

少年百全科書
第七類

地球

下冊

商務印書館發行

少年百科全書

第七類

地 球

下 冊



商務印書館發行

Library of Useful Knowledge
for Juveniles
Book of the Earth
The Commercial Press, Limited
All rights reserved

本書編校人以姓氏筆畫

編譯者 王昌讓 孔祥麟 朱厚錕

池邦敏 余 瀆 沈同治

余翔九 吳超海 吳長培

周傳儒 周育民 侯紹姿

施之澄 胡嗣義 俞 定

郭崇階 孫宗源 陳徽生

陳開懋 徐仁銑 唐鳴時

陳思義 陳體榮 高仕煊

景昌極 黃俊保 高爾松

高爾柏 章昭煌 張忠毅

張企留 葛益燾 萬良濬

萬國鼎 李柱馨 殷佩斯

殷懋劍 鄭 權 蔣維恩

蔣國鈞 蔡經緯 錢明遠

錢保岐 錢堃新 錢鳳林

謝錫林 顧德隆 鄭仲恩

校訂者

沈 壽 周 恩

任鴻鶴

段育華

曹惠軍

胡先驊

錢江春

謝樹梅

中華民國十五年十一月初版

回(少年百科全書二十册)

(每部紙面定價大洋 貳拾元)

(地 球 二 册)

(外埠酌加運費匯費)

發行者 商務印書館

上海北河南路北首寶山路

印刷所 商務印書館

上海棋盤街中市

總發行所 商務印書館

北京天津保定奉天吉林龍江

分售處 商務印書館

長沙常德衡州成都重慶廈門

福州廣州潮州香港梧州雲南

貴陽 張家口 新加坡

★此書有著作權翻印必究★

少年百科全書 第七類 地球下冊

我們眼光中的衆星

我們已經知道，太陽是恆星之一；換句話說，一切的恆星都是太陽。這個道理白魯諾 Giordano Bruno 早就知道了，不過到現在，纔能够證明出來。在現在時候，這個道理已成了天文學中最可靠的根據。世界上最大的一個天文臺（在美洲），因此就專門用着牠，來研究恆星之一的太陽，和都是太陽的恆星。我們所知道關於太陽的事，可以幫忙我們明白衆恆星。

我們一定要從頭上講起。我們知道在最古的時代，人類就研究這些星了，他們沒有望遠鏡，隨便什麼器械都沒有，他們所有的，就是一雙眼睛，一個頭腦。到亞西利亞人 Assyrians，埃及人 Egyptians，加爾底亞人 Chaldeans，和希臘人 Greeks 的時代，還沒有什麼望遠鏡，天文臺也是極少的，然而差不多一切關於星的知識，都給他們知道了，直到我們這世代，纔有些新的知識，因為有眼睛的人，若是願意去用他的眼睛，可以知道許多關於星的事。



頭一件事，人類所知道的，就是有幾個發光體，像恆星一樣的，在恆星中間跑來跑去。這些跑來跑去的星，就是「行星」，我們已經明白他們了。現在我們用「星」Star 這一字，去表明行星之外的星，這些星自古以來，人叫他做「恆星」，因為要給他和行星分別清楚。我們現在不用「恆」Fixed 字這個字，也有緣故的。一則，我們又叫行星只是「行星」Planet，並非簡單的「星」Star；二則，我們也知道許多恆星到底會動的，而且我們更有理由相信他們都是在那裏動。

不過若是我們每逢天氣好的晚上，去看這些星，我們就是看了一世，也看不出他們是動的。並且就是我們看幾個世代，看幾個世紀，大半的星，我們也看不出他們是動的。將他們互相比較起來，他們好像永遠不變的，雖然完全的一片天，在一年的各時候，或一夜的各時候，好像是移動的。例如冬天的天，從我們地球上看過去，是比夏天的天有趣得多。

人的眼睛看過去，星好像是一羣一羣的，這些一羣一羣的星，叫做「星座」。這些星座中間的星，各個的地位，夜夜不變，年年不變。所以若是六個星成一個冠冕的形狀，人家就叫牠做「王冠星座」，如此類推。這六個星的正常名字，就是「北方冠冕」Northern Crown 或「波里斯斯」Corona Borealis。我們可以在第八頁上找到牠，或者我們可以在天上找到牠。波里斯斯一字是從波里阿斯 Boreas 轉來的；波里阿斯是北風的神。但是在最要緊的，就是要知道從前人家所不知道的。

上古的人以為人住在一個球裏頭，四週圍有星黏在球殼上面。當我們看天的時候，牠好像一個圓頂，或是

一個覆碗，有人說過：那個覆碗我們叫做「天」。覆碗上有許多的星黏住，他們離我們好像一樣遠的。所以他們以為我們所看的一羣一羣的星，實在是一羣一羣的星，或是星座，有的天文家，竟以為這些星是黏住在一個球上，我們就住在這球裏頭。天所以好像完全移動的緣故，是因為這個空球完全轉動，所以這些星也跟着動。他們要解說行星行動的緣故，就杜撰出許多別的球。這個學說，自然是極複雜，極不可信的了；因為牠是完全錯的。這也就等於我們坐在一間屋子內看過去，想每件東西好像是在一個平面上，離開我們眼睛一樣遠的一般。這樣我們對於這個房間的觀念，是何等可笑的。但是實在講起來，我們是用透視法看這屋子的，因此我們知道，雖然在我們眼界裏，那些東西好像是在一排上，其實是一個離我們極近，一個離我們很遠。

空間的深度是我們理想所不能揣度到的。可惜我們不能够用透視法看天。若是我們能够用我們的眼晴，看出空間的深度，大半天文家所有的誤會，也不會有的了。隨便什麼小孩子，在天好的晚間出去看天，也能够改正這些誤會了。沒有多少時候以前，一個英國人，教我們一種法子，可以知道天的透視，或是空間的深度。他做了許多天的圖畫，使我們先是左眼看見，後是右眼看見。當我們兩隻眼，同時在這顯體鏡 *Starglobe* 上看時，那圖畫就給了我們一個天的透視。我們能够看見有的星很近，有的星很遠，雖然在天上看過去，好像他們是一樣遠的。所以現在我們可以明白那些星座，看過去好像一羣在一個平面上的緣故，是因為我們的眼力，不能够揣想到空間中的深度，牠的深度實在太大了。

不過自然我們要知道那些要緊的星座，因為他們是天上的界牌，並且若是我們要去找彗星，或是行星，我們

要拿他們做標準。在此我們可以得到一個極有趣的事情。那些「恆星」是不恆的，所以當他們動的時候，星座一定要變牠的形狀。我們也知道他們是果然會變的。第一件希奇的事，就是那些變動是極微的。我們有許多名字和記載，都是上古傳下來的。不過照大概看起來，現在天的表面，和人類研究星辰時候的天的表面，是差不多相同的。

我們眼力聽不到的變動。然而我們現在知道，有的星一秒鐘走十哩或一百哩那麼遠。這樣看起來，這些星離開我們不知道有多遠呢！因為東西越近，他們的變動越看得出。

第二件事，我們要曉得的，就是這些變動，雖然好像小得很，然而這些變動是有的。有什麼憑據呢？頭一件，我們知道有幾個星座，古人沒有給他們名字，近年來纔為他們題了名字。我們知道那些古時的天文家，很肯用工夫看那些星，并且也很肯給他們名字；所以我們很可以相信，他們所以不給這些「新星座」（我們叫牠做新星座）名字，是因為那時他們看不見他們的。這些星座的星，早已在天間行動，現在我們拿「新」字，加在他們身上，是因為幾千年以前，他們還未像現在清楚的合成一羣，所以那時也沒有星座的名稱。

星座的名字，都是按他們像什麼東西問題的。不過有的名字，看過去是很沒有道理的。然而這樁事，也可以幫我們證明這些星不是不動的。因為或者在這星座得名的時候，牠果然很像那東西的，現在卻就變得不一樣了。

天的南北部 若是我們明白地球怎樣轉法，我們就可以知道，在美國大半的地方，祇能够看見天的北部。

恰巧那些最有味，最好看的星，都在北部。這或者我們想是如此，因為大半的大天文家，都生長在北半球，而在南半球，祇有一個好的天文臺（在哥倫尼亞 Cape of Colony）。所以我們實在對於南部的天，也沒有知道到我們應該知道的那麼多。

不過無論如何，在北半球的人，至少應該要知道幾個最妙的星座。這些星座，用不着什麼別的器械，就可以看得見的。一雙眼睛，一隻頭腦就夠了。那些希臘人，也不過用這兩件東西，就發現了數不盡的事實。這課書中的圖畫，告訴我們，什麼星我們應該知道的，我現在要提起他們中幾個要緊的星。不過這些圖畫上，缺了一件東西，或者要使這圖畫不清楚了。這個東西就是天河的北段。所謂天河，乃許多的星，聚成一條大帶，環着完全的天，絲毫不斷的。

古時天文家給星題的古怪名字，我們都應該知道，那七粒組織成大熊的尾巴，和一部分身體的星。這七粒星好像一把犁，我們有時也叫牠做「犁星」。若是我們看見他們，我們就可以找到北極星 Polaris。犁頭的前面兩粒星，叫做杜白 Dubhe 和米拉 Merak，在他們一條直線上的一個星，就是北極星。一直向北極星看就是北方了。現在再說到那大熊。倒湖大熊的尾，我們就可以看見一粒叫做獵人，或阿克脫拉斯 Arcturus。這個星是最亮諸星中的一個，人家叫最亮諸星爲「一等大老」“First Magnitude” Magnitude 就是拉丁字大的意思。阿克脫拉斯是飛得最快諸星中的一個，人家想牠每秒鐘要走一百哩路。

還有一個很容易看見的星座，形狀好像一個大W字，牠叫仙后，或卡息奧多拉 Cassiopeia，或椅中婦人。

「那些我們在夜間抬頭向天宮看時，就覺得大部分的星都是聚結成團的。這些都叫作「星團」。有些星團有極奇異的名稱，因為古時人按着當時所拜的神題的，還有是看起來像什麼東西而題的。現在我們看起來，這些星團毫不像什麼東西，有些現代的天文家說，恐怕有許多星的地位已是變動了。圖中所示，就是古人所畫的星團。看這圖時，最好向南立著，將這圖放在頭頂上，使上端向北，那就分外容易明白了。

這個星座，不會給人看錯的。

一個很美麗的白星，也是「一等大老」之一，牠的名字叫瓊鷹，或維加 Vega。牠是在絃琴 Lyre星座中間，在天河的旁邊的。牠是特別的有趣，不但因為牠是美麗，並且因為太陽和地球，現在正向這顆星用每秒鐘十二哩的速率走過去。

很近仙后有一個星座，叫做英仙，或百爾修 Perseus。牠的形狀，好像一個大L字，在那大W字之下。這個星座是有趣的，因為牠中間一個星，是一個雙星，叫做怪物，或阿古 Argol。阿古實在是兩個星，一個亮的，一個暗的。這兩個星，轉來轉去，有幾天中間，那暗的就使那亮的蝕了一半，所以這星是忽明忽暗的。

二月裏天上的奇觀 第十二頁上的星圖，給我們知道，在二月左右我們可看見的奇觀。在英仙的下面，不是像小牧羊，或卡珀拉 Capella的向左，是在右，並且比牧羊還低些，有一個星座，叫昴宿，或普雷雅德 Pleiades。天上沒有東西，像這星座好看。牠是一個真的星座，因為牠的星是真的聚在一羣。用肉眼來看，若是我們運氣好，我們可以看見七個。用鏡看，我們可以看見許多。我們用望遠鏡和一個照相機，我們可以照出三萬多星，有的是星，有的是星雲。在天的隨便什麼部分，沒有這麼一大羣的星，像這個昴宿的。現在你看下去，由昴宿向左

夏 季 星 圖



少年百科全書 第七類 地球下冊 我們眼光中的繁星

(圖註)這種以動物名稱分星座的方法現在的天文家還是採用着，因為用得久了，要是改變一下，便要發生許多困難。其中一個弊病實在很容易舉出的，因為他們就是造成大熊的背和尾的七個星。古人將這些星座顯明之後，又編造出來許多故事，講到那些星是怎樣會有的。大熊背中間個星一直過去，就是北極星，更給與我們不少便利。

些，你就到了紅光燦爛的另一個「一等大老」叫做從者，或愛爾地不蘭 *Aldelarn*。再朝下朝左些，就是那最明亮最出名的星座，獵戶，或奧賴溫 *Orion* 了。在星圖上，可以看得出獵戶的羣星，聚在一起成了一個打獵人的形狀。有三粒星一排，像他的腰帶。還有略小些的三粒一排，像他的劍。這小的三粒星中間一粒，可以算是天最希奇的東西了。牠實在是一個星雲，並不是一粒星。在這個星雲中間，至少已經有六粒星變成了，將來必定還有許多星會變出來的。再朝下朝左些，我們就要看見天狗星，或賽立阿斯 *Sphinx*。牠是全天空中最亮的星；人家稱牠為「天軍的領袖」。但是我們不可想就是撞總的星，離我們一樣遠，天狗星也是最大的。天狗像阿古一樣，也是雙星。牠也有一個暗的星，不過這個暗的星，不走到地球和天狗之間，所以天狗的光度，是不變的。

在晚上去睡的時候可以看見的奇觀。上文所說的是天上最好看的美景。不過在這部分天中間，還有三個星，我們如今要提起他們，那是很容易看見的。一個叫做卡斯忒 *Castor*，一個叫做波勒克斯 *Pollux*，他們是雙人星的兩個頭。雙人星也叫做哲米沉 *Gemini*。還有一個叫做先兆犬，或普陸克尼，是小天狗星座的身體。若是你們拿這些星記好了，一遇機會就去找他們，你們就很容易的認得他們了。并且這樣天空就變成很有趣的東西了。若是你們說，你要早睡，這個是不相干的，因為許多的星，差不多在小孩子去睡的時候，就看得見

(圖註)我們大家都知道有黃道 Zodiac 這個名字，那就是我們的太陽系在那裏運行着的一帶天空。牠共有十二宮，在這四個星座圖裏，都可以看出牠們來。牠們的名稱是在二千五百年以前訂到的。

了。就是那時候看不見，也遲不了多少。

而且起先我們以為我們不能知道那個星是亮的。可是無論什麼人，他若是有眼睛，他一定能夠知道，天狗星是比較牧熊者 *Arcurus* 亮。並且牧熊者是比較普雷雅德中間無論什麼星都亮。並且我們若是要量他們光度的相差多少，也是不難的。譬如我們可以比較這些星，印在照相乾片上所需的時候。若是我們當那些星光性質相同的（雖然我們不可以當他們如此），當他們印上乾片時，我們就有法子比較那些星的光度了。

何以我們不能明白星的真光 但是，我們再想想，我們就會知道，這個法子和用眼睛看的法子和別種法子，都不可以量出星的真正光度的。我們可以明白，照我們看起來，他們是若何的亮；我們可以明白那光線傳到我們的時間，是若何的強，但是這又是一個問題了。月亮不過受太陽的照射，尚且好像比天狗亮得多，然而天狗或者比幾百個太陽還亮些。星的遠近，有太大的影響，正如燈塔的光，受遠近的影響一樣。

所以我們用這些法子所量的光度，不過是我們眼光所看見的光度罷了。就是講到天狗星，雖然我們以為牠是最亮的，或者還是最暗的也說不定。牠好像是最亮，或者不過是因為牠是近些罷了。所以我們若要知道星的光暗，一定要先知道他們的遠近。

星的遠近，是他們的頭一個大問題。世界上的天文家，都在研究牠。現在許多星的遠近，大概都可以知道

圖 星 季 冬



少年百科全書 第七輯 地理下冊 我們眼光中的夜空

(圖註) 古希臘文學家荷馬、Homer 和希西阿、Hesiod 的文字中所描寫的星座名稱，有幾個和我們現在所用的是相同的。例如大熊、獵戶、天狗等類。這些星座在這個冬季單星圖裏都可以看出。舊約聖經中，也有許多和現在相同的星座名稱，我們讀約伯記三十八章三十一—三十二兩節就可以知道。

了。他們是用以下的方法算出來的。

人類如何算出星的遠近 若是一個東西很近你的頭，你的頭一轉，這個東西的地位好像也變了。就是你起頭用這個眼去看，後來用別個眼看，牠的地位好像也變了。若是你知道，你兩眼相離多少，你就可以量出來，這個東西離開你多少。講到行星，或是月這些東西，我們可以先從一個地方看牠，是在什麼地位，後來又從別的地方看牠。那地方的相距，或者可以幾百哩。幾百哩的底線，很够量行星和月了。正如兩隻眼睛的距離，很够做一條底線，去量一枝鉛筆離我們的遠近。但是恆星離開我們太遠，無論你在地球上拿那一樣的線作底線都是太短。

我們怎樣做呢，我們又不能離開地球？有了，我們可利用地球繞太陽的行動。我們可以在一天晚上看星一次，然後等六個月以後，再看一次，那時地球跑到太陽那邊去了。這樣我們可以有一條一萬八千六百萬哩長的底線了（這個是地球離太陽距離的雙倍），用着來量有些星的遠近了。但是雖然這麼大的距離，仍舊有時還沒有什麼用場，因為有些星，離我們的距離，實在算也算不清的。

天文家如何知道看不見的星的「重量」 有時我們說，我們能等稱星的重量，但是「重量」這個字，這個地方

不應該用的。若是我們說這本書是多少重，我們意思是說這本書受地心吸力多少。要是地球忽然沒有了，這本書的重量，差不多都要失去，只有太陽的吸力使牠留下一些重量。但是這本書所有的材料，還是沒有變過。這種不變的材料量，我們叫牠做「質量」，而我們所能量星的就是這個。我們若說星的重量，那就沒意思了，雖然我們知道了牠的質量，我們就可以知道，那星放在地球上，牠所受的吸力多少，就是有多少重量。

我們有時可以量一個星的質量；若是那星附近還有別個星，因為我們可留心牠的行動，如何受那星的影響。譬如我們曉得天空中有無數的雙星，他們互相環繞着轉，他們的吸力互相影響他們的行動。而他們的吸力的大小，自然要看他們質量的多少，因此我們就可以量牠出來。這樣，我們也可以量着不見的星的質量。這件事我看可以算是天文學的大勝利。

星的大小，我們不能夠用什麼直接法子去找出來，不過能夠猜猜罷了。這是因為我們沒有法子看得見星的圓體，所以也不能夠去量牠的直徑。望遠鏡既然不能做這事情，而星光的研究，也不能表明牠的大小，所以要量準牠的大小是很難的。

天文家如何用他們的能力去算星的大小。但是我們也不是完全隔膜的。因為若是我們能夠知道關係一個星的別的事，我們至少也可以猜牠的大小。譬如我們知道了他們的遠近，他們的光暗，他們的質量，我們就有一點法子，猜他們的大小了。不過就這幾樁事情的本身，還很難知道，而結果也很靠不住，所以我們所能夠說的，就是這個星，或者比太陽大幾倍，因為牠的光是這麼多。這樣還不敢相差過遠。

末了一件事，我們在此地要說的，就是星的數目。要知道這個，一雙眼睛和一個頂大的望遠鏡是不夠的。我們一定要照相的乾片，牠能够看見的星，比眼睛看見的來得多，因為組織乾片的物質，比組織網膜 Retina 的物質，比較容易受感覺些。用這樣法子算出來星的數目，大約是一萬萬顆。這個自然是一個大數目，但是牠也不過比美國人民多一點。

天空中究有多少星 若是星的數目是無窮的，照相機和望遠鏡，既然常常進步，自然他們所照見的星的數目，應該一天一天的多起來。然而現在所發現的，並不會多些。我們還有別的緣故證明，看得見的星的數目既有限，看不見的星或者也有有限的。我們這一個宇宙的星是有限量的，不過或者空間中別的宇宙，還有許多數不清的星。

星的顏色

我們運用三種器具，就能研究恆星，而得到許多知識。這三種器具就是：眼睛，望遠鏡，和照相機。望遠鏡使眼睛所看的格外精確，格外分明；照相器的益處是對於某種的星光，眼睛或最好的望遠鏡所看不出的，牠能覺察到。不過這三種器具無論我們如何利用着，無論他們如何發達，他們所能做到的，只顯示出天上幾點的光，使我們能比較從地球軌道上各處所看見的恆星的樣子（在前一課我們已經論到這事）。我們現在還沒有希望能看出他們的渾圓全體；最近的恆星已是這麼遠，看過去也不過是一點的光。但我們還能用上述的器具多知道

