原來所加的熱變爲另一種運動，水與汽的分別，即由此種運動而生。不過潛熱一詞，仍舊不妨保存；因爲潛熱的復現，或者就是這種特殊運動的復失，能使受熱的物質依然恢復原狀。

此外，還有一個重要的名詞，需要記得的，那就是叫做比熱。我們將同一定量的水和其他物質，在同一溫度之下，加入一定量的熱；這水和其他物質，雖然同樣的增加了溫度，可是水的溫度的增加，却比其他物質要低。（但，其他物質是要除開了氫說的。）換句話說，就是使水變熱所需要的熱量，要比其他物質爲多。爲便利起見，我們定水的比熱爲一，作爲比熱的單位。茲據實測結果，表列普通物質之比熱如次：

水	1.0000	黃銅	0.9400
冰	0.5040	鋅	0.0935
空氣	0.2400	銀	0.0568
鋁	0.2180	錫	0.0530
乾泥	0.2000	汞	0.0333
玻璃	0.2000	鉑	0.0320
鐵	0.1130	金	0.0316
銅	0.0950	鉛	0.0315

化學家對於各種物體的比熱，曾經發見彼此受某種定律的限制。同量的熱加於同量的銅和鐵，而銅所增加的溫度不等於鐵所增加的；這類事實，並非胡亂湊巧的事情，確有一個定律存在其間。原來物體的比熱，大都因它們的原子的大小輕重而不同，同一重量的兩種物體的原子數，一定是重而且大的比輕而且小的要少。原子數越少，則每一個原子所含的熱量也越多；所以原子越大，則受同熱量所增加的溫度也越高。換句話說，就是原子越大，則達於一定溫度所需要的熱量

也越少。

最適當的說法是：「一物體的比熱，和它的原子重量恰好是成反比例的。」這句話，雖然不容易立刻就懂；但應用却很廣大，我們必須領悟它。

水有很高的比熱，在日常生活中很是重要；這實在是它的最可寶貴的特性。一定量的水所含的熱量，要比其他任何同量又同溫度的流質所含的多。正因為是這樣；所以要使冷水受熱而沸騰所需要的熱量，也較其他流質所需要的為多。沸水既然含有很多的熱量；所以要使它冷下來，也當然需要很久的時間了。

水是熱量的貯藏所。譬如我們所吃的開水，可以在壺裏保存許多時候的溫暖；海水會把熱量豐富地貯藏起來，造成海洋氣候。水是宇宙間最寶貴的東西，沒有它就要沒有生命。它也是最神奇的東西，假使沒有它，一切的美麗都無法造成。

許多人想減輕機器所消耗的費用；也有人想明白自然的法則和它的進程；他們的想念，都直接和熱學有關。十九世紀的最大貢獻，就是熱的本質和熱的定律的發見。這個發見，不是別的；就是物質不滅律和能量不滅律。任何物質，任何能

力，均能變更其狀態；但始終不能增加，也不能減少；不能於無中生有，也不能有歸於無。這個定律，在科學上是占非常重要的位置的。熱是一種運動；它雖然可以變爲他種運動，但它的結局，絕對未曾失去甚麼，或增加甚麼。譬如我們燃燒煤碳取暖：煤碳燒完了，熱也不見了；但不見千萬不可當作消滅；它的來路與去處，仍有線索可尋的。造物節約，決不會容絲毫物質憑空消滅！

熱學一門，包括很廣，不是用短短的篇幅可以說得詳盡；而且也因爲它對於人生日用以及機器製造等等，都有重大的關係，也不能一說就可明白。所以在這裏，不想再說下去了；就此算做結束。

一 二 一 音 波

聲音是一種波動，像光一樣。不過傳遞這兩種東西的介質却有分別。以太能夠傳遞光和輻射熱；聲音是不會傳遞的：傳遞聲音的介質，通常就是空氣，——而且不但是任何氣體，就是液體的水，或固體的物質，也可以傳遞聲音的。沒有物質傳遞，便沒有聲音。所以我們不能聽見太陽和月球上的振動，就是因為在大氣層以外，祇有以太的緣故。