些關於他們的智識；因為我們能觀察他們互相加於他們行動上的影響，因此就可以曉得一些他們的大小或重量。

上述的考察是不可缺而且極有興味的。我們可以稱牠為敘述的天文學——恆星的敘述的研究。但我們所要達到的智識，超過於單靠這些器具所能做到的。我們並不以畫出天空的圖，做星名的目錄，測量星與星間的距離為已足。無論什麼科學，一定總有一個更進一步的研究。不論你研究化石，或星，或天氣，你的目的，一定不止於敘述而已，即使你的敘述本身是極有興味而且極精確的。

我們在各科學中所求的目的，總不離於說明或解釋。除非我們精確知道我們所要解釋的事實，我們自然不能解釋牠，所以總要先從敘述著手。從前世人還沒有懂得科學的性質時，他們常常未到自然中去求事實以前，即試下解釋，以致他們的解釋不免於錯誤或無用。我們現在知道無論在什麼科學中，精確的敘述總須先來的。但我們千萬要避免別種的流弊，就是：別要以為精確的形容或敘述一件事，就是等於解釋牠。人類的性情總歡喜故步自封，容易滿足。但我們知道學問是沒有止境的，就是正確的解釋的本身也須解釋——這等於說，無論什麼原因總有再進一層的原因。現在我們把這個教訓應用到恆星的研究上。

我們在我們短時期的生命內觀察天象；換句話說，人類在他的生命的短期間內觀察天象，我們不但要看並且也要懂。單曉得某某東西在某某地方，這是不能算為滿足。我們要曉得他們在人類沒有發生，地球沒有或功以前的無數世紀如何變成的；他們在我們死後，地球毀滅後，要變到什麼樣子？我們不但要知道那裏有什麼

東西，我們並且也要曉得那裏有什麼變動發生？我們現在要明白：眼睛、望遠鏡、照相機這三種器具，雖然在已往已做了不少的事，將來還有許多事等他們做，但他們不能答覆我們不能不問的問題。

擴張人類智識的奇巧器具 還不到半世紀前，世人都以為天文學一定有一個止境。除了一向在進行製造更大的望遠鏡，更精的照相機外，沒有人想到更有什麼進步的新路了。至於知道星是什麼東西構成的，星中有什麼變動，一時好像沒有什麼法子可以得到這些知識的。當時有一個大學者（已死了不止半世紀）竟宣言道：人類永沒有希望能知道星的結構的了。

可是接着就有一個新發明的器具出世，幫助天文學的發達。這新發明的器具的功用也是敘述的。但這種的敘述卻和以前的敘述大不同。牠使我們越過一大段的路程，直達真正屬於解釋區域的邊界。牠告訴我們星的已往歷史和將來的運命。我們因之現在方纔能開始所謂『新天文學』的研究，這是直接根據於這個新器具的發明的。我對於這一點要特別注重；因為對於無論什麼學問這是一個好教訓。無論什麼知識都要依靠方法和器具。每一個方法或器具，都有牠的不可測的前程，但也有牠的界限。所以每有一個新方法或新器具被採用，那一部分智識的歷史便開一個新紀元。望遠鏡和顯微鏡的發明——在他們本身不過是幾塊玻璃的一種安排法——也是如此，在智識的歷史上卻創了一個新時代。

分光鏡所提出的恆星的真顏色 正有一個器具，也不過是幾塊玻璃的安排在一處，而影響卻不減於望遠鏡或顯微鏡。這器具的名稱是『分光鏡』Spectroscope。Soope 的意思是『看』，Micro 的意思是『小』，Tele

的意思是「透」，Stereo 的意思是固體，那末 Spectro 的意義是什麼呢？

「一線白光，經過一塊兩面不平的玻璃時，分裂為構成這白光的各種顏色。所以一線的太陽光，穿過一塊三稜鏡時，便分解為一個顏色帶，稱為「分光色帶」Spectrum。分光鏡不過是一種把無論什麼光分為色帶的器具。一個小的分光鏡可以帶在身邊口袋裏，你若隨時隨地把它對着火，或火焰，或電光，或無論什麼顏色流質，你便立刻可以看見一束的顏色帶，那就是你面前某種光的分光色帶。這種分光色帶可以一絲一絲的提出來研究或分析，所以分光色帶的研究，也稱為「色帶的分析」Spectrum analysis。」

「分光鏡所關的智識的新田地，這個小小的器具，竟發現了一個新世界。我們把這分光鏡來照各種發光的東西，我們便立刻知道：無論什麼發光體總射出一種特具的光，或都有牠的特具的分光色帶。無論什麼化學原素，我們如果能使牠發光，那麼牠的光一定會顯出特種的色帶，和別種光素的色帶完全兩樣。所以如果你把分光鏡對著煤氣火焰，你可以從顯於你眼前的色帶，立刻斷定到底裏面有沒有鈉，炭，鉀，銦，等元素。我們既然能對於煤氣火焰施這方法，我們自然也可以把這法子應用到太陽或恆星上。這就等於找到了解恆星結構成分的祕鑰了。你如果抓一把鹽丟在火焰裏，一種明亮的黃色便立刻顯出來。這是極分明的，就是肉眼也能看出。但如果你隔了分光鏡來看牠，你要立刻看見鈉的色帶出現。所以你能斷定這火焰裏一定有燃著的鈉。從恆星的顏色來推測牠的成分，這是很有趣味的試驗，並且能告訴我們：肉眼所看不出的極少量的鈉，可以用分光鏡察出。用分光鏡對於太陽，恆星，或彗星施同樣的手續，我們可以斷定說：「那裏有鈉的成分。」現在

大部分的天文學研究都是專注於太陽、行星、恆星的色帶的分析；所得的結果極可驚。這裏我們自然只能講一些他們所發現的幾個最重要的事實。

第一，我們從分光鏡所得的結果，沒有人能預料得到的。我們知道，望遠鏡和照相機能指示恆星的動作，但如果我們想一想，我們便知道，他們所能指示的星的動作不難於橫跨空中的行動。但假如有一個恆星循我們的視線 Line of vision 向我們進或離我們去，無論行動怎麼快，望遠鏡一點都不能告訴我們了。

恆星在無限的空間中的行動，經過了長久的時間，望遠鏡自然也會指出恆星的光明的增減，但我們無從知道，這還是由於恆星中的什麼變故，或由於牠的行動，而分光鏡卻能告訴我們，循我們的視線而進退的恆星的行動，以及行動的速率。從這裏所得的結果，增添了不少從前望遠鏡所得關於星體行動的知識；並且使我們漸漸的粗知恆星世界關於行動方面的大略。但我們先得知道分光鏡如何幫助我們得到這些智識。

如果我們立在火車站裏，聽一部在行動的火車的聲音，我們便覺得火車朝我們進時，汽笛的聲調漸漸提高；反之，火車背我們去時，汽笛的聲調漸漸降低。聲調的高低看每秒鐘達到我們耳朵裏的聲浪的數目為升降。當火車朝我們進時，汽笛的聲浪自然互相朝前擁擠，所以聲浪的數目增加；而調子也升高了。當火車背我們去時，聲浪中的間隔延長，而調子也降低了。這個原理的發現，起先是關於聲音方面的，但也可以應用到光上去。對於火車的聲音，或機器的笛聲發出的聲浪固然可以應用，對於恆星發出的光浪也可以應用。所以如果恆星循我們的視線行動，牠的光浪要依牠的進退而擁擠或延緩。

恆星是照直行的還是彎着走的。利用分光的方法，我們能够察出恆星光的變化，使我們能發覺牠在我們視線上的行動——從前人以爲這是不可能的。

現在用着望遠鏡和分光鏡，我們來研究這許多關於所謂恆星行動的知識，我們想大家一定要曉得，對於恆星的行動能否找出什麼普遍的法則來？譬如說，宇宙中有沒有什麼中心點給一偉大的恆星所佔住，四周環繞著別的恆星，正如行星繞太陽一樣？許多人這樣想。但我們沒有什麼證據，而別種相反的證據到有些。從地球和別的行星以及彗星的考察，我們知道各天體的行動，是按圓的或橢圓的軌道走着，並不是向前直進的。我們自然會問：那麼恆星是不是也照相類的軌道走，或是一往直前的呢？照現在所集得的證據，我們還不能察出恆星的彎曲軌道。但我們要記著，我們關於恆星的智識還是幼稚得很；即使恆星的軌道是彎曲的，牠的彎度一定是極廣大的，恐怕沒有幾百年的觀察，不能斷定牠到底是彎的還是直的？

還有一個問題，是關於天河的行動的。天河大家知道是一道的星帶，太陽多居於牠中間的某處。我們眼睛看過去，好像牠的各部和我們的距離是相等的，雖然我們不敢十分斷定，大概是很近一個圓圈的。我們知道一些天河中恆星的【正當行動】(Proper motion)是恆星的一種表面的移動，據推測，實際是在空間行動的，(但我們很希望能知道，這偉大的星帶，到底有沒有全體的自身旋轉？我們現在還不能說。

是否有兩個恆星羣互相對衝衝過去。有一個德國天文家，已經專心研究了幾年恆星的行動，現在一個英國天文家在格林威許 Greenwich 繼續着那德國人的工作。他們倆的研究漸漸使人知道恆星的行動，能給

人猜想不到的事實。

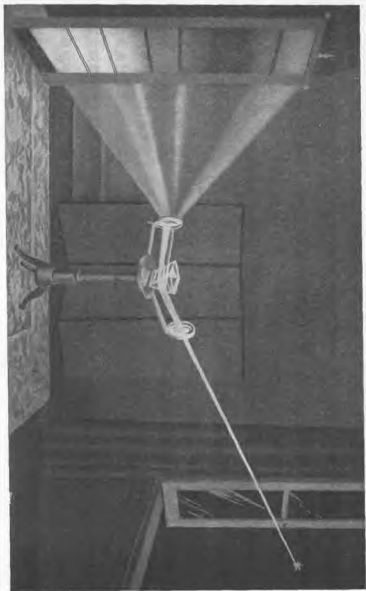
第一，即使太陽和地球的行動（這行動使我們覺得恆星有特定的趨向）不計，恆星的行動也不是雜亂無章的。即使完全把這個例外，恆星的行動很明白的顯出有某種的趨勢，那就是這些行動，全體看起來，成爲兩個潮流，照相反的方向前進。一個潮流要動得快些，但兩個都在動的。我們的太陽好像是屬兩潮流中之一。這樣子看起來，空中好像有兩條的恆星。

這樣，我們知道我們看得見的恆星都屬於這兩個系統，從前或許是相距極遠的，現在正要互相穿過去了——這實在是很可駭的觀念。在無窮的空間中，還有多少這樣系統，那就沒有人知道了。

從恆星的化學研究所得到的知識，自然不用說，到處的天文家都在精心研究卡普登 Kapteyn 教授的這種學說；而我們現在關於恆星的行動，所得的智識，只不過二三十年中所發明的一些鱗爪。但至少我們總可以從今起，永遠廢去恆星是不動的這個觀念了。

分光鏡貢獻於恆星行動的知識是極寶貴的，牠所有的成績，我們想沒有別的東西可以來代替。但這還不過是牠所能教我們的知識中的一小部分，因爲前面已提過牠在知識上又開了一個新境地——恆星的化學。恆星化學和恆星行動這兩種研究，都還在幼稚期中，大部分還不離形容或敘述。但我們已開始能說明我們所敘述的現象。

恆星化學的研究所得的最大的結果是：凡在空間中，我們所能見到的，所有構成天體的諸元素，都是和地球



(圖註)這圖指示我們分光鏡的用法，如何去將一個星光，穿過了三種鏡，分成各色。各種金屬有各種的顏色，因此我們可以知道星體是什麼東西造成的。

上相同的。

恆星中的元素正如我們在分光鏡中所看見的。我們在鈉或銨燃燒時，所看見他們分光色帶中的花樣，正如我們在太陽和別個恆星的分光色帶裏所看見的一樣。同樣的原因發生同樣的結果，這是沒有人敢否認的。所以我們可以斷定：鈉、銨，和其他的元素，都存在於恆星中。不但如此，恆星分光色帶中所有的花樣，沒有一種不能歸於我們所已知道的元素身上。這些發現不但在狹義的科學中，而且在知識的本身上有極大的意義。構成天文家或讀者眼睛的各元素，竟可以在極遠的星面上看得見正在燃燒著，而這些星離得我們那麼遠，他們的光或者竟要走上千萬年，才到我們地球上。在廣大的空間中，無論我們向那一方看，無論在什麼星中，我們有極明顯的證據斷定，那裏也有我們現在所呼吸的各種原子——構成空氣、海和地球的原子。如果我們以前沒有資格用宇宙這兩個字，現在我們一定够得上。因為現在分光鏡能告訴我們，構成我們身體的元素正在極遠的恆星上燃著，或當牠的光出發時正在燃燒。

在分光鏡的各種發現中，這個發現要算最偉大或最有意義的了。但得了牠的幫助，我們所知的還不止於此呢。我們知道各恆星的色帶，並不是一樣的。恆星可以依他們的色帶分類。這種分類可以使我們由敘述進而為解釋，因為分類就能知道恆星的歷史。

恆星的三種分體法 恆星可以約略依他們的色帶分爲三類。這種分類法，比我們向來依光暗的分類一定重要得多。在第一類，最熱的一類裏，我們有證據證明，他們有多量的輕氣和別的氣體。他們也稱爲「氣體的恆星」。第二類熱度較低些，稱爲「金屬的恆星」，因爲他們成分裏顯有金屬如鈣，鎂，銅，鐵等的存在。第三類的則更冷些，有時稱爲「炭氣恆星」，因爲炭氣是他們成分中最顯著的部分。

現在我們得了這些知識，便可以知道他們和恆星歷史間的關係。假使這是在古時，大家一定以爲各種恆星初成時就是如此，從古到今還保持原狀，正如從前的人以爲地球上各種元素和各種生物，一向是這個樣子的。現在卻不然，我們已知道進化的觀念——這觀念告訴我們說：萬物都是由別的東西發達或進化得來的。

恆星中比人類生命還要長的變化 我們差不多可以深信，我們所能辨認的三類恆星，可以表示恆星歷史的三時期——每一時期所經過的時間極長久，以至自有人類到今的時間，還不够察出他們中的變化。我們相信最熱的恆星是年紀最輕的。牠漸漸的冷去時，牠的成分發生變化，而金屬出現了，最後炭便成爲其中最顯著的元素。

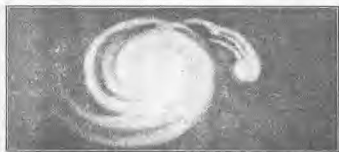
此後這個恆星再冷下去，直到牠失去光明時爲止。過了這時期後，我們不能再用分光鏡來研究牠了，因爲牠已經沒有資料給分光鏡考察，我們不能再看見牠了。我們只能爲了牠遮蔽別個有光的星，或牠的吸力影響於別個有光星的行動，間接的知道牠。大概恆星有光時代，是比較要短些；過了一個光明的少年時代，牠便沉沒於一個長時期的黑暗中。

我們自然會追問：那麼這些熱的，白色的輕氣的恆星從那裏來的呢？如果我們要使我們的敘述成爲完滿的敘述，那麼我們一定要找出黑而冷的恆星，如何再變爲白熱的恆星這一條路。

恆星會不會消滅後再變爲恆星 天上的情形並沒有顯示萬物已近盡頭的徵象。反之，天上包有各時期的恆星，並沒有到盡頭，或方開始的表示。那麼黑暗的星，一定有一條路可以復興，我們現在就是要解決如何復興這問題。我們研究星雲時，可以得到答覆這問題的秘端。

星的構造史

天空間到處都有一塊一塊像雲的東西，我們叫牠做「星雲」。這些星雲是極大的，他們所佔的地位，比最大的星還要大。但是組織他們的物質是極淡薄的，所以星雲的分量，和他們所佔的地位比起來，卻是極小。我們讀牛康教授 Professor Newcomb 所說的話，可以略略知道星雲到底大到什麼樣子。他說：「一個不過像日系這麼大的星雲，或者就是最大的望遠鏡，也看不見牠。並且除非牠是特別的光，永遠不能夠印在相片上。我們所看見的星雲，比太陽系要大到幾百倍或幾千倍哩。」



現在已發現的星雲，已在五十萬以上，其中至少有一半，都帶着這個螺旋形的，雖然這個大熱的氣體旋轉得如此厲害，我們就可以看見其中一部分拋了出去，有人想這就是和我們地球日球一類的道理。

沒有多少時候以前，人家以為天上沒有多少星雲，因為他們所能看見的是很少的。若是他們真是少，我們就不能說他們是能夠做許多星出來了。近年來，我們發現出來的星雲數目是很大的。在本世紀開場的時候，他們說星雲的數目，大約是幾萬。二十年以前，他們算出來，我們所知道的星雲，大約有十二萬之多。但是加利福尼亞 California 地方，力克天文臺 Lick Observatory，又幫忙我們看見許多。現在算起來，看得見的有五十萬。這個數目，自然到五十年以後，又要算是太小了。然而我們很應該約略知道，如果星雲是未成的星，那個學說是真的，他們的數目一定是大的。

現在我們要論到一個很重要的問題。若是離開地球極遠的地方，有一大羣星，看過去會不會像一陣雲呢？我們的回答，就是他們一定是像的。我們知道，天上有這些一羣的星，他們的遠是不可限量的，恐怕我們所謂星雲的說不定就是這些一羣一羣的星，聚在一起。因為他們離我們遠得很，所以不能將他們一個一個分開來看。

六十多年以前，洛塞爵士 Lord Rosse 造了一個大望遠鏡——在當時算是最大的，力量很強，因此看出來許多東西，起初人家以為是星雲的，其實都是羣星聚在一起。因為他們遠得很，所以他們的形狀就像雲。天文家當然常常要想，如果我們有再大些的望遠鏡，我們就能看出攏總的星雲，都是羣星聚在一起了。這樣看起來，有的時候，真理的證見，是永遠不能夠得着的了。因為若是我們有了再大的望遠鏡，所看出的星雲，應該果然是星雲了；然而安知這些星雲，若用更大的望遠鏡，看起來不又是羣星呢！

但是上課書所說的分光鏡，可以有大了。用了這鏡，天文家證明出來，天上果然有星雲。他們完全是氣體做成功的，他們果然是發光的雲，并不是星。

我們從星雲發的光所得着的智識，我們要明白這話對與否，要看我們對於分光色帶的知識如何？我們知道，我們驗看熱氣所發的光，是沒有一條像太陽光一樣的連續色帶的；只有許多明亮的直線，夾在黑暗的空間裏。所以我們拿分光色帶，分成兩種；一種叫做連續的，一種叫做不連續的。連續的分光色帶，是一色的帶，牠的來源，不是完全氣質發光體所發的光。不連續的分光色帶，有許多明亮的直線，在暗的背景上。他們表明那發光體，是完全氣質的。現在已明白（英國天文家哈金茲 Sir William Huggins 的功勞居多）有許多星雲的色帶，是不連續的，所以知道他們果然是氣體。我們起初講到星雲，能够成星的學說，我們是指着太陽系說的。德國大思想家康德 Kant 年少的時候，就有這意思，後來由法國算學家拉普拉斯 Laplace 完全證明了。他說太陽系是從一個球形的大星雲做出來的。他想這大圓球自轉的時候，就漸漸的變平，牠的外圍漸漸的一環一環的落下來，就成了行星。

做成我們世界的星雲形狀 這個學說，現在沒有人相信牠的。太陽系和別的系，都不是這樣造成成功的。一圈一圈的物質，不能像上文所說的那樣落下來；即使他們能够，他們也不能縮成行星。有許多的事，都和這個學說相反的。并且我們知道，在星雲之間，沒有一個是圓圈的，就是單單這一件事，已經能够推翻拉普拉斯的意見了。甚至絃琴星座裏那個美麗的星雲，也不是一個圓圈。