每當弦索或鈴振動發音的時候，空氣受着它的打擊，便生出一陣空氣的波動，傳遞到我們的耳朵裏，就變成聲音，所以叫做音波，或叫聲波。

要證明以太不能傳遞聲音的事實，我們可用電鈴放在抽氣機的玻璃罩裏做個試驗。先把電鈴通電，使電鈴響個不歇；這時，我們可以明晰地聽見電鈴的聲響。再將罩裏的空氣慢慢地抽去；當玻璃罩裏的空氣漸漸稀薄下去時，我們仍可看見電鈴的振動，這可使我們明白：看是全靠光的，光是由以太傳遞的東西，所

以我們看起電鈴的振動來，還能清清楚楚。但是，聲音却跟着空氣的稀薄而漸漸低弱下去，最後，就一些聲音也聽不見了。要是再將空氣慢慢放入，聲音也由低微而宏大起來。這個試驗，不但使我們明瞭傳遞聲音的東西是甚麼，而且還使我們知道聲音的高低，也要看空氣的情形而定的。

聲音與光的速率也有很大的差異。譬如在遠處放砲：我們能在千分之一秒鐘內看見煙火；但聽見炸裂的聲音，却要在幾秒鐘之後。光和輻射熱的速率，依我們現在所知道的，是：它們在任何情形之下，都能一樣：每秒鐘可走 299,800 公里（通常叫三十萬公里），或 185,300 哩。聲音的傳播速度，即音波進行速度與介質及溫度有關；攝氏零度時：在空氣中為每秒 331 公尺；水中為每秒 1,453 公尺；鐵中為每秒 5,016 公尺；而空氣中溫度每升降一度，每秒約增減 0.6 公尺，所以在尋常溫度即十五度時，音在空氣中的速度為每秒 340 公尺。

溫度不同，聲音的速度也可不同。因為空氣的溫度增高了，空氣的彈性也略有增高，遇着音波的打擊，反動較易，所以音波也容易通過了。這樣說來，如果

空氣的密度，到處都是一樣的話，則聲音的速率，是跟着空氣的溫度增加的。假使我們對於彈性的定律，能夠懂得，便可知爲甚麼聲音在液體中比在空氣中走得快，在固體中走得更快了。它在液體中的速度是比在空氣中要快四倍半；在鋼中快十五倍。

聲音的傳播的快慢與高低無關。高低是看每秒鐘內打響耳膜的音波數目的多少而定；至於每秒進行得多少還是另一件事情：音波在每秒鐘內的振動次數，都是一樣，不關傳遞的介質是氣體，或是液體、固體的。

聲音的大小的變化，和距離成平方的反比例：譬如離發聲地方的距離較第一次有三倍遠時，我們聽見的聲音的大小，並不是第一次聽見的三分之一，而是九分之一。九是三的平方，平方即爲某數自乘所得之數。這和光，輻射熱，還有地球引力，都是同樣的；上面已經提及過了。不過，在聲音方面，介質的密度，也是很要緊的。譬如在有霜的夜裏，空氣比較濃密，所以開駛摩托車比較容易，因爲機器裏有充分的氧氣供給它。聲音在這種夜裏，也更加響亮，也是在乎空氣濃

密的緣故。要是在山頂上空氣稀薄的地方放砲，我們聽起來，却像一聲爆竹了，這個道理，祇要想一想電鈴與抽氣機的實驗，就可懂得的。

我們把皮球向牆上打去，它會自己離牆彈起。水波撞着表面平坦的堤邊，也會反折轉身。聲音也是一種波動，它碰着障礙物，也會和水波一樣的反折轉身的。其他如光、輻射熱，都是這樣。例如：在山間發音，過了一會，可以聽見同一的聲音從遠方過來，我們叫作回聲，又稱反響，俗名應聲。這個現象，在科學上，稱爲音的反射。又如在山間放砲，或雲中發雷，雖然發出來的聲音祇有一聲，而我們聽去，則會隆隆不絕，便是許多回聲相繼而來的緣故。

若是在大講演廳中發音，也可使音從四圍的牆壁及天花板等反射過來。這種回音，最足妨礙聽衆聽講；同時也夠使講者感到討厭的。所以在考究的講演廳中，爲要補救這個缺憾起見，便在四壁掛起簾幕或圖畫來，因爲這些是不會反射音波的；又在天花板下橫架了鐵絲之類，以便衝破音波，不使天花板發出回聲來。——不過，要是發音的地方，離牆壁很近，則我們就不會被回聲所擾亂，反