除卻球形的星雲之外，拉普拉斯不知道別種的星雲。但是我們現在所處的地位已是不同。當洛塞製他的大望遠鏡時，他不但發現出許多的星雲，並且發現一種叫做「螺旋形的星雲」。我們都知道螺旋形的梯像什麼樣子，但是我們不可以以為螺旋形的星雲，也像這個樣子的。他們是平的，不像梯形一樣。在第二十五頁上有一個螺旋形星雲的小照，牠的樣子很像燒着的螺旋焰火。

明代改革帝位與滅天上的東西只是慢慢的變遷。起初的時候，人家不很相信這個新發現的事。一個法國人說：這是一定因為當拭望遠鏡玻璃的時候，他們不當心，在玻璃上留下了一個螺旋形的痕跡，所以洛塞看見這麼一個星雲。但是現在我們知道，這些螺旋形的星雲是真的，並且是很多的。我們所知道的星雲中間，至少也有一半是螺旋形的。我們所拍的照越好，我們越看得出牠是螺旋形的。

既然許多的星雲，都是這個形狀，自然他們並不是碰巧這樣的。天上的事，都是意料所想不到，若是不過有一個，或是五十個，或是一百個星雲是這樣的，我們或者可以想，這不過受了特別磨擦，碰巧這樣的。但是我們既然看見還不止一半的星雲，都是這個形狀，我們自然要想，這個特別的形狀，一定在星辰構造史中，代表一個特別時代的。我們研究螺旋形星雲的小照，我們要看見許多的現象，好像星和太陽都在牠中間，漸漸的構造起來。因為有的地方，星雲好像漸漸的凝結起來。這樣看起來，這樣的星雲，一定正在構造一簇一簇的星的時代。那些一簇的星，就是這個時代以後的一個時代了。像我們太陽系的這個東西，牠裏面不過有一顆星（恆星），一定是個簡單很小的星雲構造成功的，比我們所看得見的螺旋星雲小得多，簡單得多。到底天上有多少比這個

還小的星雲——太小了，看也看不見，照相也照不來——我們也不知道。或者我們所看見的，不過是極大的星雲，就是這一簇一簇的星的星雲，不是那些構造單顆星，像我們太陽一樣的星雲。

研究螺旋形的星雲的時候，分光鏡又是很有用的。我們已經說過，他們看過去，好像有的地方，正在那裏變硬——好像有的星要在牠中間構造出來。分光鏡可以證明這個，因為螺旋形的星雲的分光色帶，不是完全不連續的，但是牠是不連續的，和連續的混在一塊兒。

若是一個螺旋星雲，要凝結成一簇星，或是一個小的螺旋星雲，要凝結成一個像太陽的東西，這個星雲一定會旋轉的了。要是我們能看見一個螺旋星雲旋轉，那就快活了。但是這個事，是做不到的。我們一定不要忘了，我們所看見的東西，都是大得了不得，所以就是我們拿我們的太陽系加到他們裏面，加了又加，也沒有什麼影響。這些旋轉是看不見的，不過我們有許多緣故，可以相信這些星雲會旋轉的。我們的責任，就是將這些我們所看見的事實，準確詳盡的記下，待後世天文家，來證明這些星雲的確是旋轉的。現在我們相信他們會旋轉的，我們就很容易明白那些星和行星，如何從螺旋形的分枝上落下來。並且有許多的小照看得出，他們好像是這樣的，雖然我們的性命太短，不能夠找着確實的證據。有一個著名的人說：『天上有許多螺旋形的星雲，他們好像環着一個中心點旋轉，但是要到許多年代之後，他們纔能夠變成太陽和太陽系。可是在星的進化史裏，萬代不過頃刻，我們用不着希望，在我們這麼短的性命裏，可以看見他們的旋轉，和他們的凝結。帝王與滅，朝代改革，但是天上的事，只慢慢的運行着，大概人類消亡之後，宇宙纔能夠走到牠的目的地。』

但是我不知道，我們可否用「目的地」這幾個字，或者自然的舞臺是沒有目的地的。總而言之，我們現在已經得着證據，可以知道，就是目的地達到了，新的起頭又要來了。

天上不絕的變遷 當我們研究星的時候，我們按他們的光暗，分他們歷史的時代。最後的時代，就是他們只是死的，暗的，冷的。這個時代，我們似乎可以說是他們歷史的終止，也可以想一切的星，都向着這個終止奔的，所以總有一天，宇宙中所有的，完全都是死的星。但是我們現在在星的構造史中，我們還看得見他們初期的東西，好像星雲等等。

所以新的起頭，一天一天還在發生出來，現在我們要知道的，只是如何發生出來的，我們可否假定死的星，有法再變成星雲呢？若是我們可以假定牠，那我們星的進化學說，就可以完全無可批評了。因為這樣，我們就可算這星的進化，不是像一條直線，乃是像一個圓圈，週而復始的。我們也可算天上所有的東西，代表這個圓圈的各時代。



這是南方星雲中的「舟」，有人想我們太陽系起初大概是這樣的。

天上的世界會不會互相衝突的。我們已知道天上的星不是一直在一塊的，乃是行動的。我們并且可以證明在星與星之間，有吸力的作用。既然他們互相吸引，既然他們的距離漸漸的變動，他們自然很有機會互相衝突了。

這個不但是可有的事，或者竟是已經有的事。若是一個暗星，一個明星，或是兩個暗星，衝在一塊兒，或是互相碰一碰，要發生什麼事呢？他們的行動，一定要變成磨擦所發生的熱了，正如我們兩手相擦，發生熱一樣。若是這個熱度够高，牠就可以拿天上許多的東西，變成氣體。換一句話說，這樣的一個衝突，可以製造星雲。自然你們要問，我們從來有沒有看見這樣的事？或者我們看見過的，就是有的時候，新的星忽然燃着，大概總是因為衝突的緣故。

沒有多時以前，天文家證明，若是兩個暗星相觸，或者不過走得近了，不但大的熱度要發生出來，并且像潮汐一般的影響，也要發生出來。這些潮水又要引起氣體的爆烈和噴湧，而這些噴出的氣體，要成螺旋的形狀。理論上說起來，這樣的螺旋形，就要有兩個分枝，直接由相反的衝突而成，像地球上潮汐的旋渦一般。

一個星的一生，所可奇的，我們看見的螺旋星雲，果然有兩個分枝，并且果然是在牠的核旁邊，相對的兩點上生出來的。

這又是一個證據，可以表明天上星的衝突，會把死的星，變成星雲。這些知識都是新發明的，我們對於這種研究，方才開始。將來天文家，要大大的研究螺旋星雲，是無疑的了。

熱氣造成的大星雲



這是顯得的照片。從這照片我們可以看出那個在獵戶星座中的大星雲。這個星雲就是一塊大熱氣，比了地球繞太陽的軌道要大上一百萬倍多些。是在一八五九年在美國顯成了第一張照片。現在這張照片是在美國加利福尼亞的力克（Lick）天文臺照的。藉着這張照片後的人就可以比較這些星雲過了若干世紀有否變形。

有許多星雲，不是螺旋形的。還有許多，不過顯出一點螺旋形的痕跡。或者這些非螺旋形的星雲，是兩個期的或暗的星，真的相衝做成功的。我們要問，這樣的星雲會不會變成螺旋形？我們想他們會的。一個形狀

不規則的星雲，隨牠怎麼轉，到底總要轉成一個螺旋形的。但是倘若一個星雲，是兩星互相衝成的，那末牠的形狀，一起頭就是螺旋了。

比地球大幾千百倍的星雲，或者天上也有暗的星雲。或者一個暗的星雲，收縮的時候，卻變光明了，熱了。此後第二步，就變成螺旋形的星雲。再後就變成星了，變成太陽系了。最後再經過各時代，一直變成了黑暗。在這個很長的歷史中間，或者有一個熱度增加的時代，還有一個熱度退縮的時代。我們的太陽是在第二個的時代，好像是無疑的。

我們應該知道，最小的星雲，在什麼地方？當我們研究星座的時候，我們知道，在獵戶中間有一個星雲，牠是在二百五十年前發現的。在這個星雲的照片上，我們可以看出，牠中間有六顆星，四週圍着極大的星雲。我們再留心看，我們就知道，這六顆星不過是許多星中間的一小部分罷了，雖然我們不知道到底有多少星是屬於這個星雲的。在這件事上，我們可以證明很慢的變遷正在進行不息。我們從波爾所講的比較，可以約略知道，星雲到底有多大？若是我們可以設想一個大球，牠的圓週和地球繞太陽的軌道相等，一百萬個這麼大的球，一定可以很容易的包含在這個星雲中間。牠中間有算不清的鉅量輕氣。

無處不有而又無人明白的以太，我們也應該曉得安德洛麥達 *Andromeda* 星座裏的大星雲。這個星座，離仙后不多遠。牠真的是個螺旋形的。紋琴星座中間所謂「指環星雲」的，也是如此。在南面，阿哥星座中的星雲，卻不是螺旋形的。我們現在一定要收束我們的天文學了，牠是科學中最舊還最奇的。但是現在不

過是我們研究新天文學的起頭。這是用着分光鏡的。無論什麼科學，都沒有這個科學的前程遠大。

但是我們沒有收束以前，我們要說兩三句話，關於將來天文學所要解決的問題。這些問題，都是關於以太這兩個字的。以太這個東西，世界上確實是有的，雖然牠是很異乎尋常的東西。並且牠是沒處沒有的。在星與星的空間裏，完全被以太充滿着。牠是光線傳來傳去的媒介物。牠可以把光線從這張紙上，傳到我們的眼睛上去。牠也可以把光線，傳到幾千萬里那麼遠。這裏有空氣的地方，也有牠的。星與星之間，沒有空氣的所在，也有牠的。牠也是傳星與星之間吸力的媒介物。

人人想解決的以太問題 並且我們相信，我們所謂的通常物質，像身體，地球，太陽，星，星雲，彗星，這些東西的物質，都是從以太生出來的；而一個原子工作完了的時候，不論牠在那裏，牠就復原到以太的地步，正如一片冰，本來是海水做成的，後來又溶在水中了。但是我們不十分明白以太這個東西。我們更不明白，以太和通常物質的關係。我們也不知道，地球和天體的行動，可會被以太阻礙不會，雖然牠的影響太小了是不覺得的。

世界上的天文家，而且不但是天文家，連研究光學的研究電學的研究化學的人，一起在內，都拚命的研究以太這問題。因為這個問題，和無論什麼科學都有關係的，並且也是關係無論什麼事而沒有答案的謎題。我們很有希望，這個問題不是不能解決的，並且解決之後，可以算是空前未有的科學大發現。

此後我們要研究些比較通常的東西了。我們要講到地質學了，那是講一個天體表面的變遷，而這天體我們可以很仔細的研究的。這個天體是什麼東西呢？就是我們的地球。

地球的外殼

我們已經知道，天文家們正在研究幾個天體的歷史。我們稍為曉得一點復旦的歷史，當我們研究太陽的歷史時，很有些益處。至於月球的歷史，我們以為可以得到不少的知識，但這也有許多困難。竟有幾個很精細的當代天文家宣言說，我們向來稱為月球的火山及火山口的，實在並不是這些東西，他們是月球表面，沒有大氣保護時，大流是跌下後所遺的痕迹。這裏我們得到一個教訓，就是說明或解釋是極難的，必須在敘述後方可下這種工夫。

若使我們的研究移到地球上，那麼我們將以為無論如何，總能得到一種確實的地球史了，我們不但有當前的月球和各時期的行星（如火星木星等）做我們的指導，我們研究對象的地殼就在我們的腳底下。我們能開礦，我們能掘深洞下去，我們能觀察山峽的旁面，我們能爬上山；有了這些材料，我們應該能了解地球的歷史。在我們已往的研究中，我們不但一二次，總是時時提到這種稱為「地質學」的研究。我們已經稍稍知道，水對於地球史的關係；一種叫做「銻」的元素如何幫助地殼有熱氣；一種水製成和熱氣製成的石岩。現在我們先把地質學中幾個重要事實和見解來討論一下，使我們够得上了解將來地質學的進步，因為我們關於地質學最重要的發現，還是沒到而正將要到的時期。

大家知道歐洲南部不多時前發生一個歷史上最大的，最利害的地震。這些地震，火山爆發，和別的難得發

生的爆炸的事，使我們對於地球史發生一個極錯誤的觀念——這觀念雖然荒謬，而八十年前的地質學家都相信牠。我們很容易以為這種爆炸，是偶然發生的變故，如地震，颶風，暴潮 Tidal waves 等等，形成地球的歷史。別的變動我們一概不管；即使我們注意到河床的加闊或加深，我們不會猜想這種小而且慢的變動有什麼關係。我們對於地球史的觀念，正如以前的史學家對於人類史的觀念一樣。近代最大著作家之一，曾經寫過幾句話，對於人類史學家，地殼研究家，永遠是一個極好的教訓。喀萊爾 Carlyle 在他的一本關於法國革命的書中告訴我們，一顆橡樹在森林中漸漸的發長了一千年，而沒有人注意到牠；後來，或者這顆橡樹給電光打壞了，人人就記載這椿事了。

世界的歷史是地球新新變成的。實在說起來，人類的歷史，每時每刻都在地球的養成中。地殼的歷史，也是如此，成於每時每刻極小的事情；在一刻間所做的固然是不足道，而過了一百萬年後，就大有可觀了。我們現在不必顧到這許多關於兩派地質學相反的敘述，我們只要知道新派到處得勝。他們備不同之點，就是新派信地球的形成和變遷是遲緩的，漸進的；而舊派則以為地球的歷史是兩時期的迭為起伏，一時期沒的什麼變動發生，一時期是破壞時期，那時生命滅絕，然後萬物從新開頭。

這較新的較真的學說，不但對於我們了解地球歷史時很有益處，並且把我們現在的地質學的研究革新了面目。因為我們每越一條水，或看見雨落在石頭上，或在海邊沙灘上玩耍，時時刻刻都能親眼看見那遲緩的變化。這種變化構成了天地間生命出產地方的過去，現在，和將來的歷史。

今天也許一個新的莎士比亞或牛頓出世。這是一個很有意義的思想，也可以應用到人類的歷史上。我們覺得新聞紙上沒有什麼新聞，我們便以為沒有事情發生。我們大錯了。今天說不定世上又生出一個牛頓或莎士比亞，或一個嬰孩，將來會成一個大政治家，毀敗或救他的祖國。人類的歷史時時都在構造中。這本書和我們著書或讀這本書的人都參預一部分的工作；而現在外而在下的雨，也正在構成地殼史的一部。但我們每每沒有注意到常見的事物。最能引起我們的注意的，是新奇的，偉大的，或急驟的事物。紙球靜止時，貓兒不動；我們扯牠時，貓兒便看見了。我們也是如此的，東西動時我們方覺得。我們把我們的歷史歸於戰爭和地震，而忘卻了無名的主動者，忘卻了沒有人處雨露的工作。科學所給我們最大的教訓，是到處歷史都在形成，而我們新聞紙和歷史上所記載的，只不過是他們中的泡沫——就是地震戰爭等。

地質學所告訴我們的地球史 現在既然知道了地質學所給我們的最大教訓，我們可以繼續研究到地殼最重要的幾個事實了。我們必須得到各科學的幫助；我們一定要知道地理學的各部，因為地理學中不討論城市而討論山水的一部，不過是地質學中最遲出（並不是最末）的一章。

我們須得知道，化學家所能告訴我們關於大氣和氣候的知識。如果化學家發現雨水中有炭酸的成分，而能證明炭酸能溶化石頭，那麼這也是地質學中的一部。如果研究風的科學家，看出風如何能改變地面的情形，那麼這也是地質學中的一部。我們須得盡我們所能做到的，研究雨和霜，浪和潮，地上和地下的河道及冰川等的影響。這些都是雕刻地球的器具。我們如果立刻觀察他們，我們能看出他們在有陸地的所在，如何的刻，

磨，使我們可以知道地球的歷史。地質學也不能離了地震和火山研究家的幫助。地球雕刻最大的結果是山。山到底是否地震和火山所構成的？以前大家都以為確是如此的。但到處求助的地質學，自然也向化學告借；而二十世紀的化學所發現的一種銑式的元素，卻要完全改變我們對於山的構造的見解。

歷史和力量的來源不是暴裂的劇變而是幽靜渺小的事情。地質學的新趨勢，無論在什麼地方，總是告訴我們說：凡急驟的，鉅大的，動人耳目的，為災害的事物，如地震之類，不是最有力量的勢力。即使他們力量極大，而他們決不是影響最大的事物。地震自然和山的構成有關係，但構成山的最大原動力之一，大概還是那銑加於地殼的漸進而著實的變遷；銑不止直接製造熱，還簡接製造由熱所發生的各種結果。

但地質學所借來的知識並不止於此。牠從化學中稱為礦物學的一部，也得了不少的益處。礦物學所研究的，如結晶體的如何構成，如何分裂，如何溶化，他們的重量，硬度等等；還有礦物見於什麼地方，如何藏於礦脈中等等——這些也構成了地質學的一部。我們知識的來源，還不盡於此。我們關於生命的知識，對於地質學都有貢獻。岩石中有許多種生命的記載，有的和現在所生存的完全不同，有的和現在的生物一樣。

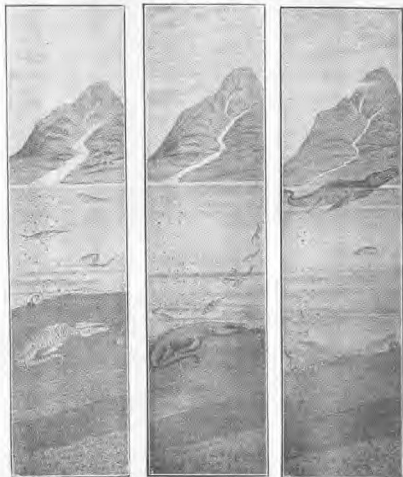
我們由埋藏地下的動物所得來的智識。地質學從這種生命餘迹的研究，得了不少的益處，而生命的研究也從地質學得了許多的利益。實在說起來，岩石的記載和生命的記載沒有什麼大分別。不幸，岩石還不能完全指示我們所希望的，關於生命歷史的智識。達爾文曾在種源論中說到地質記載的不完全，從那本大著作印行到今已六七十年，而地質的記載仍是不完全。我們如果肯稍為想一想，我們便覺得化石能够保存已是很多。

怪的了。我們不必因為所保存的很少而覺得奇怪。如果我們討論一個化石的保存須要多少條件，我們便反而覺得牠竟能存在是很奇怪的了。霜和雨，海，滴水，壓力，火山噴出的礦質的熱氣等等，一定已毀滅了不知幾百萬個的化石。並且並不是每個生物的身體都適宜於成化石的。

有許多人很不滿意，因為岩石所告訴我們生命的歷史，並不及我們所預期的那麼多。但他們忘卻了我們所已研究過的岩石是何等的少。要知道地面突出水上的部分，只不過七分之一；而從前就這些陸地也一定會在水下，而現在海洋的底，也曾是乾地，充滿生命過的。

研究一小部分地球所得的知識。我們考察所能及到的只不過七分之二，而這七分之二在生命的歷史上，並不見得是最重要的一部。甚至在這一小部中，我們所研究到的，也不過這裏那裏幾個小地方，大都散處在西歐各部。我們所考察的還不到我們所能考察的千分之一。這一些的考察，能產出這麼大的成績，這倒是實在可驚的事。我們應得知道，這些成績不但和過去的動物史有關，並且也說到過去的植物史。在前一世紀中，我們的確發現了一二萬種不同的化石，正如赫胥黎所說：『我們深信這些生物實在曾在他們發見的地方生存過。這是毫無疑義的，正如我們不會疑惑海灘上一塊蚌殼一樣。這兩方面的證據是同等的充足。』

我們所以能得到這些成績，是由於泥土所構成的記載。我們雖然要想，泥土如何會構成的這問題，是不值得研究的，但這個問題的答覆，實在是解決大部分地質學的鑰匙。泥土是水力的結果；水和地而和石頭接觸，把他們磨損，把他們撞下，把他們的碎屑在能聚的地方聚在一起。



千萬年來的地球歷史，都是寫在石層裏，本圖就是一個顯著的證據。百萬年以前，有一條小溪從山上流下，帶著許多泥沙石子，送到海底裏去。那時海裏遊着一條偉大的動物，叫作魚龍。

魚龍是海裏的大動物，牠有一大頭，有力的爪子和像蟹一般的四肢。有一天，這個大動物或者被別個怪物戰死了，牠的身體就落在海底。同時，那些被小溪帶來的沙泥石子，又繼續不息的落下。

年代過久，小溪逐漸加闊，便成了一條大江。雨落在山上，將泥土沖鬆，流成千百條小溪，總匯大江裏去。每一小溪總帶著溶蝕山嶽的工夫。江既加闊，來的沙石當然更多。後來那大動物就在此深深的埋好了。

石 層 的 真 奇 妙 故 事

少年百科全書 第七類 地球下層 地球的外殼



沙泥石子既不會停止因
此海底漸漸增高，底下的
幾層，壓成硬石。有一天，一
條魚到江邊喝水，將牙齒
掉下，也被江流帶到海底。
再有一天，淹死一頭魚，不
必說，也落到海底了。就是
死的魚類介類，也埋葬著。
魚籠死後的幾萬年，地球
上有人居住了。有一天有
一人帶他妻子，乘獨木舟
去打魚。他將魚叉飛到一
個大魚身上，不料叉頭沉
入海底。他當然不能再取
起那個叉頭了。這叉也就
此永遠埋藏那裏。

海底漸漸增高，竟成爲乾
燥的陸地了。有一天，人開
始顯著地，就將這奇妙故
事，顯示人間。第一先看見
叉頭，然後是象牙，鳥骨，介
類，魚類。末了才是那海中
大動物的骨架。這些東西
都已成了化石。

海底裏正在構成的石頭。海的每一個浪撞在岸上時，都在做這種工夫。我們引一個大著作家的話來說：「最堅硬的石頭，很遲緩的，但很著實的，漸漸磨損為細粉。這樣成功的泥，照情形看，有細有粗，都被潮流的激盪攪着，直到海洋中較安靜的部分去，在那裏就是最細的粒層也能沉到海底。」

河流把陸地的一部，照樣的帶到海中，所以海底也照樣積了幾層的泥土。這種泥土漸漸的變硬，而成爲時間的記載。他們變硬時，我們稱他們爲沙石，或灰石，或別的名稱。地面是這些石頭所構成的；照我們所知，這石頭有70,000呎厚。他們中有的現在還在構造中。據我們所知道的，這種在多維 Dover 所找到白堊似的石頭，大西洋底還在構造。

這些石頭中記載了極廣大的故事。我們知道，不知多少的生物在海中生活；他們死時，他們的殼和硬的部分，都沉於海底，就都被海水和河流所磨下的細碎泥土所蓋沒了。

博物院中希奇東西的歷史 這種泥土變硬了，過了許多年代後，人就可以走進博物院，看見一塊沙石或灰石，裏面嵌住這些生物的殘餘，這種程序，也可以應用到許多陸地上的動物身上。海龜的卵生在沙上，太陽熱氣還沒有把牠孵化以前，就給泥土掩埋了，這是一個實例。這些事都發生於人類還沒出世以前不知幾何年代，而我們現在能目擊牠的結果。此外則動物的身體，也許會飄到海裏，葬於池沼中，或埋於河邊的泥土中。

但野獸的殘餘，在化石中卻難得看見。大概他們的屍體不是沒有被泥土所掩，便是被別的野獸吃去了。不但如此，即使動物的骨頭能牢固的嵌於泥土中，而他們也許會被含碳酸的水所腐化。赫胥黎曾有幾塊從蘇

格爾送來的石頭，裏面沒有什麼化石或骨頭，只有幾個洞。把這些空腔用東西填沒，便成一種模型，便看得出這模型和一種十二呎長的爬行動物的脊骨，及甲殼的一部相符。赫胥黎說得不錯，他說：「這個大野獸死後埋於沙中，沙漸漸的在骨頭外變硬，但還是有空隙的，水於是漏了進去。那含碳酸的水，把所有的磷酸鹽 Phosphate 和石灰碳酸鹽 Carbonate of lime 都溶解了，骨頭就此腐化，完全消滅了。」

藏於石中的古代大動物 我們既然懂了化石是什麼，他們如何成功的，我們須得研究他們能告訴我們什麼？這一部分的科學另外自己有一個專名，有許多人終身只研究牠的一小部。我們自然要知道這種研究所得的結果，如果有結果可言。我們發現這種化石的殘餘，不論動植物，和現在生存者的形式，大都相仿，雖也有不同之點。如果我們在博物院裏兜一個圈子，觀看化石的殘餘和現存的生物混在一起，粗心看起來，決辨不出什麼不同的地方。但卻有一個很顯著的例外。有幾種樣子極龐大很可怕的爬行動物，現在世上絕種了。最近我們方知道，這種動物最大的體格有多少大。無論那一個，住在紐約或旅行到紐約的人，一定要到中央公園裏的自然歷史博物院 Natural History Museum 去看一看那新裝着的，現已絕種的動物，所遺留下的可驚的骨架。從這種化石研究裏，我們得到一個關於生命的教訓，這裏我們可以說一說。有一時期生命，試用體格龐大的法子來維持自己。牠很堅忍的，很澈底的試用這法子，但牠失敗了。這種生物變成和房屋一樣的高大，而他們的腦子還是很小。不知生命世界裏的律例是心神為體質的主人。他們的偉大並不能免他們於愚笨的害處。一生致力於肌肉的發達，而忘卻了心智教育的人，可以從這種化石中殘餘的龐大爬行動物，得着一些警

戒。

要懂石頭和牠包容的東西是怎麼個樣子，最妙的法子是按照下時先後的次序來安排。譬如我們揀定倫敦某處開掘。第一，我們先過著沙灘的地層，含有已絕種的大動物，如某種的象，犀牛，和穴居的熊的骸骨。這種的殘餘，以及一個大頭顱，都是一兩年前擴張一個倫敦新聞紙辦事處時，工人們所發現的。更下一層，就是所謂倫敦黏土 London clay，含有奇異的牛，龍，棕樹，碩大的熱帶果子，和現在只在熱帶看見的介類遺體。當這層地殼成時，這些地點一定在熱帶中。倫敦黏土再下一層便是白堊。在拉丁文裏 *Cretaceous* 就是白堊，所以這白堊的正當名稱是白堊層 Cretaceous。就在這一層裏，我們發見那龐大的爬行動物，和幾個飛於空中的爬行動物，使我們知道飛鳥的來源。

更下去些，我們便碰著更低級動物的殘餘，如魚介之類。愈下去我們所發見的生物格式，愈和現在生存的不同。下去到某深度，所有的殘餘都是很簡單而且很少的。最後的幾層沒有生物的形跡，這是已在地球沒有生物的時候，那時地球外殼還在可怕的情形內，我們在天文學裏已經說過了。我們當然不可以想地球上到處都有這種完全有規則的地層，而毫無斷缺。我們方纔這樣的形容他們，不過是要得到一些關於生命的智識，到底是有許多偶然的變化，和許多間斷發生的，以致這些地層在許多地方混不清楚。許多地方我們會過著另外一種地層，那實是一個罅隙，罅隙的一邊，泥土便隆起或者凹下。人在地下尋煤尋金，或相類的東西時，遇著這種地方很討厭，地質學家稱他們為「缺點」(Fault)。

但這種罅隙能爲我們解釋地震的意義。意大利的地震，顯出從這種罅隙和地殼的變動，可以發生極利害的結果。譬如說，西西里 Sicily 新近發生的地震，說不定竟可以把這個島和意大利的陸地接連。這個好像和我們開始時所得的教訓——地球的歷史是由於小變化累積而來的——相衝突。但地震如何來的呢？這還不過由於小的，遲緩的，而著實的變遷，不絕的在那裏進行着。我們住在一個熱球上，球的內部時時在失去牠的熱，而漸漸縮攏來。支撐在內部上的外殼時時失去牠的支撐物，所以牠必得讓之而墜下。一個蘋果縮小時，牠的皮必得跟之而皺縮來。山脈也許是地球內部收縮時所發生的外殼皺紋；此外則因地殼有時在某處墮了下去。牠的墮下也許和一根鐵棒跌下時一樣急，但我們知道鐵棒的跌下是爲年久的生鏽所致，所以驟然發生極大結果的地震，牠自己本身就是遲緩的，年代久遠的力量所發生的結果，這種力量實在足造成地球外殼史的分。當這種力量在內激動時，地殼就在某處凸起，在某處沉下，水和陸地變易位置。這種變動，有時不過頃刻間——有人竟會把一個島的突然不見拍在照相內——但大都是漸漸的變化，隔了幾百年方始看得出。有一個關於地殼和地質學的觀念，我們須得時時存於心中，那就是：地質學不單是現在已停止進行的過去力量的記載，而這種從前構成地球的力量，現在還在工作。我們現在在一個時代中，正如五百萬或一千萬年前的生物也在一個時代中。他們是那時在地面上，我們是現在在地面上。波士頓 Boston 好幾次曾在海底，將來一定還會沉到海底。不論爲水流，或爲山脈所限定的疆界，總不能永遠保持的。只有一件東西能超過美國，或喜馬拉雅山而獨存，那就是人類的智力和他所能發現，所能擬想的真理及美麗。只有這種遺產，我們能希望將來傳

授給未來的無數年代的人類。他們也許住在現在沒於水底下的新大陸，他們也許航行於現在的不列顛上面，但他們將永遠記着，而且敬禮於沙氏比亞，密爾登，牛頓，哈佛 HARVEY，和達爾文的名字。

地球的改換面目

關於久已在那裏工作而形成地球表面的一種力，我們曾經開始研究了，而且我也曾發見到這種力至今還在那裏進行牠的工作。當我們讀通常所謂歷史時，若以為數百年前的人的言行，比現在人的言行重要，那是一種很誤謬的見解。同樣，在地球的歷史上，現在的情形也和從前的情形一樣重要。因為牠的將來的歷史，正在被現在的潮汐河流及風雨等勢力在那裏造成，正像將來的人類歷史正在被我們所造成一樣。

那麼，當我們把現在這樣的地球表面觀察時，我們到底可以發見些什麼呢？要回答這個問題，且讓我們翻開地圖來看。我們並不以為地圖上有什麼特別新奇的東西，但在牠上面卻印着許多價值極高的人類歷史，即使這地圖是沒有文字，在上面或是同一顏色的，在過去許多年中，有許多性喜旅行和探險的勇士，離了他們的家鄉去探索這地球。他們的事業是很可驚歎的，現在我們即使用了極大的思索，也幾幾乎沒有一個人，對於哥倫布的勇敢和堅信的行爲，就是在那茫無邊際的水面上去尋找毫無把握的陸地的事，能够十分了解的。然而這就是上千的這種勇士，冒了生命的危險，用了極大的思考，知慧，忍耐，和堅信，纔能得到這一些表示在地圖上的知識。這是我們坐在家裏的人，當翻開一本地圖時，所應當記着的。

現在我們不用去管普通世界地圖上的種種不同的顏色。譬如，在英國出版的地圖上，必定有許多紅色，我們曉得這種紅色，就表明英國人所管理的土地。我們當看見世界上紅色的記號這樣的多，我們不由得想到負責這樣管理之責是何等的嚴重啊！

紅色之外還有別的顏色，這種顏色就代表各國。各色的中間，是各國間的界線，叫做「國界」。但當我們求真實學問的時候，我們第一要曉得在最高等的科學上是無國界可言的。我們的地圖上所印的顏色，在要想有最高等的思想的人的眼中，是一些兒沒有意義的。有一個旅行全世界的偉人曾經說過：「我會走遍世界，我只見有兩等人，」男人和女人。我們可以加一句，假設我們走遍世界，我們只見一樣東西，就是這「大自然」。運動的定律，光的定律，化學的定律，水和空氣的定律，是無論在何處都是真實的，所以地球是整個的，我們也必須把牠認為整個的。正如人類也是一體的，都是地球的孩子，雖則有時我們也要想到我們自己是許多愚蠢的小團體，互相仇視且戰爭的。

現在我們第一看出來的，乃是這地球的表面是一部分蓋以水而一部分是乾的陸地，我們曉得乾的陸地大約佔七分之二，而水佔七分之五。那大塊的乾的陸地我們叫牠做「大陸」，而那大塊的水面，我們叫牠做「海洋」。

從海洋中聳出來的山峯，那海底裏也是有地盤的，而當這種地盤升得頗高，如同山脈的地方，我們便可見到從海面上聳出的山峯，連成一串的島。從別一方面說，在大陸的中間，我們也可以見有被水所掩蓋的底下的地方，譬如北美的各大湖，及亞洲的裏海等。陸地和水在地面上的分布，我們近來知道是常常改變的。這種變

據現在還沒有完全發見。

當我們觀察一張世界地圖而看見了大陸和海洋的時候，我們必須了解我們現在所看的地圖，不過是現在的地球偶然所成的形狀，我們的一生，甚至人類的全部有史時期，在地球的歷史中只不過是一瞬罷了。而地球的全歷史，又不過是宇宙歷史中的一瞬。我們現在正尋出一個方法，使怎樣可以作一個全然和現在不同的地圖，表示一百萬或五百萬年以前的地面的樣子，甚至還可以知道些關於百萬年以後的地面，大概就全體而論，地球的面是年年在那裏變乾燥的。

地球是怎樣變乾燥而漸漸和火星一樣的呢？雖則在地球上，新的水是常常在那裏做出來，但失去的較多，因為像地球這樣一個行星當牠漸漸的老起來，水使一點一點沉入地殼中去而離開地面了。假使我們細細的把火星觀察，這除了我們所已知者外，大概還有許多關於地球的功課要教給我們，我們已可相信地球總有一天和牠一樣。觀察月亮時，我們可得到同樣的教訓。現在火星面上雖不能說全乾，也近乎要乾了。除了在兩極之外，差不多沒有什麼水的。

就大體而論，固然地球時時在那裏變乾之說是不差的，從前大概沒有現在這樣多的乾燥的陸地，不過部分的說來，現在是海洋的地方，在從前也許有一時是陸地，而現在的大陸，也許從前是在水底的。我們曾有一個失掉的大陸的證據，那是很有趣味的，因為這和我們的遠祖很有關係。

當我們看世界地圖時，我們看見從印度下去，沿暹羅，馬來半島的海岸，有一串的海島，直連着其中最大的澳

洲大島，這個大島是很大的，所以其實是一個大陸，雖則牠沒有像蘇彝士運河割爲海島的非洲那樣大。

一片沉在海底的大陸 當我們研究澳洲大島，和在牠及亞洲南部中間的各島的時候，我們就知道大概這從前曾是一片大陸，而這些島，無論是小是大，大概都是這失掉的大陸的最高部分。再當我們研究澳洲大島和那些島上的生物的時候，我們更可確信他們一定是在一個大陸上發生的，我們若再仔細研究澳洲島上生物的特點，我們簡直可以算出在什麼時候澳洲是成爲一島而和其餘的大陸分離的。在我們研究的時候，我們而前須放着一本地圖。現在且說在這一個大區域的北部，如蘇門答臘和婆羅洲，我們找得幾種奇異的猴子，他們的活的標本，在動物園中可以看到。我們可以證明他們是比無論什麼現存的生物都更近於原始的人類，所以事實也許是如此的，就是極久以前，人類的祖先，就住在這失掉的大陸上，而那裏也就是人類第一次出現的地方。這樣我們到了在我們面前的大問題之一，我們直接的相信地上的水陸是多少在那裏改變的。但使大陸下沉，而一部分變爲海底的是什麼力，使淺海的底上昇而變成陸地又是什麼力呢？那在這一方面的知識上，沒有別的問題再要重要，我恐怕也很少更難回答的了。

海底升降之奇蹟 假使我們只不過問這樣的問題，譬如說，美洲東岸是被什麼在那裏侵蝕去的，那回答是毫無困難的，因爲我們能親眼看見這種侵蝕作用的進行，風和水便是兩個要因。但我們如果要發見使全大陸失掉的是什麼，那我們天然要用比上面這類說明更深的說明。這裏更深二字，正如牠的字義，因爲在地面上作用的力量，當然不會發生這種可驚的結果。那些在地面上作用的力，像風啊，雨啊，空氣啊，水啊，至多只能影響於

地球的表面。他們當然不會有把海底舉起使成陸地，或把陸地壓下使海水在牠上面流動的力量。我們必須找出一種在更深處作用的力量。我們很知道，假使我們不絕的把磚屑丟去丟在一個深坑裏，不久就可把牠填滿。

所以使海底上升的作用，也許是海底上年年堆起些東西來使牠最後變成和水面一樣平。而且我們確還知道海底裏還有生物的遺骸堆積起來，造成英國海峽的白堊岩的，也就是現在還在大西洋底裏堆積起來的東西。

地殼的時時一高一低的變動。不過海底的平均深淺有二哩半，所以這一定不是堆積的作用使海底上升成陸地的。那不是海底上面有些東西堆積起來，乃是海底自己升了起來。不過此外即使這個說明是不對的，我們還是沒法去解決大陸怎樣沉下去的問題。但無論如何，我們如果對於這個問題愈加深切的研究，便愈可見得不論其說明到底是怎樣，二者的真正說明必定是同一的。那必定是一個作用，年年進行，一方面舉起一處地方的地面，而一方面則把牠壓下去的。

這差不多是一種軒輊戲板的作用。水是流質而善於流動的，受了地心吸力之後，天然要盡其所能流向地球的中心，所以地面上那一處堅硬的地殼陷下去一些，水便進來，高出一些，水便從此流去，所以地面有水的地方，我們所叫作海洋的，只不過表明牠是比較低的地方罷了。我們要切實了解這個問題，只須設想地面上水取去後是個什麼樣子就得。那我們就可以看出牠的真相，凹凸和高低了。

地殼的變動和使其變動的力量。到底什麼東西使得地面上深的地方深，高的地方高，舉起一處而壓下他一處呢？觀察這個問題，最好是不要把水的存在放在我們的心意裏。這樣我們立刻可以知道我們所研究的實

是固體地球的真形，和所以生成這個形狀及其變化的原因。我們所學到的第二件事情，就是所有地面上可驚的變化的原因，都是在地下起作用的。地面是我們的地盤，所有生命都是牠的子女。但如果我們真能把水完全弄乾，我們要看見這地球的外殼只是一張薄皮，至多不過約一百二十里厚薄。而這薄殼的一上一下的運動，發生這樣可驚的結果，就是使海水從一地衝到別地，把海變陸而陸變海的，是從地球內部一種作用不息的大力所生。我們前面所說要找出一個更深的關於地殼變動的說明，大意就是如此。我們總算終於達到了够深的地步了。

假設地球十分渾圓將要怎樣 現在第一要講到現在這地球的真形到底是怎樣的，假設我們能把牠弄乾，就是把所有的水去盡，而拿牠在手裏看起來，牠到底是個什麼樣子呢？譬如說，牠不是渾圓的，和球一樣的呢？我們可以決定牠不是的。假設牠是渾圓如球，水將要平均蓋在牠所有的面上了，那麼，地面上將要都是海洋了，而生命的發生，盡其所能，也只能不是在水中，便是浮在水面上了。而我們前已講過，在這樣的，全是水面的地上，生命是不能進步的。

地球既不是渾圓，那麼，到底是什麼樣子的呢？大概一張世界地圖或地球圖可以告訴我們一些。當我們看這種地圖的時候，第一使我們注目的，就是大部分的陸地在北部，而大部分的水在南部。這是極有趣味極爲奇特的。爲什麼？我們料想牠應當如此，那是說不出什麼理由來的，不過牠必定有些意義在裏頭。也許這是偶然，那也是也有牠自己的定律的。但偶然的定律，卻不能算作地面上水陸分佈的理由，正如牠不能算作天空中旋

轉的星雲，爲什麼有這樣多的理由一般。

爲什麼世界上大陸和國家都在南端成尖形 現在我們再要注意一件事，就是通常大陸延伸到南方的時候，那愈南的地方，便愈加狹小。我們在無論何處都可以見到這個現象。陸地在其南端成尖形的事，幾幾乎是普遍的趨勢了。我們可以看格林蘭島，南美洲，非洲，印度，亞洲，便可知他們都愈在南端愈狹小的。假如我們設想塔斯馬尼亞島和澳洲相連如從前有一時的樣子，我們便可知澳洲的極南，竟成一尖點了。凡此種種，決非偶然，必然有其理由。