而因為聲音的反射很快，可與原來的聲音合而爲一，聽起來更有清晰之感了。

據說，曾經有過兩位北極探險家在相距一英里的地點對談過話。他們的聲音，是利用北冰洋中的平滑的冰山反射過去的。音波的反射，在我們用着喇叭式的東西的時候，更覺重要。如開大會時所用的喇叭，留聲機上的喇叭，無線電收音機的喇叭，海船上用以說話的喇叭，都是利用音波的反射來助長聲音的。動物的耳殼，或是響子所用的耳套，也是利用音的反射來收聚聲音的。

光，不但會反射，而且能夠折射。聲音也是一樣。不過光的折射很是重要，而音的折射(或名音的屈折，也叫折聲)，祇是告訴我們關於波動的事實，十分有趣罷了。英人累力(John William Strutt Rayleigh)曾經做過一個關於音的折射的著名實驗。法用小氣球一個，先將碳酸氣充滿其中。再令一人對着時鐘遠站着，以聽不見鐘擺的聲音爲度。然後把充滿碳酸氣的小氣球，在人與時鐘之間來往擺動；如果人所站的距離適合，則當小氣球擺動到中間聚集了音波的時候，便可聽見鐘擺的聲音了。——音波被小氣球中的碳酸氣折射而會聚於小氣球他方的一

點，恰像光通過了透鏡聚集於焦點的情形一樣。

音是一種波動，所以和水波或光波，有許多相似的地方。但是，如果將音源予以仔細研究，却可知音波確有許多特性，和別種波動是不一樣的。譬如，就水波說，水波沿水面進行；但生成這波的水，並不僅有沿着水面進行的波動，此外還有上下的運動的。從我們的肉眼看去，固然祇見水跟着波進行；但實際上並不這樣：波是沿着水面進行，水的本身祇有上升或下落的。適當的說法，是：水的振動是和波的直綫成直角的。波依某方向進行，生成波的水的分子，却在與此方向成直角的方向上進行，而且這些水的分子，並非沿着這個方向運動，却是一上一下的。這種振動叫橫振動。至於音波，並不這樣。它的特性，是在它的介質的運動，不和音波的途徑成直角；介質的質點祇沿着音波的方向來往運動。我們可設想以手握拳，在空氣中一伸一縮，使空氣受著一陣陣的打擊。當空氣受着打擊的時候，它便會臨時縮緊攏來。空氣是有彈性的，所以在兩個打擊之間，它會恢復原狀：這樣，空氣中便有一疏一密的間隔了。空氣的質點，在其間來往運

動，便成音波。所以空氣質點的振動，是沿着音波的方向，來往不息的。這種振動，叫做縱振動。縱振動是比橫振動容易明白的。

下面是一個小小的遊戲，借它來表示音波的進行，恰好是很適當的。把一系列彈子，一直綫地擺在彈子枱上，彼此貼緊着；再擊一個彈子，使它滾過去，打在一端的第一個彈子上。第一個彈子受到一種壓力，再把壓力傳達到其次的一個彈子上；如是輾轉傳遞過去，到了他端的末了一個，便會自行射出。這是表示各個彈子都陸續受了壓力，却又卸去壓力的情形；當音波經過空氣的時候，空氣的質點，也正像彈子那麼彼此傳遞壓力而成往來的運動的。

一三 噪音與樂音

噪音（也稱噪聲）與樂音，並沒有絕對的界限。譬如，戲台上的鬧開場，一陣大鑼大鼓的聲音；有些人認為太鬧猛，感到不愉快的刺激；可是另一部分的人，尤其是小孩子們聽了，却認為很悅耳，興奮得了不得，所謂「鑼鼓響，腳底癢」的古話，就是這樣來的。不過，我們若以多數人的意見作為標準，則兩者的分別，在乎音波的有無規律。音波有絕對規律的間隔，聽過去覺得很順耳的，叫做樂音。噪音恰恰相反，發音體的振動沒有一定規律，音波又錯雜不齊，聽起來會令人起不快之感；如車輪的軋軋聲；風吹樹林的呼呼聲；放砲的轟轟聲；打雷的隆隆聲；都是這樣的。