這個深切有味而重要的研究，現在各地的學者，都正在進行着，而還在中途。不過也是十分的重要，而且將來還要重要，所以我敢說我們必需要照牠的研究所已達到的程度了解牠。雖則我們不能在英文或別種文字的書上多看到關於牠的理論。研究這種學問的學者，他們所以能够這樣做，是因爲現在的海底是大部分已作了地圖，而我們已曉得那處淺那處深，和假使水平面降下時什麼地方能够在海面上聳出了，而做成種種設想的地圖和地球模型，表示那時地球將成怎樣形狀，和水陸分佈的情形，曾設想海平面略爲從現在的樣子變動，譬如說，深了四分之一哩。

不像球而像梨的地球 所有這種種已經做了多年的極困難的工作，都趨向於使我們有一種相信，這也許當我們看見有這樣多的水在南邊，而這樣多的陸在北邊的時候，所早已料到的，就是相信這地球是粗大略像一個梨子，那大的一頭略爲近於南端，而尖的一頭略爲近於北端。我們不可以設想，以爲這梨子是很準確的向南

北，也不要以為牠是完全有規則的梨子形。但不論如何，這「梨子形地球」的學說，總是我們地球史和其將來的知識對於地球的過去歷史上的一種進步。總之，我們應把海洋看作是這樣的圍在這梨子的上面，而使得牠連了水看起來，是很像一個圓球形的。

所最不可忘的，是不絕的在地殼下面工作的力。如果我們現在雖還差不多不能了解牠，但如果有一天我們真能懂得牠，那便只有牠可以說明為什麼地面是凹凸不平的？若使這地殼是從同一物質做出，各處一樣厚薄，而且完全是圓形的，那我們便不能懂得牠了。

地球內部怎樣縮小而使地殼皺成山脈。假使如上面所說，那地球內部所發生的縮小的結果，將要處處地方一樣。但這地殼卻並不是處處都由同樣的質料造成的，大概有幾處地方厚，有幾處地方薄，又因是梨子形的，所以吸力的大小也各處不同。凡此種種，都幫助我們懂得為什麼當地球內部縮小時，地殼不是慢慢的全向地心沉下去，而卻皺縮成山脈，或破裂，或傾斜，或旋轉，或壓緊，或拔長等等，甚至年年有升降了。

將來科學上最大的工作，便是去了解地球內部到底是怎樣，和找出地殼的構造和組織到底是怎樣？在這個時期以前，地質學的研究不過及於地球表面上的東西。這好比我們要知道一個人的生平和活動，而僅僅看其穿了衣服的外表一般。

要費一世紀的時光和數百萬金錢纔能掘成的洞。有人曾計算過，假設在一世紀以內，人類積極工作，再費了幾百萬項錢，我們便可以在地球上穿一個約十哩深的洞。但這不過是臆說罷了，因為只須我們在這洞內走

下一半或三分之一的路，沒有人知道我道將要怎樣了。我們或許可以得到些水蒸汽，然而於此我們仍然得不到什麼，而要下這樣的洞，其結果不用說，必死無疑。

實在可奇的事，是科學家在其狹小而嚴謹的範圍內，能夠學到很多的知識。譬如這也是一件奇事，就是我們竟會知道億兆里外的里上的原子的重量，所以聰明的人，總不敢冒險宣佈說，我們將永不會知道關於這地球的內部情形。再過幾時，也許新的學習方法足供我們的利用。就在近幾年中，我們發見了銻，和牠的作用。我們現在已能從地殼中看出牠的存在，並且會多少計算出牠在各種且成地殼的化合物中的比例，我們現在正開始了解，怎樣這種原質用了牠所產生的無盡的熱和電，必定在那裏作用而年年改變地殼的形狀了。

怎樣地皮每天升降二回 在最近的時候，法國和德國的科學家曾宣佈他們的對於地殼的漲落的發見。他們告訴我們，這地殼是每二十四小時間，漲落一次至八寸之多，不過我們天然不能覺得，正如海船上的水手不知潮水的漲落一樣。

這些都是極深極難的問題，而卻是極重要的。我們下面且講些近於我們所住的地面，而容易為我們所了解的東西。

森林和沙漠

我們已知道那造成地球歷史的力，是最大的，而也是最深沉的。大凡做得最多的最不做聲，所以必須經過

長時間的研究和思索，纔能認識他們，因為近地面的東西吸引了我們的注意了。同樣，做成民族的歷史的，實在是那些平常的父母和他們對於子女的關係，而政治家以為是自己的功勞，歷史家也往往陷入同一誤謬。

雖然，在地球表面上也常常遇到許多奇妙有趣的事，把牠改變得足使我們生物生出許多差異。所以我們現在且放下地面上蓋着水的七分之五不講。我們也不去再說水是從那裏來的，和將來將要怎樣的問題，雖然我們應記得這並不是永遠不變的。我們現在可研究露在水面以上的七分之二的地面了。我們實在是陸地的生物，要靠着陸地的生物活命的，又因呼吸空氣，不能住在水裏，所以我們所能研究得最好的，天然是陸地。現在我們要單就這陸地講了。不過我們不要忘記，這不過是地面的一部，而且是很小的一部，但照全體講，也是在增大的一部。假使我們觀察火星，我們知道牠也曾有過海洋，而且還可以看見一件很有趣的事，就是牠上邊的陸地，也是尖端朝南的，和地球上一樣。不過火星上的海底，現在已不為水所遮掩了。牠是在漸漸的乾起來。

這個過程，在火星上是已進行得很遠的，在地球也無疑的要遭逢的。譬如當我們研究北美洲的地理的時候，我們就有證據可以看出多年以前，乾地的面積，比了現在的這個大陸要小許多。這種地面上漸漸乾燥的過程，地理學家曾證明不但在北美洲可以看見，在歐洲也如此，因為有一個時候，只有蘇格蘭和斯干的那維亞半島的北部是露在水面上的。這種水分的失落，和地面的出現，無論遭逢在行星，如地球或火星上，或遭逢在更小的天體，如月球上，都有兩種顯然的法則。第一，水是常常傾向於變成蒸汽而向空氣中飛去的，而這水汽的分子，當牠在行星的周圍飛動的時候，又傾向於完全從這行星上飛開去的。這飛開的傾向，隨牠運動的速度和行星的

大小而定。因為在每一個行星裏，牠的氣層內的氣體分子，各有牠為這行星所能控制的速度。

地球不絕的失去水分這水分向空中一直飛去。行星愈大，吸力也愈大，而牠所能控制的運動速率也愈大。

不過如果水或任何其他氣體的分子的運動速率超過這個範圍，他們便有一直飛出去，而不再回來的可能性了。這個過程是不絕的在那裏進行的，而是世界歷史上的一件最重要的事情。我們曉得海洋是常常因日光的勢力而上升到空氣中去的。其上升的大部分，仍變為雨而回來，但一小部分是永遠失落了。這裏我們也應當顧到別一方面，就是因為輕和養的吸引力，水也是在那裏增加的。固然也大概是事實，不過地球卻並不能把所有做出的水毫不失落的保留着。

還有第二個法則，使世界如我們的地球或火星或月亮漸變乾燥的，是把水分失落到內部去。當行星在熔融的時候，固然是沒有罅隙的，但當牠冷縮了，就有裂痕和皺紋出現了，所以水分就能通過地而滲入地中而失落了。

假設上面的說法是對的，我們應料到我們可以在地球或火星或月亮上找得他們的例證。就是世界愈小，牠的海愈失掉的快，因為牠的吸住大氣中小蒸汽的吸力小了。

沒有水的世界就是沒有生命的世界。現在地球比火星大，火星比月亮大，而據我們所推測，果然和事實相符。在地上，海中還充滿着水，雖則水面慢慢的在低下去，在火星上，海底內只有一些潮溼，足以養活植物罷了。而在月上，海水是全乾了，一些沒有什麼東西了。還有一個極重要的證據，足以擁護這個新發見的，就是地上的

內海，如裏海，死海，大鹽湖等，其水面都在降低。前二者的水面都比海面低，表示他們自從被從前的海退去而留在陸地中間後，曾漸漸的空起來了。至於他們是由從前的海留下來的事實，是因我們看見有幾種海洋中的生物也在裏海中存在而知道的。在裏海和大鹽湖這一個例內，我們還能多少精密的測出他們降低的速率。

凡此種種都有很可怕的意義的，而對於那些殫精竭力以研究這種事情的人，和那些以前總不能懂這地球從生成到現在的歷史而直到近年纔懂得的人，是很有興味而很重要的。這須是對於地球全體的廣大的研究，還要和火星月亮比較的時候，纔能教給我們以這樣重要的功課。我們於此，大部分須歸功於亞利桑那的羅威爾天文台的羅威爾教授。

世界的漸變乾燥和牠對於人類的意義 水的從地面上失落，不但在海洋內這樣，在陸地上也如此。我們曾經知道所有生命都是生在水內的，所以我們要知道水的從地面上失掉，直至最後海底都成陸地，是一件極嚴重的事情。雖則當海面降低的時候，似乎沒有什麼可以說深切的影響於生命。但水從陸地上失去，則最榮華的森林，最美麗的田地，都要變為沙漠了。

地球上現在的沙漠，似乎很明白的表示這變乾燥的過程的起始，和牠的嚴重的結果。沙漠是可怕的地方。知道牠的人告訴我們說，我們若不身歷其境，我們是不會相信缺水的意義的。地球上最大的沙漠帶，包含中亞細亞，阿剌伯，撒哈拉，和美洲的亞利桑那，在那裏旅行過的人，纔真認識水對於生命的價值。關於地面變乾而做成沙漠的過程，我們尋得一定的證據，是很可驚詫的。在亞利桑那有一個極大的森林，自從牠在數百萬年以

前，現在已都變做石頭了，當這森林生成的時候，那邊是有水的，現在沒有了，或者竟可說一些也沒有了，除了極小的範圍以內，生命也不再有的可能了。

怎樣一時茂盛的地方現在變成無生命的沙漠。在我們這半球上，例如在北非洲和柏勒斯坦，也有關於這變乾的過程的記載。似乎在那兩塊地方，這沙漠的慢慢的生成，和牠的侵蝕一時曾滋盛過的土地是很快而至很短的歷史便可以記載的。在地中海的南岸，撒哈拉沙漠的邊上，我們可以找得偉大的溝渠的遺跡，在前是用以通水到迦太基去的。這種遺址的大小，教我們知道從前所遇過的事。現在在那裏鄰近的川流是不能去灌滿這溝渠的了。這地方一定是變乾的，正如柏勒斯坦一樣，那是在舊約的時候就乾起來的，現在是沙漠了。假使我們轉到我們的鄰居火星上去看，我們可以推想得到那邊的沙漠一定還要大，而事實果然如此。那裏只有海底，還有些植物。在我們地面上，七分之五是海洋，而在火星上，八分之五是沙漠。就是火星的名字，現在對於我們有新的意義了。牠本來因戰神得名的，象血的意思，因為牠是紅的。

維持生命的森林和帶來死亡的沙漠。這血色便是沙漠的顏色，從山頂上看地面上的沙漠，正和用望遠鏡看火星上的沙漠顯同一的顏色。如地球上的沙漠一樣，火星上的沙漠也是終年不變的。

假使我們能够了解沙漠和森林間的不同可怕的意思，我們將要在地理上得到新的趣味。在這本書的別一節，我們會學過些關於水的功用和綠葉的意義。沙漠除了間或有一處兩處沃地外，簡直是沒有水的地方。我們不能不算牠是死的。而一方面森林卻非但自有生命，而且還是更多的生命的源頭。牠的綠葉使動物

得以生活，因為牠供給動物所需的食料。森林內的樹木，使空氣清潔，因為牠能吸去炭酸氣而送還養氣。他們還有無數的方法去改變土壤而使牠肥沃。總之，凡此都是維持生命的。甚至於樹木的遺體變成了炭，還是在供給我們後出世者的需要，所以維持生命的這句話，那時還是真確的。

關於森林和沙漠的意義，和他們中間的絕端相反，非洲的大陸，現在給世界以最可驚奇的例證，這是於現在於極遠的將來都是很重要的一點。

最黑暗的非洲的大沙漠和大森林 當我們觀察非洲大陸的時候，有兩樣景象最刺我們的眼目，因為在地球上兩極端的例證中，牠所給與我們的是最大而最可驚奇的了，非洲北部的大陸，是為撒哈拉大沙漠所佔據的。在南方，則有一個大森林，叫做剛果森林。在非洲中部的右面，靠近這森林，便是剛果河。

剛果河的流域是和剛果森林相若的。但這森林的面積略為延北一些，而多少被他河如奈遮河所灌溉。這種河的名字是無關緊要的。其主要點是那裏有水，所以那裏有綠葉。此外我們在非洲地圖上用什麼顏色去給與這部分的地方，也無關緊要。一個人若把非洲當作一部分沃的變化的世界，那作起地圖來，他便將要將大森林的面積設成綠色，而在牠北方的，比牠還要大的沙漠，則設成褐色。

現在我們可以知道，褐色的面積是代表什麼了，這是代表沙漠，乾燥，和死亡的。而綠的呢，則我們知道是代表濕潤，正有生命，和將有生命的。這綠的面積，實在比地面上的無論什麼部分都要重要，還有許多理由，下面就

森林因人所不能製造的橡皮而正在毀壞。這非洲的森林是很有趣味的，一方面因其面積之大，和與其他的一極端，就是那大沙漠，遙遙相對。一方面因其有各種無盡的財產，面尤有趣味的，則因牠那裏發生一種東西，為我們人類所能利用的。

這種東西就是橡皮，牠的有價值的用途極多，不勝枚舉。而且世界上沒有東西可以代替牠的用途的。這是一種植物的產物，被綠葉製成的。現在似乎還沒有化學家能把牠從組成牠的原質製造出來。大概人造橡皮的製法，如果發明了，我們將不能舉出比牠更有價值和更有用的發明來的了。

橡皮既不能用人工製造，但牠是很需要的，於是剛果的森林便不得不供給牠，如牠供給別的許多東西一樣。牠的意義，就是我們所叫作文明人的，如我們自己這樣的人，現在正從各方面深入這森林去，而牠的結果，非常嚴重。其結果之一，是我們不去愛護這種實在是無價之寶的綠色植物。這凡當我們開闢一塊地方的時候，都正是這樣做的。這事情現在正在進行，而且每年加快。我們正在只顧目前，而完全不顧後來呢。

怎樣低等民族正被文明所能殘。不過我們卻有特別的理由對於在剛果森林內所進行的事覺得遺憾。雖則現在我們可以很舒服的坐在橡皮輪的摩托車或自由車上，但我們也應曉得牠的代價是多少。要曉得有一種生物，在世界上沒有別的地方可以找得，而有無窮的趣味的，是這森林的綠葉所養育和維持的。而其中首屈一指的，是幾種人類，那是愚魯野蠻的人所要輕視的，而聰明人和聰明的兒童，都能懂得牠的貴重的，因為牠所教給我們的，都是關於全體人類的事情。

不幸在全世界，這所謂文明的進步，如在剛果森林裏的樣子，正在慢慢的確定的把低等民族毀滅。這不但在剛果森林是如此。在塔斯馬尼亞一方面和其他多方面，這手續是已經完畢，而這種人類竟已不再存在了。長此以往，大概一世紀以後，低等民族恐要絕跡了。

我們有一時認為神話的猩猩的故事。要知即使我們承認他們是比我們低等，這在有幾方面固然也是不錯的，但他們總是很有趣味的，因為他們有許多教訓給我們。一旦他們絕跡，這種功課便永遠沒有了。

在我們所特別研究，而牠的本身就有許多功課給我們的，剛果森林內，不但有低等的人種，正如樹木一般的被人毀滅，還有兩種猴子，是沒有別的地方可以找到，而是有趣味到不可以言語形容的。我們知道他們的存在，還不過是最近幾年內的事，現在所知於他們的還是很少。他們是黑猩猩和大猩猩。這種猩猩的發見者，大探險家度察宇，他的冒險的故事，在他從非洲回來以後許多年中，幾幾乎大家都認為編造的神話的，他還死得不多幾年哩。雖則現在我們所得關於這種生物的知識還是這樣的淺，和他們所能給與我們的教訓是有無限的希望，而他們可是已很快的正在滅亡了。對於這個题目的最著名的學者，相信現在剛果森林內已不到一萬以上的大猩猩，而全世界的別處是一個都沒有的。黑猩猩也沒有十萬以上。這數目果然不能算十二分小，然也不能算大了。

現在正從地球上永遠滅亡的類人猿，讓我們想一想，一個一萬人口的小村鎮，而設想他是地球上所有的人口，然後再設想那散布在一個很大的面積上，一萬個大猩猩，靠森林的存在為生，而這森林是一天天的正在毀

滅的。那些大猩猩和黑猩猩在剛果森林內的遺跡，就是這樣的。像現在的樣子，只須一二代後，他們就都要滅絕了。然而所有這種種都和現在管理這世界的人漠不相關。他們不會見過一個大猩猩，也必要看見，除非耕此可以賺錢。但對於自然和人類生活的學者，這種神奇的生物，還正當我們初知道他們的存在的時候，而就要從這世界上永遠滅絕的了，卻是看得非常重大的。

這大猩猩和黑猩猩的身上，有好幾百種的性質，除了人以外地球上沒有別的生物也有的。還有幾種我們所有的疾病和不適，也是除了這兩種生物和還有二種長臂的類人猿以外，地球上沒有動物受到的。研究了他們，我們近來會知道些關於人類疾病的事實，和全世界的橡皮，無論是從前所有的，或是將來能有的，有同樣的價值。

毀滅森林而帶給人類以破敗的要橡皮的呼聲，在現在的時候，我們盲目的毀壞的行爲，正在地球的各處做他破壞的工作，但沒有像在這大森林內所做的這樣有害的了。我們一定要有橡皮來做車輪，還一定要快而且便宜，只須牠能夠供給我們一日，我們便不去問將來怎樣，不去留心這和將來橡皮的供給是會影響的，也不去想到有一種說起來很可怕的事情，正在碰到一種不幸的人類而是森林的子孫的身上，也不去想到這種全世界沒有別處可以找到的神奇的類人猿，正在很快的從地面上滅絕，而當將來的人回看我們，而驚奇怎樣會這樣自私自利，暴殄天物，和不注意學問和生命的人類時，我們的耳朵將要聾了。

最近的時候，美國的國民和政治家才知道了科學家所已說了許多年的話，這就是我們對於世界的責任之

一，尤其是對於我們的子孫和他們的子孫的責任之一，是種植樹木。從前有一個老規矩是這樣的，一個人如倒了一株樹，他必須重植一株新的去補償。不過在英國這條規矩是早已被人忘掉了。在美國也沒有人去遵照，所以幾千畝豪華的森林，從前除了大自然之外沒有人去觸動過的，已經以可驚的速率伐盡了。

當種植的人熟睡時也能生長的樹，我們不大曉得人類的生活是依賴綠葉的，而斬伐樹木差不多是把懸掛自己的繩子割斷。不過總有一個時候，我們將要更加聰明些。窩爾忒司各德 *Walter Scott* 曾在他的著名的小說密特洛新之心 "The Heart of Midlothian" 同引述一個山地的地主臨死時對他兒子的話，說道：「約克，假使你沒有事做，不妨種樹，那是你睡着時也會自己生長的。」一個人在生過一攤草的地方去種植兩瓣草，就是爲人類服務，這句話是十分的當的，所以造成森林而使不毛之地變爲各種生命的住處，也可以叫作「造林事業。」請到善於破壞的人，我們已經說：「他們製成沙漠而叫牠和平，」同樣講到能夠幫助自然的大工作的人我們也可以說：「荒涼和寂寞爲了他們而歡喜，沙漠也快活，而開玫瑰般的花。」

熱的地球的地殼

山冰河地震和火山 上面我們已讀過了沙漠和森林相反的事實。固然一個初和地面相識的人，也許以爲還有別的事情比沙漠和森林更可驚異的。不過我們以爲地球的價值和意義，是因了生命才有的，而從這個觀察點看起來，森林和沙漠的相反，是地球上最重要的事情了。大概離了生命這一點而論，最可驚奇的，便要算