有規律的樂音，衝擊到腦部裏的司聽覺的神經細胞上時，仍有一種規律，不致起騷擾之感；所以聽起來不會生厭。至於沒有規律的噪音，當它衝擊到聽覺

經的細胞上時，也一定不會有規則的；不規則的刺激，容易使神經細胞失了常度，覺得不舒服。這是噪音與樂音的大分別。若是打個比方，我們可以把嬰孩當做神經細胞看：當母親搖着睡在搖籃裏的嬰孩時，嬰孩會覺得全身舒適，恬然睡去。如果打他幾下，或是擦他幾把：他就要覺得不舒服，哭喊起來。樂音能夠安慰神經細胞，好像撫慰嬰孩睡覺一般；噪音祇能騷擾它，使它不安而已。

噪音也有一種特性，這種特性是可用以威脅別人，叫別人懾服的。高大的噪音，固可威脅別人，如看見小孩子做錯了事時的呵叱；以及衝鋒陷陣時的喊殺聲之類。但令人最感害怕的，還是低微的噪音。低微的噪音，有使人疑懼之感。如獸類在察探敵人時的低微的脚步聲；午夜的微風穿過破紙窗洞的噓噓聲；都能使人起疑神疑鬼之意，爲之毛髮悚然！

物 理 珍 話

聽者對於噪音的襲來所引起的恐懼的大小，和有無提防也有關係。突然間聽見近身的人的發聲；或者正在沈思的時候，房門忽然被風推開了：都要發生一種不能自禁的驚訝。但是，走進工場的機器間裏，或者聽着敵轟，却會若無其事。

沒有提防而遇到噪音的襲擊，對於人的健康的損害是很大的；小孩子的因驚嚇而起的疾病，大都是由於噪音的作祟。

噪音是一種不規則的音波，沒有確定的事實可以研究，我們無容再事多談。關於樂音，却有許多可以探討的事實，我們應該再談一談。樂音的要素有音強、音調、音品三種，分述如下。

音波的大小，可以決定聲音的大小。但在這裏，我們通常是不說音波的大小，而說音波的振幅的大小的：音波的振幅大，則聲音也越強大；音波振幅小了，則聲音也便弱小了。若以水波來比音波，那末，弱小的音波，正像水面上的小波紋；強大的聲音，正像海裏的大波浪。不過，我們所謂聲音的強弱，不是僅指耳外的情形說的；聽官的感覺怎樣，也得顧及。我們聽着許多高低不同的音調，它們的音波的振幅雖是一致，但在高調的聲音總是較高，低調的聲音總是較低：大小並不一致的。所以在振幅不變的時候，聲音不盡是同樣的高低，是要跟着樂調的高低而變的，而且高調的聲音要格外大些。換句話說，就是我們的聽官，對於

高調較易感受。——這一層，在音樂上更覺重要。我們聽各種樂器的合奏或鋼琴的時候，對於高銳的音調，總是更加注意；所以將最高音往往用作樂曲的正音，而以低音去和翕它，也是迎合這種聽官的趨向。

但以引起驚訝的作用來說，低調却比高調有效。尖銳的笛聲，引起我們的驚訝，遠不如轟轟的遠雷來得厲害，所以小孩子們常常會要聽着低調的聲音而生恐懼之心。這個緣故 或者是低調的聲音近乎獅吼狼嗥的聲音吧？

以上所講的，都是關於聲音的大小的，適當地說，都是音強問題。現在再來談談音調的高低。音調的高低，是由發音體每秒振動數的多少而定：振動數越多，音便越高；振動越少，音便越低。每秒鐘振動十次，簡直不成聲音；起碼要有十六次才可察覺。振動次數增加，音調也便增高；到了頂高的音調，便是警笛的聲音。他每秒鐘要振動三萬次，或者尚不止此數。年事高大的人，聽官失聰，對於高音調的聲音，很不容易感到。英人哥爾通(Francis Galton)曾用最高音調的警笛聲音，試驗過動物的聽覺，結果是獅子與貓最容易聽得這種聲音；其他動物的聽覺，便不

甚靈敏了。

強大的聲音，不就是高音；弱小的聲音，不就是低音；聲音的強弱，由於振幅的大小；聲音的高低，由於振動次數的多少；兩者絕不相同，切不可攪在一塊。

音品又叫音色。各種發音器所發出來的聲音，即使音強與音調相等，可是依舊有許多差異；譬如胡琴與琵琶合奏的時候，雖是聲音的強弱高低一樣，而我們還是能夠分辨出這是胡琴的聲音，那是琵琶的聲音來的。這個緣故，就是由於音品的不同。

原來任何樂音，如果能夠爲我們的眼睛所看見，就可明白它們是和海裏的滾如山的大波濤一樣的；這大波濤上又有小波浪；小波浪上更有皺起的極小波紋。音樂上所寶貴的聲音，是由混合的音波構成的。這種大波浪，可以叫作基音；那些和大波浪一起進行的小波浪，叫做泛音。祇有基音而無泛音時，聲音特別清朗，叫做單音。基音中混入泛音的，叫做複音。發音體所發的音，概爲複音；音品的不同，就從這點上分出來的。人的聲音，也各具固有的音品；所以各個人所

發的口音，並不相同的。偉大而有趣味的音樂，由各種樂器以及各種變化無窮的聲音組成的，我們能夠用一種樂器，和他種含有不同的泛音的樂音合奏而成。所用的無論甚麼樂器，我們總要它的泛音多，並且還要它的泛音豐潤而和諧。這事在梵啞鈴和人類的聲音裏，尤其是真實的。

聲學，實在是一部獨立的專門科學；它涉及到各種樂器與樂曲的製作：要明白個究竟，並不是容易的事。在本文裏想講的祇是一些綱要，所以別的也不想再多說了。不過，在結束之前，還有一樁有趣的事，要在這裏道及一下。

當水波衝擊到堤防邊，轉身回頭，與第二個波相遇的時候，這兩個波就要互相衝突。衝突的情形，有兩種樣子：一種是兩個會湊在一起而造成一個更高的波峯；一種是一個波峯會和別一個波谷相遇，兩者發生互相侵消的傾向，像這種此波對於彼波的影響的現象，不僅是水波有，就是光波、音波都有的。

假使兩個高低相近而不相同的音，湊在一起發聲，它們也要互相衝突，而我們就因此可以聽到升沉的現象；聲音似乎在跳動，或一升一沉的樣兒。當兩音互

相襄助的時候，聲音便更加洪亮；互相侵消時，聲音便較微弱，或者可以聽不見聲音。這個現象，我們叫做音的干涉。

兩個或兩個以上的音調同時發出：有的是很悅耳的；有的是令人感到不快的。我們稱悅耳的叫和音；感到不快的叫乖音。乖音的一部分阻礙，就是因爲各種聲調所發生的音波互相干涉的緣故。但是，人的嗜好並不相同，對於乖音，也竟有人以爲是很好的。原來乖音要是用得適當，在音樂上也是很可寶貴：因爲它能夠將和音感動我們的耳官的效果，加強起來。

一四 光是甚麼？

我們看得見物件，因為有一樣東西從物件上反射到我們的眼睛裏來；這樣東西，宇宙間到處都有：它是使我們知曉大宇宙的唯一介紹者。它是能力的種種形式中的一種，世界上的東西，再也沒有比它還重要還有趣的了。它的名字叫作光。

光的研究，雖已很久；但到了二十世紀才決定它是以太波構成的。現在，我們雖然承認光的波動說是對的；可是另外還有一種學說，以為光是由於許多微小顆粒在空間流動而成的：這個說法，叫做光的微粒說（亦稱光的發射說）。此說為希臘人畢達哥拉斯（Pythagoras）所創，牛頓更力為倡導，說光是一種極小的叫做光粒（亦稱光素）的東西構成。它以每秒鐘三十公里的大速度從發光體（或稱光源）向四方發射，入於我們的眼睛，就生光的感覺。在一八〇〇年以前，着實為世人

牛頓是發現地心引力定律和運動定律的大科學家。假使沒有他，恐怕我們直到現在，還是不會知道甚麼。但他對於光的誤解，在智識的歷史上說起來，却是一種非常遺憾的事。因為他發現了許多關於光的事情，所以他的意見，自然而然地佔有很大的權力；惟其如此，所以由他的誤解所引起的影響也特別來得嚴重了。