山谷內地的峭壁，和所謂峽谷的了。在海岸邊的峭壁，我們是早已知道了的，我們可以看見海水幾幾乎天天在地上面起作用。但在海很遠的地方，我們曉得也有峭壁的，還有很大的谷，好像突然間被洪水挖空的似的。現在讓我們研究這種離陸地上的高出的和低下的部分。

關於山脈的成因，我們大概還正在起始了解。但無論如何，有一點可以確信，就是這種過程是漸進的。我們也可確信地球內部的冷縮，是一個造成山的暗中的原因。一般人的見解，這我們現在已疑心他大概不是完全的真理，以為山脈是由地殼因要補足內部冷縮的空缺而皺成。在上冊第四十六頁上有一個圖，很巧妙的表示出怎樣這地殼可以假定為摺皺而成三條縱線，就是世界上三大山脈所代表的。

現在我們開始相信那各處地方都有的奇異的銹厚質，大概因之牠內部所發生的能力，在造成山脈上也有一分力量的。不過關於這事，我們現在還不能多說。現在讓我們轉到那些不是堆起的而是掘出來這部分陸地上去。在十九世紀以前，大家總以為谷是由突然的大攪動如洪水氾濫這樣事所造出來的。當我們看不出牠的緩慢的進程，而他們的作用是需要這樣極長的時間，使我們竟不能知道其久遠的時候，我們往往不能懂得牠能發生怎樣的大變動。在第一次有人主張說，內地的峭壁和大谷等的長線，是並非突然間生成，而是慢慢的被現在還作用的種種力量，如水，風等力所造成，對於這個题目的學者，總不能相信牠是真的，但在現在已沒有人對於這個問題起疑問了。這個真理的發見者，是一個大地質學家，名叫加爾斯來伊爾，他像別的許多偉人一樣，生前被人吐罵，而在現在或將來，則所有研究地球的學者，將要沒有一個不敬重他。

從前曾有過一個時候，美國的大部是被冰所掩蓋的。在過去歷史中，這樣實在已非止一次了。現在沒有一個人知道這冰紀時代的真因，所以最好還是不去說牠，大概在不多幾年間，我們將要研究出牠的原因來。不過當我們研究山脈時，我們至少要曉得從前曾有過這種冰紀時代而最可注意的，是這種冰紀時代，在地質學的時期中要算是最近的。

怎樣山和移石告訴我們以地球的故事 達爾文說：「蘇格蘭和威爾斯的山，用了他們破裂的斷口，磨光的表面，和聳立的移石，所告訴我們不久以前曾充滿着那裏的豁谷的冰川的故事，就是一塊火燒的宅基所告訴我們的這座屋子的故事，也沒有這樣清楚的了。」在世界上的許多地方，我們至今還可以研究這種冰對於山的作用。前上冊四九頁有一張圖，畫着一道冰川從一個積雪所蓋滿的山頂上沿着豁谷流下來的景象。在極冷的地域，我們可以找到這種冰川直流到海面，但在別的地方如瑞士，那我們自然只能找到冰川在離海面四五千尺的高度才有。舉一個例，譬如在格林蘭，當冰川到海面而破碎，就成爲冰山；而在瑞士則往往從半山破碎而滾下，成爲一種叫做墮冰的。

當我們說到冰川時候，也許有人要問，冰怎樣會流？牠流得多少快呢？我們可以說，牠是會流的，牠的速率大約每天幾尺的樣子，在中間的部分快些，在兩旁較慢，因爲受着兩旁石面的磨阻的緣故。

冰川會永遠流動的會異的理由 在別的河流，這個道理也是一樣的，就是血在血管中流，也是如此。冰河怎會流動的理由，現在已知了。冰的重量，使牠向下墜，同時自然也被上面的雪壓下來，不過如果沒有冰受壓會

融解，和壓力去後再凍結的一個事實，那冰河仍不會流動的。

所以當冰川流下的時候，中途沒有什麼阻力，就使一部分的冰融解，於是就流過了。而這阻礙已經過了之後，牠重復凍結起來。冰有這樣奇異的性質，是可以實驗的。其法是用一條線跨在一塊冰上，線的兩頭懸重物，過了一回，那線可以直通過冰而冰絲毫無損。這因為線壓着的地方冰會融解，線一過便立刻再凍結之故。冰河的冰是由高山上的積雪變成的，雪受壓擠緊，便成爲冰。

關於墮冰，我們可以不必講，只須知道牠不一定是冰所成的。牠有時是雪所成。雪所成的墮冰在春天是常遇的，而由冰河破裂的冰所成的，則在夏天較多。我們要記得冰山是由極冷的地方的冰川所成的，因爲在那裏冰川可直達海面。我們看見一個冰山的圖的時候，我們須知道我們所看見的只是牠的一小部分。

浮在海上的大冰山 一個冰山只有八分之一或九分之一浮出在海面上，其餘都在水面下，所以水手們有時看見一個高出水面三百呎的冰山，我們可以推想牠的全積是怎樣的大啊！海流有時把冰山從北冰洋直向南方帶來，橫過汽船的航線。偶然還有北極的動物帶在牠上面。這種動物，當冰山在暖的水中融去，就要淹沒了。

牠的山已被磨去的世界 冰川、墮冰、雨、雪、霜、空氣等，都常常傾向於把山磨去而使成平滑。當我們研究別的世界，這種世界有許多方面和我們的世界相同，不過牠的歷史較老，那我們就可以看見牠的山會遇到些什麼事情了。譬如我們的近鄰火星，就是沒有山的。這是我們可以確信的，因爲我們已證明，即使極小的山，只須牠

有，現在的望遠鏡總可以看出來的。但天文家夜夜觀察，注意着火星的邊沿，水不能看出一些山的影蹤。假設牠上面有山，只須二千呎高，便可看見。固然或者也可以說，火星上是從未有過像地球上這樣大的山。然而火星所以光滑的主要的理由，大概因為牠的山是已經被磨去了，正如大概在地球也正在進行的事情一樣。

火山是山的十分特別的一種，由特別的方法造成的。所有的火山，樣式都是一般的，這因為他們生成的方法是同一的，就是由於內部迸發出的物質漸積起來而成的。世界上有許多地方有火山，有的是現在還在活動的，有的則在我們人類的記憶中，沒有見過牠有過一次迸發出什麼物質來的。在火山中心的洞，叫做「火山口」。火星上沒有大火山，月亮上有許多像火山般的東西，但有些天象，現在以為這些實在並不是真的像地球上的火山，乃是被大隕石所擊成的。這還是一個可疑的問題，所以現在我們不去多說。

火山起初是地球上的一個洞，多少有些突然的被地震的結果所造成的。近年曾有一個旅行家，很幸運的竟親眼看見一個火山的產生。

從這個地面上洞或裂口，噴出水汽和許多化學物質，這些化學物質中，有幾種很強的證明海水是在作用的。火山通常是近海的，所以也許海底裏的地震放一些水到較深的地層下去，在那裏水變成汽，而從陸地上迸發出來，就成為火山。我們也可以料想到容易地震的地方，應多火山。我們都曉得西西利的快得納山 Mount Etna 是最著名的火山之一，而西西利便是很容易發生地震的，不久以前，就曾有過一次空前的地震。

我們現在還不會曉得怎樣，而且為什麼有時一個火山休息而有時活動，也不曉得為什麼有的竟死滅？不

過我們曉得，或是爲了這個原因，或是那個原因，大概是海水透入熱的地層的緣故，火山就會爆發，而噴出極熱的甚至燃燒氣體、液體、和固體物質來。

赤熱的熔岩的河從火山上流下來。在第一次爆發以後，有一種物質叫做「熔岩」的，往往在幾個地點起始向火山旁邊流下來。在熔岩不過是一個從火山上迸發出來的熔化的岩石的總名，牠裏面實在有很多不同種類的岩石。據說這種熔岩流動時，有些像蜂蜜的流動，其速率有種種不同。曾經有人看見過一個熔岩的川流，其速率竟有每分鐘三哩的樣子，不過這是例外。當熔岩起初流動，牠是白熱的，後來變爲赤熱，末了變成黑塊，和煤渣差不多，浮石就是熔岩的一種，牠是被氣體所充滿的熔岩流上面的泡沫。還有一種熔岩是暗黑的，好像玻璃，牠的特別名詞叫做「黑曜岩」，是很美麗的東西。有一事很有趣，就是在火山的產物中，可以找得統的證據。所有我們現在這個題目中的這一部分，都已從統的發見受了極大的影響，現在我們還不知道我們舊觀念將要改變到什麼程度？

我們住在一個內部熱的冷面上。沸泉也是火山的一種。這是一個地上的洞，噴出一般水汽和熱水的泉流的。最著名的沸泉是在冰島、新西蘭、和北美等地方。有的每隔一定的時間，噴水一次。因爲這種水中常常有許多種的鹽類，而這種鹽類常在這沸泉的四周分出，成爲固體，所以常常造成一種像火山口般的東西，不過小些吧了。在火山和沸泉這兩件事實上，我們不能不想到地球內部的高熱，和其對於流向牠的水所生的影響。我們是在一個內部極熱的東西的薄殼上住着，而且行動的。

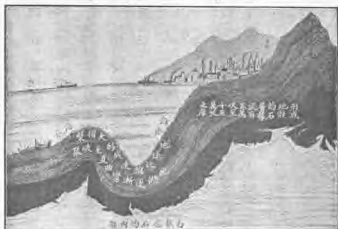
照此說來，地震自然是可能的了。不過因為我們不大曉得地殼的深淺到底有多少，所以地震的原因是很難瞭然的。我們所叫做固體的地球，是多少在那裏動着的。在格林威許天文台近旁的山上遊玩的小孩，很足以搖動那個山，而攪動那裏的天文儀器。甚至一陣大雨的重量，或霜的影響，也足以使地球激動，感應極靈敏的儀器可以指示得出來。所以一片山岩的崩下，或是一陣墮冰的滾下，自然能把地球震動到一個頗大的程度了。

一個發明測量地震儀器的英國人，上面所述，都表明這地球是受許多種的攪動在牠的外面起作用的。不過真正的地震，卻由於在地球內部作用的力，而這種力就是能發生可怕的破壞的。在世界上有幾處地方，地震特別來得多。微小的地震，固然在歐洲也有，但和日本大不相同。在那裏地震是非常的普遍，而不得不特別的。不過在一八七五年，英人約翰米倫教授開始在日本研究地震以前，我們對於地震所知很少。他曾告訴我們說：「那個國裏，在一年中一定的數季，日間可以有數次地震，夜間也常常有。」那個時候，還只有只能指出地震曾經發生的儀器，但現在約翰米倫教授和其他學者已發明了能够量出地震的大小的儀器了。

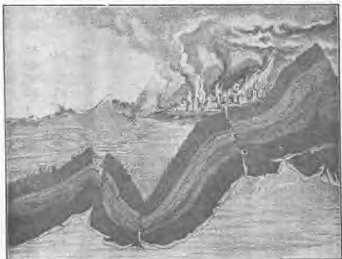
所以現在這門的學者已能够算出在建築房屋或橋樑時所當算進去的力了。他們在知道了地震時地殼動搖的情狀之後，他們便做成種種建築物的模型，而同樣的搖動起來，因此曉得怎麼樣的建築物最能支持。此外還曾經指示給我們有幾種地皮，比別種容易受影響。通常在硬地上建築比在軟地上好，離地皮的邊緣和斷面較遠的地方比近的地方好。

怎樣地震能幫助人知道好建築物的規律 米倫教授曾說：「你們當記得有兩種構造是用得的。一種可

震 破 的 殼 地



地球的內部好像一個大火爐。我們大家都生存在這包着火爐的地殼上。當地球內部熔化的東西漸漸冷去地殼就皺縮彎曲起來。正像一個櫃子乾燥時起的皺紋一樣。因為皺的緣故山岳即若不成如圖中所示。



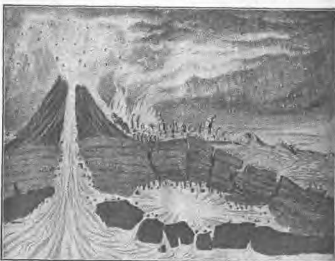
我們總以為地是堅實的。可是經過了幾次可怕的地震。方知地並不知此。因為地殼經過甚無力支撐。那地面上的岩石。便要破裂（如圖）於是地即起震動。幾百哩以內的房屋都要被牠毀滅。

以比一只鋼鐵的匣子，一種可以比一只柳條的籃子。你是為富人造的，而柳條的籃子是為貧人造的。只須你還有一個好地位，那便除非地皮在你腳底下裂開，沒有

地 中 志 標 噴 出 火 來



這圖表明
火山爆發
而為地震
的原因看
了這圖我
們好像親
見那大白
熱的機器
正在準備
滾成那一
動搖到一
樣圖中的
火山除還
休息着但
去繼續噴
火之期已
是不遠了。



水從海底
透過地殼
滴入地中
把地中的熱
水蒸氣到
後來氣體
膨脹將岩
層炸裂地
石和熱泥
石和熱泥
就山這裂
口噴發出
來這種岩
石的破裂
足以演成
地震圖中
是舉火
山口軸的
噴裂大概
就是這種
原因。

歷史上所曾有過的地震，可以損壞你的房屋，至多不過能使你架上的裝飾或牆上的白粉走動一些罷了。」

在威得島 Isle of Wight 上奧茲本 Osborne 的海軍大學裏，有一個村是照這個原理造的。我們現在

對於地震固然還不會懂得什麼，不過過去半世紀的研究，至少已教給一個極重要的教訓，就是怎樣可以免去地震所發生的房屋的損壞，和可怕的生命損失而保護我們自己。

土壤及其用途

我們對於地球的知識愈多，愈覺得地球好像是爲着生物而設的。這星球好比生物的活動場，好比生物之母。現在凡能呼吸空氣的生物，都居在這星球最高的位置。我們研究生物的生活時，知道他們都在地球的表面，就是地殼同空氣接觸的地方。所以地殼表面土壤的構成，除了空氣、雨水、光線外，也是同生物的生活作用，很有關係的。

我們常常說：我們係靠着土壤生活，實在係因爲動物的生命全靠植物；植物的生命，又靠着土壤的緣故。所以我們簡直可以說：不管什麼生物的生活，都是靠着這個地球的表面不停止的變化才能存在的。

我們居於鄉村中，或立於海岸上的時候，土壤的形狀，就好明白。因爲白堊崖上的薄層，與以下各層的顏色態度，是完全不同的。英格蘭南部的海岸，是一個最好的成例。若此地的地質，一經研究，則其餘的地方，就可類推。惟荒涼的所在，和永遠爲冰雪所遮蓋的，則不在此例。凡此種最容易考察的作用，實爲吾人的生活所倚靠的。

試觀海岸邊白堊質的懸崖，牠上面數呎的土質，已從白色而變成棕色。因爲這種白堊，一經風化的作用，容

易變成泥土。至問其所以變棕色的原因，則不外其中所含的鐵質，已漸漸變成氧化鐵，雨水經過這種棕色鐵化物，就帶着牠流到別處，所以棕色的條痕，滿布石岩上，而植物遂在這泥土上，生長發達。我們便是在研究地質的初步中，也就有很多的有趣的和要緊的事可以知道。

我們都知道，生物須取用淡素，作他們的食料。我們又知道，空氣中大約有五分之四，含着淡素。所以地面上的泥土，及生存此泥土上的生物，沒有不和淡氣發生關係的。而且泥土是鬆的，當然會含着許多空氣，這種空氣的大部分，也就是淡氣。因此我們可以知道綠色植物，都從空氣中取得了牠所需要的淡氣，以為生活。至於取用碳酸以為生活的植物，也須淡素為其補助。

沒有淡氣動物便不能生活。我們人類以及下等動物，沒有不靠着淡氣以為生活的。但這種淡氣，雖然我們從空氣中吸取了而經過我們的血液，我們並沒有用着牠；不過無論是誰，要是不得這種富有淡氣的蛋白質為他的食品，卻就不能生活於天地間。所以有此種結果的原故，乃是為了生物不能直接取用此氣，除非牠又和別的東西混合了。數年以前，發現了一個事實，就是植物，也恰像我們一般的。他們固然能够吸收碳酸，但不能吸收淡氣。這是六十多年以前一個英人證明的。不過我們卻又確實知道，生物非淡素不足以生活，所以凡是種植物的人，沒有不豐富的淡素混合物，給予植物的。但這淡素混合物是怎樣得到的呢？卻是一個最有趣味的問題。

我們都知道，凡電光發現，或空氣為電氣所震動時，即有一部分空氣中的淡氣和養氣化合；此種化合物，使為

雨所吸收，而送至地下。這就是生物所用淡素混合物的來源之一種。

泥土中淡氣的大秘密 但是精於種植的人，很知道這種淡氣的來源，實際上是不能算數的。如果他想單靠這個，那末在泥土裏就一些也不會有淡氣混合物，他所種的東西，一些也不會發長，而人所倚以為生的植物都要沒有了。或者我們說得準確些，植物等到將牠種子裏的淡氣用完了，牠就只好停止發長了。所以除了雨水降下時給予泥土一些淡氣之外，必定還有別種淡氣混合物的來源存着，這是一定的道理。

我們知道這個，還有一個原故。因為世上有幾處的泥土裏，確是特別富於淡氣混合物，這些混合物的來源，完全不是雨水的的作用。一定在泥土裏有一種東西，能使自由的淡氣，和別種原素混合，成為植物生活所需的淡氣混合物。我們說，淡氣會被凝住的，因此淡氣凝住的問題，就成了研究土壤學的人最有興味的一件事情，接着就發現了許多奇妙的事情。

菌類和植物的同工 的確有一種植物，歷來有一種特別的力量，能自己生長發達着，一些用不着別種植物所需要的淡氣混合物。這種植物的正當名稱是「**莖莖科植物**」。他們得名的由來，就因為他們會結莖莖的；我們一想到一個莖莖莖，就可以明白莖莖是什麼了。現在我們覺得生莖的植物，假如莖莖莖等，都存一種從空氣中得着淡氣的能力，而自為滋養；當我們仔細考驗他們的時候，竟是發見他們所收容的淡氣，非常豐富，倘若不是從空氣中吸取來的，那裏會這樣多呢。

研究這些植物的人，看出他們的根上，有許多細瘤生着，卻黏着一些細土。倘然這些植物是生於沙中的根

上就沒有細菌，非有淡氣混合物供給他們，他們便不能生長。因此，可知在泥土裏，一定有一種東西，能够發生這些細菌，而將吸取空氣中淡氣的能力，給予這些植物。第二樣看出來的事情，就是那些細菌中，充滿着一種特殊的細菌。這樣，荳莢科植物的確是和細菌同工的。兩種生物，自己安排着同工的，我們知道還有不少，這是其中一個好例子。豌豆或蠶豆，或不論什麼荳類，將糖和水分供給了細菌，因為細菌雖然極其需要糖和水分，卻不能自己產生這些東西的。在那一方面，細菌卻有一種非常的能力，會凝住空氣中的淡氣，那就是將牠和別種原素化合。這樣造成的淡氣混合物，就此供給了荳莢科植物，他們得到這些東西，反好像從泥土中得來的一般。但是這種細菌固然能够凝住淡氣，我們要牠向別種植物作同樣的工作，卻就完全失敗了，譬如我們將牠向麥作試驗，總是不成功的。這種細菌的同工，只有和荳莢科植物才會發生着。

淡氣給予植物的能力 這事以外，當然還有許多事情待我們去發現，或者已經發現了。既然這種細菌能够凝住空氣中的淡氣，那末我們說不定土中也有許多別種細菌，也能凝住淡氣，產出淡氣混合物，供給一般的植物，例如種種花草樹木和穀類等。

現在，我們有一個必須明白的要點在這裏。當我們取用淡氣，而使牠和別種東西化合時，就存一種能力儲蓄着，換言之，就是淡氣混合物中的能力，比了純淡氣中所含的要來得偉大。這種能力，當然是植物所需要的。不過無中不能生有，有中也不會生無。倘然我們在化學實驗室裏製造淡氣混合物，我們知道，我們要製造多少，就要化費多少電力或熱力；正像這種混合物在空氣中被電力所製造時一樣。現在，雖然生命是奇妙的，能做許