光是有壓力的。不過這種壓力的正當名稱，應該叫做輻射壓力。它不但對於我們看得見的光是可靠的，就是對於我們所看不見的光也是可靠的。原來光除了我們看得見的以外，還有一部份是我們的肉眼看不見的。所以我們平常所看見的光，並不是光的全部；因此，有的著作家就不用光這個名詞，以輻射能力去代替它；輻射能力可以包括光的全部，不論是我們看得見的，或是看不見的。輻射能力和光，本是同種東西，不過它們各有遞速不同的波動，我們不能看見全部而已。看不見的光，我們可因熱而覺着它，所以我們就叫它爲輻射熱。

現在爲習慣起見，仍用光這個名詞；祇要我們能夠瞭解廣義地使用它，當然

也不會有甚麼害處。光的壓力，是自然界一件偉大的事實。它的工作，有和地心引力有同一的普遍現象；但是他們的方向却是相反的，而且還成爲對峙的形勢。這種壓力的意義和結果，在將來宇宙間是非常重要的。因此，我們不禁要替發現地心引力的人設想：假使他知道輻射壓力這種事實，不知他將以爲如何？

牛頓對於光有個有名的實驗。實驗的工作是很簡單的，不過令日光從一個小孔射入暗室，再使他通過稜鏡，觀察它有甚麼變動而已。這個實驗的結果，發現白色的日光，可以分成一列彩色；彩色的次序，由上而下，爲紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等：這七色不過是就大致而言，其實從紅變到紫，爲數不止七種的。這種現象，叫做光的色散（舊稱色之分散）。稱排成爲一列的彩色，叫光譜（舊稱光帶或景）。這個簡單的實驗，證明了一件想不到的事情，就是普通的白光，竟是各種顏色的混合品，而且那些顏色是和虹的顏色一樣的。虹的本身也是白光構成的，因爲白色的日光，從天空中的無數的雨點間反射出來，就分成了各種顏色。雨點和稜鏡的功用一樣，理由也是一樣的。這種光的混合性的大發見，是光

學中的眞紙元。

光的行動，如果沒有東西阻礙它，是一直線進行的，無論到達多少遠，總是這樣。但是當它由空氣裏到水裏，或者由水裏到空氣裏；或者由空氣裏到玻璃裏，或者由玻璃裏到空氣裏；或者在別的情形裏，光線便會改變方向；所以光線從稜鏡出來，會成各種不同的角度。這個現象，叫做光的折射，或稱光之屈折。

各種顏色光線的折射是不同的：紅色光線最小；紫色光線最大，其他的依次分配在兩者之間。牛頓不但發見這種事實，而且還發明正確的定律，告訴我們這些光的顏色。不是光射到或透過甚麼東西的結果，而是各種特別光線的天性如此。例如一件東西是紅的，那是因爲它祇將紅色光線反射到我們的眼睛裏來的緣故；其他可以依此類推，他又觀察出關於光線的折射也有絕對的定律，就是同顏色的光，折射的度數是一樣的，與光的來源無關。

對於光譜的分析研究，叫做光譜分析。光譜分析不僅可用於日光，也能應用於月球和火星所發來的光，以及從各種行星上所發來的光；甚至可應用於由恆星

上發來的光，由彗星及星雲所發來的光。各種熱的金屬和礦物質所發的光，各種燈所發的光，以及各種發光體所發的光：都可應用。我們還能在光譜中知道不看見的部分：紅色以下的光，可以因熱的運送而覺知它；紫色以上的光，可以用攝影法得到它。

在光譜的各部分中，我們還能夠找出牛頓不曾留意的黑線；這比光譜的本身更為重要，更加有趣。這種黑線的每一條，都可告訴我們這光線是從那一種礦物質發來的。這種實驗，繼牛頓的實驗而起，於是我們可以知道太陽裏有那幾種元素在發光的了。

光譜分析，應用於化學上的各方面固很重要；而奠定天體光譜學的基礎的一點，尤為不可磨滅的功績，因為近代的許多天文新知識，為天體的成分，恆星與星雲的狀態，以及天體運動的速度等，都是得到它的幫助的。