多驚人的事情，但牠卻不能創造，也不能毀壞。牠不過是個調節者，並不是個創造者。倘然一個徽菌製造一個淡氣混合物，牠必定要從別的地方去得着那種工作的力量，方和化學家做這工作時所需要的一般。

徽菌用淡氣混合物飼養植物的方法 因此，可知一個徽菌製造淡氣混合物時，在牠的食物裏，必須要有了一種能力，然後牠才能使牠製造出來的東西也有能力。徽菌既然是寄生在荳莢科植物的根上的，所以那些能力是從那些植物來的；這就是他們間交易的一部分，那時這交易的形式是小粉和糖質。這些東西都是含着能力的，因為他們會使我們強壯，所以當他們供給徽菌時，徽菌就將他們的能力製造於淡氣混合物之中。

但是現在大問題就發生了，因為植物需要着淡氣混合物，而徽菌卻在製造淡氣混合物之先，需要着植物的幫助。我們第一個問題就是：在最初的時候，究竟那能力是從那裏來的？可是回答起來卻很容易。那能力是從太陽來的。植物造成的糖質中，有日光的能力儲蓄着。這個能力，就是徽菌取來製入淡氣混合物中的。現在我們在幾個一定的地方，可以找着富於淡氣混合物——硝酸鹽——的泥土。在俄國，在阿根廷，都有這種泥土，那當然是農夫的大幸運，因為那裏能產出最茂盛的麥子。重量的硝酸鹽都含在這種泥土的田裏，而這種泥土卻又是幾呎深的。

徽菌的能力最初是怎樣從太陽來的 我們已決定，這些淡氣混合物是徽菌製成的。不過這些徽菌，並不是和寄生於荳莢科植物根上的一類的，是身外的。但是物力有來源的定律，是必須遵守的，那末徽菌所用的力是從那裏來的呢？這也是從太陽來的，不過藉着植物的媒介。這種泥土的全部意義和解釋，就是天然的植物

在這種泥土上長久的長着，從太陽方面收取能力，將這能力變成了物質，落到土中去餵養細菌，因此使細菌能凝住空氣中的淡氣。在某處一個農業專門學校裏，有許多人時常在那裏告訴我們這種泥土變化的大事實，他們曾將兩塊田裏的泥土，加以審慎周詳的考察過的。

地球保藏着太陽的富力，其中一塊田，用平常的方法種植着，每年的產物，不論是什麼東西，人總是來取去應用着。那另外一塊田特為放棄了二十五年，由牠荒蕪着，到現在果然成了一塊草原。他們的泥土，在二十五年以前，都曾經仔細考驗過的，其中所含的硝酸鹽，都為人所知道的。現在再去考驗一下，就覺得一直種植的那一塊田裏，比了從前，已可以說沒有什麼硝酸鹽了，而那一塊荒田裏，就可以取出鉅量的硝酸鹽來。原來荒田裏的植物，一年一年的長着，他們的小粉質和糖質，並沒有被收割的人取去，都重新落到泥土裏去，餵養着那些會凝住淡氣的細菌的。

這一種細菌，發現得還不甚久，大概可算得世上最重要的細菌了。牠的名字是「硝石細菌」Azotobacter，意思是和硝石有關的細菌，硝就是淡氣的舊名稱。在這個專門學校裏，他們已考驗過世界各處的泥土，竟是有沒有例外，都含有這種細菌的。牠的確是一種大而圓的細菌，但是牠的能力和牠的外表是沒有關係的。倘然我們能看得到這個生物的內心，我們就可以知道牠實在是一個奇妙的能力調節器。

奇妙的細菌正像一個燒燬糖質的火爐。細菌像個火爐。牠能用非常的速率燒去糖質和小粉質。牠既燒去他們之後，就製成了淡氣混合物。世上各處，我們所倚以為生的植物，全靠著牠和細菌間義務的平均才能

生長，因為植物只能直接吸收空氣中的炭酸，而不能吸取淡氣，而黴菌是能直接吸取淡氣時，卻要植物供給牠的食料。所以，在實際上說來，荳莢科植物的發現，在能夠應用到各種植物身上去的。荳莢科植物自己雖然有一種安排的方法，會使那特種的黴菌寄生在牠的根上，和牠同工過活，但他們互倚為生的道理，在別種植物身上也未嘗不是如此，因為硝石黴菌這一類東西，固然全自由生長於泥土之中，而不必寄生於植物的根上，可見他們生命的道路，也未必能夠出原有範圍之外。

硝石黴菌的存在，實在是很需要的，因為這樣泥土就不為變成酸質了。我們有時也簡找到已經變成酸質的泥土，只因爲有什麼東西已在他們中間變成酸質，或加進酸質了。在這種泥土裏，硝石黴菌是不能生存的，當然不必說，這種泥土就很瘦瘠的了。有時我們很恨這種泥土，因此盡量的加肥料進去，要使牠變好起來，可是結果卻多造成了些酸質。

土中千千萬萬有用的黴菌 我們照上面的方法做，非但沒有好處，反將硝石黴菌摧毀了，而使植物不能生長。現在我們可以開始知道一些泥土的各種性格了。黴菌種類得多，簡直沒有言語可以表明得出。泥土的表面，時常從植物的枝葉等物，得到他們物質上的增加。此外再有獸類的殘遺和別的東西加上去，至於特意由人工加上去的肥料還不算。這些東西一到土中，便立刻變了，而且很容易證明白，他們都變成黴菌的。倘若我們取一些泥土，加以熱力，將裏面的黴菌殺死，那些變動就立刻停止了。或者我們放一些殺黴菌的東西，像哥羅芳之類，在這種泥土裏，那些變動也會立刻停止的。這種情形當然我們盼望不會遇見才是，我們只盼望那些變

動依然在土中進行着，爲植物預備應用的食品。我們已知道，秋天落下來的葉子，到了春天就成爲細菌的食料，只要那些細菌是能活動工作的。

照此看來，泥土的平常化學作用，當然是十分重要的了。我們已知道，酸質泥土和鹼質泥土的分別，是何等重要，所以我們時常要將硝酸鹽、碳酸鹽、和阿姆尼亞鹽這一類化學混合物儘量加到泥土裏去。然而我們這樣做，卻有時竟至有損而無益，因爲我們所加進去時，往往過度，而失去土中細菌平均發達的力量，我們現在才知道，能決定收好效果的，的確是有生命的細菌，不是無生命的化學混合物。所以現在的問題，只是到底我們要不要只將細菌加到田裏去，因此而得到比加進化學混合物更多的成功。

懶惰的細菌並不爲他們的生活而工作。有些研究這事情的人，就將寄生於荳莢科植物根上的細菌，取了一些下來，自己餵養着，等他們長得發達了，然後再放到土裏去。可是他們開始時失敗了，原來放在試驗室裏餵養出來的細菌，已是變懶了，當他們回到土裏的，竟是一些也不工作。這正是普通一切生物的至理。那些細菌既已過慣了不須工作的生活，在玻璃管中吃着種種的好東西，長得很是肥美，就此成個無用東西了，好像一個吃得太多而不工作的人一般。幸而這到底不是困難，因爲我們所期望土中應有的細菌，本來是到處有的。

有許多人相信，用活的細菌餵養泥土，是很有用處的；可是在另一方面，又有許多人還不能決定說這是已經證明的事實。不過無論如何，過後我們便可知道了，而且我們更可確信，現在雖然不能達到我們所希望的目的，我們不久就能達到的。現在，又有一個最重要而我們必須研究的事情發生了。

從前的日光餵養着現在生產植物的田地。我們大家知道，當我們用去煤或煤油時，就是用去從前植物從太陽那裏得來，而加以儲蓄着的富源。現在人類所藉以爲生的五穀，也不過是這種富源的供給，固然有許多生產豐富的地方，這個富源是非常偉大的，可是牠到底不是無限制的。現在世上各處奇惡的五穀，當然是在那裏用着現在的日光，因爲他們要是沒有這個，是不能生活的。但要是他們只靠着這些，他們還是不能和現在一般的生長的。因此，在實際上講來，他們大概還是依靠着過去的日光生長的，正好像我們要用煤來餵養着沒生命的機器一般。

我們已知道，植物所倚以爲生的土力，早就儲蓄着的，早就爲硝石黴菌從以前的植物身上，取下糖質和粉質來製成的。現在富力充足的泥土，就是從前有儲蓄的泥土，正像那某大學裏荒蕪二十五年的一塊田，所以會肥美的，只爲了人沒有將牠年年所產的富力取去。現在有許多人都在那裏盼望科學家會幫助他們解決這事，因爲他們這個現象，確有不容漠視的地方。

自然和科學所不能做的事情。他們想當煤用完的時候，或者肥美的泥土用完的時候，科學將要供給他們別樣東西。現在，科學是不能做什麼奇妙的事情的，他不能無中生有，因爲即使自然本身，也不能無中生有。科學可以想出最好的方法，來利用現在射到地球上來的日光。但是我們現在天天在消耗去從前的日光，我們又不能預支將來的日光，我們將藉着什麼來生活呢？這真是一個大問題，有頭腦的人，必須要仔細想想，否則恐怕我們的子孫要攻擊我們，稱我們現在爲浪費的時代了。

此後我們將講到地球故事的另外一部分。對於地球是什麼的一件事上，我們已有一個好見解了，我們也研究過地球以外的許多空中世界，來幫助我們，可解我們所住的地球了。我們也已知道造成地球，太陽，諸恆星的各種原子，和各種原子互相結合的方法。如果我們用起學者的口吻，我們可以說已經研究過地質學，天文學，化學，和地理（不是講講疆界城邑的地理，是自然地理）等，而最後我們又已研究過農學。可是此理仍舊還要着一個重要的大研究，沒有請教過，這就是物理學。

我們現在所說的物理學，就是聲，光，動，熱，電的研究。當然物理和別的東西，例如化學，是沒有什麼實在分界的，因為我們不能單獨的就會明白一件事。雖然我們時常說，時常想，自然和我們心思一般，各項事情分得很清楚的，到底還是大謬不然。這不過為便利起見，我們才將他們分開來，因為我們不能在一時看見各種東西，我們只好一時研究一種東西。所以此後第一步，我們就將研究物理學中的動學，那是比我們現在猜想得到的要有趣得多。

動怎樣改變物質

動體所發生的奇力 我們現在是講到地球故事的另一部分，就是物理學中的動學。當我們放眼向天地和我們自身察看一下的時候，我們的眼裏，便得着了兩種東西：物質和動。在這本書裏，已有許多地方講到物質，例如他們是什麼構成的，怎樣會構成岩石，行星，和恆星的。我們在此地不要再講什麼物質的本身了，也因為我

們對於牠並不曉得十分多。四十多年以前，人總想他們是完全知道物質的。現在我們才知道，雖然我們已學習了不少，可是還不過學習的開始。不過，無論如何，我們現在說着物質這一個名稱，我們總知道我們是在講些什麼，因此我們就可以進一步而研究那個所謂「動」之一事。

動之爲物，在概念上是不能和物質一例看待的，不過牠說是真實的罷了。一個球握在手裏，和一個球射過來時擊到手上，一定有個分別，要是一個孩子肯注意這個分別，他就能知道動是真實的。我們只輕輕的跳上一步而入水，或者我們卻高高的飛擲落水，我們要是亦肯注意這兩事的分別，我們也就能知道動是真實的。我們現在正在開始相信牠比物質還要來得真實，物質不過是一種東西的動的狀態，這東西就是我們所說的以太。

這事非常新鮮有趣而重要，我們必須要想明白牠的。我們相信世界各處，都有那叫作以太的一種東西。有些人要笑以太，以爲牠不過是想像的東西，但是除了人的心思以外，牠或者可說是世上一切真實東西中最真實的。如果我們藉着學習一切的心思也要算不真實，那末世上簡直沒有一事是真實的了。

運動能發光生熱而使物質成爲真實。以太不動的時候，我們就不能知道什麼；沒有什麼出現，就可算以太不在那裏。可是以太一動——動法不一——就有許多東西出現了。爲了這個，我們便得了一個很好的理由，說動是真實的。倘然以太用一種特殊的方法動着，那末就有我們所說的光這個東西出現了。

光和輻射熱，和愛克司光，和電力，磁力等，都是以以太中種種運動狀態。因此我一想到這些東西對於世界的關係，就立刻可以明白動是極其真實而又極其重要的事情了。不過這還是以太論的開始。我們現在正在

知道，不單是空氣，便是和鐵石一類的硬東西，也正是以太中一種動的狀態，這種動雖然是和產生光熱的動是兩樣的，但究竟還是一種動的狀態。

我們知道熱有兩種意義，一種是從太陽或火那裏來的輻射熱，就是以太的運動，一種是我們觸着的一個熱的對象。我們相信第二種熱是熱體中原子和分子的往復運動，或說顫動。所以這種熱也是關於動的。

繞成鋼圈的鐵鍊 現在我們可以將這事思想得仔細些。一樣東西熱的時候，要來得大些，已經成功定理

了。這就是說，物體的大小是和牠的熱——實在就是動——有關係的。這樣不是可以說原子和分子依着動

而生存的麼？有許多試驗，可以證明這大概是真的，這種試驗還在增加之中。其中有一個最著名的試驗，倘

然我們有機會使牠實現的，我們必須着手做。我們能不能相信一件東西的堅硬，只是動之一事所做成的？倘

然我們能想像到這個，便也能想像到以太的運動會將這事成爲物質，成爲我們以爲堅硬的物質。這試驗是這

樣的：譬如我們將亂堆在地上的鐵鍊的一圈，取在手裏，用非常的速率旋繞着，牠就會變得十分堅硬，好像是一片

純鋼所造成的，那時將牠拋在地上，牠竟會像硬圈一般滾得很遠，直等到牠的旋繞頗軟時，牠才自然而然的和起

初一樣，亂堆在地上。旋繞是將一個軟東西變成硬東西了。

燭能够穿過木的門 對於這事，還存另外一個奇妙的解釋，就是將燭置在槍中放出去，燭藉着動的力，能穿

過木的門，而自己不受一些損傷。

我們再可以取一片薄紙，放平了用非常的速率旋繞着，牠就能够割削無論什麼東西，正像一把刀。可是牠

到底還是一片薄紙呢。我們只使牠動，便將牠變硬了。這樣的試驗，一個一個，不知可作多少，都使我們明白，所謂硬如鐵石的東西，並沒有什麼特別會硬的所在，只不過叫他們在一定的方法上動着罷了。

不過最奇妙的試驗，是煙環的試驗。一個吸煙的人，能從他的兩唇間吹出煙環來，或者我們也可以將許多煙放到一個方的箱子裏去，在這個箱子上面作一個洞，和一個有彈力的背面，那時我們輕輕敲着背面，煙環也就會從洞中出來。

這些環正和吹煙人所吹出來的一般的，不過要大些，而容易使人看見些。在我們注意這些環做些什麼，或明白我們所看見的以前，我們必須要知道兩件事。第一件，煙——顯出一個環來的微細物點——是和本問題沒有關係的。

我們不能不有這些物點，只不過要這個環看得見。真正的環，不是煙環，是空氣環。就是我們不在箱中燒什麼東西，也能敲出很好的環來；就是我們不吸煙，也能吹出完美的環來。能懂得這個的人，實在很少。他們想煙是必需的，那裏知道煙之爲用，不過要牠顯出環來。

第二件應該記得的事，是空氣環另有一種清楚的動作的。我們知道牠在空氣中移動，因為我們能看見牠如此。然而重要的地方，實在是造成他們的空氣，自身在運動着而這種第二步運動，有些像我們將一個印度橡



動有幾什麼效用，在這圖中表示得很清楚，雖然特一枝煙抽着木板，不消說煙要碎斷的，可是將煙放在槍中，即使他走得很快，牠就會安然的穿過了木板，而燭一無損傷。

皮圈緊沿着一根棒滾着時所得的情形。橡皮圈一直自身翻着滾，滾時將裏面翻到外面來。一個煙環，也是這樣的，牠一面轉着，一面還要絞着，這種環的特殊名稱是「回旋環」Vortex-ring。

煙環不能毀滅的奇異。所以一個煙環，實在是空氣的一部分，牠不像牠四週的空氣，牠是在特殊的動作狀態中，存在着最異乎尋常的性質的。牠能存留得很久，在四週空氣中保全牠的獨立，能抗拒那破壞牠的行動。我們竟不能用刀割破牠。如果我們要想這樣做，牠就會在我們面前避去。一個環成者可在另一個環裏穿過，但我們決不能使一個環打破另一個環。這幾端和另外沒有說及的許多端，無非爲着造成這些環的空氣是一直在運行的。這種動作就將抗拒的力量給予了這些環。牠使他們像物質的原子，一般的難於毀壞。牠給予他們一種堅硬性，像鐵鏈的旋繞給予自身一種堅硬性。克爾文 Lord Kelvin 是牛頓以後研究這些問題最偉大的人，他想着有許多物質，一定可以將這種像回旋環一樣的東西來做成。因此要是以太到了一個特殊的運動狀態中，也就可以成爲物質，正像我們能把空氣進入特殊的運動狀態中而使牠的幾部分成爲許多獨立的東西，例如煙環。

奇妙的環能解釋地球的祕密。這種關於物質的回旋環理論，是諸理論中最著名的，牠可以顯示出一大部分的真理。我們前面已經說過，動作或者比了物質還要來得重要，現在也可以證明了。倘然是動作造成物質，事情一定是這樣的。全世界有許多人在從這一個觀察點上研究物質的本性。物質的電子論，他們現在正在研究着的，實際上不過是我們剛才說過的另一種說法罷了。此後我們將年年聽見那對於這個問題的新發

明。

同時，我們還須學習些別種使我們知道動作是何等重要事情。當我們停止一個動的球時，我們就知道球中有力，也必須要用力去停止牠。現在球已停止了，和起先一樣了，可是牠的力已不在牠裏面了。牠的動，就是牠的力。火車，摩托車，飛機行動時，我們知道他們的力是從別地方來的。他們的力是氣體的壓力，製在機器引擎中的。

將氣體處於一個特殊的地位，使牠自己漲大開來，當牠這樣做時，牠就推動引擎了。這種氣體的壓力，是世上諸多重要事情中之一。牠是從那裏來的？有許多人，共同研究着，也換次研究着，在十九世紀的末葉，已經發明一個極妙學說的真理了，這學說叫作「氣體的運動論」Kinetic theory of gases。

千千萬萬個推動摩托車的氣體原子 每一個人都知道，活動寫真 Kinematograph，就是現在所說的影戲。這字是從希臘來的，原意是動作，因此氣體運動論只是說，氣體的壓力和別種性質，都不過是氣體中諸原子和諸分子的運動。這事現在已經證實了。我們看見的火車和摩托車的大動作，只是千千萬萬不可思議的分子，在那裏作小小的運動。使大塊石頭，在轟裂時飛到天空中的，使偉大的戰艦，在遇着魚雷或潛水艇時沈到水底下的，也不過是這些小分子集合在一處的一些作用。正如俗話所說，積少成多，積小成大，便有無窮的力量。動就是力，我們所看見的大動和大力，實在根本於我們看不見的小動的。現在有一非常特別的事情要說，這事情是少有人想到，而於動學上是很有趣味的。

人類永遠能做的唯一的事。我們都是人類，要是身上的血液，一分鐘不動就要死的。我們是地球的主人翁。我們已將地球的表面變成種種樣式，地球上如有人，一定能看出我們所改動的是什麼？我們管理着別種動物；已造過許多大城大船；已學過許多恆星的祕密。可是我們回過來向自己問問，到底我們能做些什麼，到底人類已做過什麼，將來將做什麼，哈哈，所得的回答，不過是我們能够移動東西。這句話初看看是不很對的，但到底是千真萬確的。要是一個人不靠着他那移動東西的力量，簡直他沒有做過什麼，也不能做出什麼。他實際上所能做的，乃是移動着他自己一部分或全部分的身體，衝撞到他身體以外的別種東西上去，因此他能在地中挖一洞而自己住着，或者將各種機械放在一處，而建成一個皇宮。