光的波動說，是與光的微粒說相敵對的學說，創自荷蘭海瓦斯；而為英格蘭

湯姆孫，楊格(Dr. Thomson Young)及法人夫累涅爾(Augustin Jean Fresnel)所

完成。這個學說，主張：光與音相同，並不是物質，而為一種波動。這種波動的介質是以太。以太是無論太虛之中，物體之內，都是存在的。發光體的分子振動時，經周圍以太次第相傳，而達於遠處，成為一種橫波；這種波，通常稱為光波；光波傳入我們的眼睛裏，就生光的感覺，絕無所謂粒光的東西。這個學說之得完成，由於楊格的一個奇異的實驗為其基礎。就是在有一種情形之下，兩個光波相重合時，或相助而光增強，或相消而光減弱或至消失。因為這個現象和音波的互相干涉一樣，和水波的從堤岸邊湧回來的情形也一樣。自從光的干涉的事實發現後，關於光的成因的學說，除波動說以外，再也不能有第二說了。

接着夫果涅爾也做了一個光的干涉的實驗。這個實驗不僅證明波動說的確實，而且還得到了一個光和音的有趣的異點，一條光線穿過一孔而入室內總祇是一條，而不像聲音那麼向旁邊散開，充滿全室；但這並不是它不想散開，而是它向旁邊散開的波因為互相干涉而盡行消滅的緣故。——這個因干涉而相消的事實，除了光是由波構成而外，沒有別的法子可以解釋的。

光波和音波，就性質說，究竟是不同的。光是在以太裏行動，是以太所構成的。它會因物體而生折射；也會因物體而起反射；也會被物體所吸收；也會遲遲的穿過物體；可是它總是常在以太裏的。

光，雖是以太波，還是要有物體發動它。世界上的光，都是由發光的物體而來。菜油燈的光，是發光的氣體構成的；電燈泡裏的細絲是發光的固體構成的；太陽、星球以及各種能夠自行發光的物體，都是由發光的物質構成的。但是我們所看見的東西，並不都是發光體，如月球以及我們眼前的許多東西，若無外來的光照及，我們就無法知其存在；這種祇會反射光線的物體，我們稱爲不發光體。

物體由原子造成。原子的本身就是光的根源。譬如，我們把一個鐵球，在空氣中運動起來，可以使空氣起一種波動，成爲我們叫做聲音的聲音。假使把它燒熱，就可不必去運動它，它的原子自會用一種方法運動，發生我們稱爲光的以太波。任何物體都被以太包圍着，像魚被水包圍着的樣兒。魚的尾巴在水裏擺動，

我們可以看見水因魚尾的擺動而生的水波；這和物體裏的原子運動而生以太波是同一情形。若是鐵球不十分熱，這種特別的波將成爲紅光；再加以熱，便發生白熱，因爲這時的鐵球裏的原子發生混合的波，已成爲白光了。

原子都能發光的話，固然也可以說；但若加以仔細考察，却可以知道它是高鐵造成的。倘若品質不很純粹，除鐵以外，還有別的元素的原子的話，它們也會各自發生特別的波來幫助全部的光；而且當這光被分析後，就可知道裏面有鐵的原子，鈣的原子；像知道有鐵的原子一樣。

各種原子是絕對不同的，它們各能自發一種特別的光。這些不同種的光譜叫做各種原子或元素的光譜，例如：鐵光譜，氧光譜之類。研究光譜，不僅是因爲它能夠使我們解決許多化學上的事，天文學上的事，最重要的一點，還是可以靠它檢查元素。假使有種東西，看起來好像是元素，同時又不能斷定，我們就可檢查它的光譜。倘若它的光譜，和我們所已知的不同，我們便可決定它是另一種新元素了。

光是一種能力的形式。能力不能沒有來源。宇宙間的各種發光體，事也沒有新的能力加入，它必定會因放光放熱而變得又冷又黑。太陽是天空中的一個大發光體。我們的地球是依靠它的光線而才有生命的。但太陽也因天天放熱放光而在變冷着。到了它變冷時，地球上的生命也當然要死去了。就是別的行星上，要是依靠太陽的生命，也要一同滅亡。光的造成，就是力的消耗；太陽在消耗着力而沒有補充，當然是有變冷的一日的。——不但是太陽總有變為冷而黑暗得像其他的無數星球一樣的日子；就是各個明亮的星球，也難免要遭到同樣的劫運！