我們動着我們的胸膛，嘴唇，和舌頭，我們就說話了；或者我們動着我們的身體去切緊什麼東西，我們就做了。一個阻擋；我們動着我們的手指執着一些東西，又將那東西移到別的東西上去，我們就寫字了。我們已做成許多奇妙的事情，我們也將要做成許多更奇妙的事情；可是一切我們所能做的，只是移動東西。在此我們所應該記得的，就是不過是東西的移動卻有這麼大的結果。自然的各種工作既然還要靠着動，人類的各種工作，當然也非靠着動不可了。

我們怎樣會知道東西是動着。我們的地球動着，便可以想天是動着，或者看見自己火車外的東西動着，便可知自己是動着，所以我們要知道東西的動不動，只要將牠和別的東西比一比。我們所能明白的動，就只有這個相對的動。倘然宇宙間剛剛只有一點東西為我們所能想到，而此外空中並無別物的，當然那一點是能移動

的。可是到底沒有人能夠想出一些方法來，證明白這東西是運動的，至於牠動的速率和方向等，更不必說了。因此，我們對於動之一事所知道的一切，只是一動一靜的比較，或者兩動不在一個方法上的比較。所以恆星的全宇宙或者也是在動着的，不過到底牠是否這樣動，或者既是動的，是什麼方向，有什麼速率，更就沒有人能說得出了，因為沒有東西來測驗這個動。倘然地球在一個人的下面，懸空的奔得和一個人的脚步一樣快，我們將用何法來量出牠的奔來呢？這個問題，也可適用到火車，恆星，和種種事情上去。

有一種見解，卻說人的行動，也有兩種，猶如我們看見煙環的行動，也有兩種。煙環既能全體行動着，又能各部分互相旋繞紐絞的。

我們安靜的坐在椅子裏時我們的身體仍是旋轉着。因此我們能從這裏移到那裏，或者我們不必離開我們的地方，卻能夠重新到那地方。倘然我們中有誰竟是完全孤獨在空中的，當他的身體移動時，他就可以明白究竟動是什麼一會事，可是他自身的動就不會知道了，卻和我們安坐在椅中，不知我們的身體每秒鐘要和地球同走許多里是一個道理。從這裏到那裏的動，常稱爲「地方動」Local motion。不過正當的名字，還是「移動」Translation。我們可以將牠和轉動 Rotation 來比較。移動是一往直動的，轉動卻自己旋繞着。一件東西的動法，不是這樣，便是那樣，或者兩樣同時兼着。一個球打出去時，打的人總叫牠有兩種動法；一就是我們看得見的移動，一就是地上顯出印證來的轉動。地球飛在空中，也有這兩種動：移動成了四季，轉動成了晝夜。一個特質移動時，轉動是很難避免的。由窗間落一本書或一個球下去，我們要牠不有這旋轉，是很不容易辦到的。

地軸的微顫 同時這兩種動以外，還有一種顫動。這種顫動，我們打個寒噤，就可以覺得，不和轉動一樣的。牠實際上也是移動，不過移動時不絕的循環往復，動體完全不變牠的地位的。一個波浪是一個顫動的好榜樣，我們必須明白顫動就是顫動，不必管牠的顫動速率。往復的運動，或者會一秒鐘幾百萬次，或者一秒鐘一次，甚至還要慢些。鐘擺是真的顫動，不問其為一百萬倍快，或一百萬倍慢。地軸似乎也是有這樣的一個大顫動，比了牠的移動和轉動完全是兩樣的，牠顫動的時間，並不是和鐘擺一般，一秒鐘一次，也不和光浪一般，億兆分之一秒鐘一次，卻大概是二萬五千年一次。可是這還是個顫動。這三個名稱「移動」、「轉動」和「顫動」，當我們想到動之一事時，應該記着的。當我們研究全宇宙，而覺得四週的東西都在動的，我們就不得不問：這種動力是從那裏來的？對於這問題唯一的回答是：這是大原動力，和事物之創造者來的。「牠」是各種動作最先的和最後的主動者。

動和力永勿遺失的定律 倘然我們要問，比較切近些的原動力是什麼呢？我們就可以由此而得到一個大發現，這發現是科學上最偉大的，也是在這本書裏時常提到的，也是別種關於科學的書中所引用着的。這個發現就是：動和各種力一樣，永不能無中生有，也永不能遺失的。第一個想到這事的人，是大約二千五百年前的希臘大思想家泰利士 Thales，在十九世紀的時候，就得到了證明。

不論在何處，我們不見動，我們就曉得那裏一定已有別種動在着，或者是一種動的連續，或者是由着別地方的動而發生的。球離開手臂時的動和力，是從我們肌肉中的糖質得來的。各種動都是如此。而且這個原理，

不單在動之一事上準確，在不論何事上也是一例的。牠有一個特別名字，就是『能力的保存』Conservation of energy。能力 Energy 是力 Power 的另一特別名字，保存律說力是永不遺失的；此外，名字中雖沒有說出，而力不會無中生有的道理，也是這保存律的一部分。

牛頓動律的第一條，就能使這保存律表現出來。各人都該知道牠，因為牠是適用於各種東西的。牠常被稱為慣性律，意思不過是『無所為』。

動體為什麼不永遠動着 慣性律說一件東西動時，牠自己已不變中止或變更的。因此牠總要永遠的動着，而且在同一的方向，同一的速率動着，除非有什麼別種力來阻止牠，或改變牠，或使牠慢些和快些。這是慣性律的一半，可是就只得一半；現在我們先明白這一半，因為這一半為我們談到慣性時所容易忘記的。另外大家都知道的一半，實在也是一個事情，不過看起來有些兩樣罷了。這一半乃是說：一件東西靜止時，就一直靜止着，不作什麼事，直等到別的東西來動着牠。我們想到牛頓動律中第一條慣性律時，我們應該記得這個律的兩方面，或者說，這個律的兩種作用。

球擲向空中時為什麼要落下來 這個慣性律，應用在不動的東西上，大家都知道，可是應用在動的東西上，知道的人就少了。他們不知道一件動的東西，沒有別的東西去阻止牠，是不會停止的。我們看一個球擲到天空中，或者橫掠地面而過，我們總知道牠的動要停止。這差不多對於各種動都是如此，所以我們就想要想，一件東西動時，總要疲倦，過了些時，總要停止的。可是事情卻完全不是如此，這真是一個非常的大發現，到底最小

的一觸，加到最大的物質上時，只要能使那物質動一下的，這個動就將在同一的方面和速率上永遠動着，永不會感着疲倦。一個球擲向空中時，是地球的吸力使牠停止的，也是空氣的阻力幫助牠停止的。

一個滾在地上的球停止時，不是牠有急要停止，乃是空氣的阻擋和地面的磨擦，使牠停止的。一件東西的真意，乃是靜則永遠靜着，動則永遠動着。我們如果將這事前後想想，要是物體不是這樣的，那末能力保存律，也就要靠不住了。

解釋物質靜止的牛頓律 如果物體不必別種東西去動牠，而牠自己就會動着的，那末力或動，就是無中生有了。如果動體不受阻止而就會停止的，那末我們很容易見出，動就無端化為烏有了。這就是我們所以要說牛頓律是能力保存律的一個好解釋的原故。牛頓還發明另外兩種動律，統共三種，都叫作牛頓律。第二條動律是很簡單的。這律說：使東西動着時，牠的動一定和牠所受的力，成爲嚴格的比例。而且，這東西一定在外力所從來的一直線上動着。不論多少力，在多少方向上，加於一個物體，這句話說是對的；不論那物體是靜着或已動着，這句話也說是對的。

如果我們能知道一種什麼力，將從什麼方面，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質，將於什麼方向，和什麼速率上動着。我們也發明了一個非常的真理，就是靜止乃力量平衡的狀態；一面的力拉着，一面的力推着。兩方面的力剛剛敵得住，所以結果就是靜止。地心吸力是在那裏將檯上的書拉得去，但是檯子的力就出來抗拒地心吸力了，爲了檯子的力卻正是居於地心吸力反對方向的，所以書就靜止了。

大砲幫助我們明白動的定律。牛頓的第三個動律，就是動和反動是平均的，相對的。這個大定律，我們仔細看起來，就可以知道牠是能力保存律的另一種說法，當一個大砲放出時，牠所有的反動力，就可以當這定律的最好說明。砲向後退的反動力有多少，一定等於子彈向前出去的力量。

此後我們將簡單的提出另外三種動律，那就是刻卜勒 Kepler 律。我們決不可將他們和牛頓律混亂着，不過他們在幾點上很重要，因為牛頓的大發明，吸力律是以他們為根據的。

這許多定律都是非常重要的，我們雖然不能明白他們的全部，但一定總應該知曉一些的，因為這個宇宙，我們所居的地球也在內，所以能存立的，都倚賴着他們。

東西會動的道理

牛頓的三條定律，叫「動律」。刻卜勒的三條定律，叫「行星動律」；他們不是講一切的動的，是講行星的運行的。刻卜勒經過許多年的辛苦，才能明白所已發見的行星，都照着定律行的，例如他們的速率和他們離日的遠近為比例等事。這些定律的計算法和說明，都很複雜的，現在和我們沒甚關係，還是不提。至於這三種定律之間，也沒有什麼連帶的地方；他們不過是關於行星運動的三種事實，被刻卜勒尋了出來，就此一個一個製成了定律。可是有更完美心性的牛頓，卻能將這些事實加以思考，而在他們的背後，尋出他們共同倚賴的吸力律來。

吸力律可以說和世上大部分的運動，都是有關係的。斯賓塞 Herbert Spencer 所說的：這是宇宙因之

而得平衡的定律。如果形成宇宙的諸天體，因了吸力律而得平衡，而得穩定，也就可以見出牠的奇妙偉大了。何況他們又都是一面動着，一面被牠管束着。這個大定律，能解釋我們所看見的種種動作，不論是天體的運行，蘋果的落地，月繞地球，行星繞太陽等事，都在牠的包羅之中。不過有一個大哲學家說，到底我們不能決定在諸恆星間有無吸力。然而我們現在已證明，在他們中間確乎有吸力的。我們看不見的恆星，能使他們的吸力影響於我們看得見的恆星，因此我們就能知道我們看不見的恆星有多大，有多遠。

這樣，宇宙間各物互相吸引着，都根據一種共同的力量，有一定的方法，不因距離之遠近而發生問題，那就不必說了。只要這一個定律，便能將宇宙凝為一體。

天地間的事事物物，

不論遠近，

暗暗裏，

都有不朽的力量連結着，

少年百科全書 第七類 地球下冊 東西會動的道理



吸力律的
先導刻卜
勒律的圖
表一個行
星在軌上
走着時，於
同一的時
間裏走同
一的面積
所以從A
到B的時
間和面積
正等於C
到D的時
間和面積

你將一朵花動一下，

就不能不把天邊的大星驚動着。

這是一個詩人說的話，很是美妙正確。這詩人叫湯卜遜 Francis Thompson，還有更好的這幾句話：

我確想我的脚步，

當我在豐草繁花間走過的，

一定會使天上的諸星閃爍着。

現在，自然而然的要引起一個疑問了，就是這個大定律，究竟能被別的東西改變或打消否？照我們所已知道的，距離並不會破壞牠。不過要是我們回過來，在地球上的實驗室裏，研究吸力的運動，我們究竟能使牠受到別的影響否？從前有許多專心研究的人，在這個問題上，曾費了他們畢生的精力，對此確有了一個好的發現。

例如，我們將一些東西，放在兩個物體之間，我們究竟使他們的吸力受影響否？倘然吸力和光一般，也能隔斷的，那末吸力和阻礙物到底有無關係？仔細研究的結果，得到了正確的答語，就是兩個物體間的吸力是仍舊一貫的，他們的重是和動作，或者要動的趨勢，絕對不受他們中間任何物質的隔離，因此而發生變動。

吸力的偉大是沒有東西可以阻止的。不論穿過空氣，或穿過水或穿過真空的以太，或穿過層層的岩石，或穿過任何東西，吸力的分量，永不會加一些，或減一些。倘然距離和阻礙，都不能擾亂吸力，那末對於吸力又是如何呢？譬如我們取一件牠和地球互相吸着，有一個一定重量的東西，我們先將牠放在液體空氣中，使牠冷於

冰五十倍，然後再使牠變成白熱，我們卻覺得牠的吸力，還是沒有分毫影響的。

至少我們還可以用這個方法試驗。我們譬如將這本書提起來離桌面五六吋的光景，然後使牠和地心的距離，漸漸的加增。書漸漸變輕了，因為吸力按着距離的加長，有漸漸變弱的定律的，雖然距離不會使吸力停止工作。書在五六吋高時的重量和提得很高時的重量，當然是相差很微的。

但是在最新式的吸力實驗中，我們卻可以說，如果吸力穿過大熱時，有和書高低時一樣的差別的，我們就該取消吸力不變動的話。許多人卻說熱度變得那樣厲害，吸力還沒有受到和書一樣的影響，到底吸力是不會變動的。

原子不論在散開時或結合時重量總是一致的。我們不能用距離來取消吸力；我們不能用遮礙物來阻止吸力；我們不能用熱度來影響吸力；那末譬如我們取兩個原子，養和輕，將他們合成水時，他們的重量，比了原來時將如何？換句話說，就是化學的結合或分解，會影響於吸力否？不論那兩種原子分開時，或深切的結合時，是否重量始終不變的？對於這個問題的回答，就是化學的結合和分解，並不比了別的東西，更會使吸力發生任何影響。



東西更近地心的要重些，固然我們能在英國架一磅大天秤使牠一磅落在北極一端，落在赤道，一定要沈下些，因為那裏到地心要更上二十六哩。

此外還有許多別的方法，來試驗吸力的影響，可是結果都失敗了。我們知道，沒有東西可以使吸力改變牠的道路到一根頭髮粗的。約瑟湯卜遜 Sir Joseph Thompson 說的，差不多沒有法子可以握牢吸力的。如果我們的手能够握牢牠的，我們就能够做些什麼事情，可是到底到現在還沒有什麼方法，可以使我們如願以償。然而大多數人都還不懂這個道理呢。

一個想推翻這吸力律的名人，十九世紀中，有一個名人說，他能够推翻吸力律，那就是他將一個蘋果握在手中，不讓牠落下去。可是這不過是他將力來對抗力，吸力律不消滅，他只好用力握着這蘋果。這個道理也可以應用到飛機上去。吸力是不息的活動着的，駕飛機的人，像鳥一樣，就不能不用別種舉動，來發出對抗的力，使飛機浮着。鳥的對抗力，是從牠的筋骨中糖質的燃燒得來的；飛機的對抗力，則從牠的機器中煤油的燃燒得來的。

如果我們能管理吸力就有奇事發生。不過我們不妨設想一下，要是我們在幾個方法中，能取消吸力，或者能握牢吸力，或者能用物隔斷吸力的，那末各種事情就會絕對的不同了。飛行的事，當然不會再有問題。不論鳥或飛機，只要用一些燃料發出力來抵抗空氣的摩擦阻以外，簡直不必再用什麼多量的燃料。當然也不會有什麼東西叫鳥或飛機落下來。手裏放出來的蘋果，要不是我們敵牠一下，牠一定也不再會跌到地上。只要我們能管理吸力，這樣非常的事真是不勝枚舉。這一個時代，或者竟是會實現的。

然而在現在，我們不單不能管理牠，甚至還不能明白牠。我們能測量到牠的極細微處，但是牠究竟是怎樣

活動的，我們就一無所知了。對於這事，至少有二十四種的理論，約瑟湯卜遜說的，其中總有一個是對的。可是爲了我們不能使吸力受一些影響，因此我們也就不能將任何理論加以實驗。不過現在在研究電學問題中，卻已有一些有希望的預兆出來了，或者不久我們就能比了從前格外明白些。

一個孩子在一個禮拜堂裏看一盞燈擺着因此幫助世人不少。然而我們現在離開吸力的發現，已是二十六十多年了，我們還只能證明牛頓律的真實，和吸力的獨往獨來，不受干涉，此外對於牛頓所不知道的吸力來源，我們也還是一個不識不知。

我們先講到牛頓的動律，然後再講到吸力律的先導刻卜勒的行星動律，這是對的；但我們卻不可就此忘了這些問題的真正開始者。這就是「光如日星」的蓋利略 Galileo，我們大家說他是一個天文家的。他的確是諸大天文家中之一。不過他那裏的心思，不單發明了望遠鏡，而成就天文界中的大工作，卻更發明了許多實驗的器械，動的科學是由蓋利略開始的，這句話，他完全可以擔當得起。

在比薩 ⁷¹地方的教堂裏，掛着一個銅的燈盞，蓋利略的時代就掛起，現在還在那裏，倘然我們看牠一會，就可見牠是在擺着。那時蓋利略只有十九歲，他就將一個手指，放在另一手腕的脈息間，藉着這天然的鐘表，才知道不論那燈擺得大或小，每一擺的時間總是一樣的。這是動的科學中一個最重要的發明，過了五十年，蓋利略就將這事情實際應用起來，藉着一個活動不絕的鐘錘，製成了一個鐘。

鐘錘會擺的定律 鐘錘搖擺的事情，是值得我們注意一下的。第一，已經先有蓋利略的大發明，說不論那

一個特製的鐘錘，總是按着一定的速率擺着的。第二，我們就應該自問，究竟動是從那裏來的？鐘錘靜止時，牠的頭總是最接近地心的。吸力因此就滿足，不作什麼事情。可是我們只要推牠一下，或者拉起一些而放下，牠能動個不歇了。

爲什麼呢？如果我們結一些東西在一條線頭上，將那沒有東西的一頭執在手裏，我們自己就能研究這個問題。我們立刻可以明白，鐘錘擺到一端時，地心吸力要牠落下來。牠依着墜體律——不久我們就要研究着——而落下，愈行愈急，落到最低的地位時，那自然不會停止了。牠不停止，就爲了牠落下時，也經會着動力了，這動力足夠使牠反抗地心吸力，而向另一端擺起來。不過這樣的擺，是要漸漸的慢起來的，因爲牠要作反抗地心吸力的工作，所以要喪失能力。到了最後，牠就停止了，牠就恢復了牠靜止時的狀態。

鐘錘的力，是鐘錘被推着或被拉着時才發生的。鐘錘靜止時，力就沒有，沒有來源，就不會發生。很輕微的一觸，就可以使牠動着，我們或者問問自己，那一觸所給與牠的力，到底後來那裏去了呢？這不會失落的，鐘錘停止時，不論牠擺得如何微小，我們總要計算那發動的力量的。這力量所去的地方，正和一個球裏的力量所去的地方一樣。牠是向掛鐘錘地方的磨擦中去的，也是向空氣的抵抗中去的。因此，倘然我們能造出一個鐘錘掛時不受磨擦，擺時不受空氣的抵抗，牠就會永遠擺着了。因爲放進去的力，沒有機會洩出，牠只好一直動着。

人身是奇妙的機器，然而我們卻不可以想這就是永久的動。因爲鐘錘一做着轉動什麼輪子，或抵抗空氣的時候，牠的力就要洩去，以至停止的。

永久的動這一句話，時常有一個特別意味的，不是一兩句話可以說得明白的。一個健康的小孩，是一個永久的動的好榜樣，而且真的，不論老或幼，不論醒或睡，我們身體中總有幾部分是時常動着的。永久的動到底不是不可能的，我們愈學習，愈知道各物都在動着，或者甚至我們所說的物質，也不過是某種東西動的方式。到底世上除了動以外，有無別物，那是一個問題，可是我們總又已聽見過，永久的動到底是不可能的。現在我們就該明白永久的動這一句話究竟是什麼意思了。不可能的，乃是要無中生有，這就是那些所謂永久會動的機器所要達到的目的。幾百年來，已有好些人，想造一個機器，牠外面不用東西繞着，裏面不用東西燒着，就會使牠永久的工作下去。

人永遠造不成的機器 大約一百多年以前，巴黎科學院，才決定放棄製造永久活動機器的願望。起首看來，好像這個放棄是錯了，因為科學總應該向新的路上走的。可是到底放棄得不錯，因為現在我們知道決定，不會有人能造出一個永久活動的機器的。誰要能造成，誰就是一個創造之主宰了。

如果是要用力的，那末力必須要有來源；如果工作會做成的，那末必須要有個人，或有個東西來做牠。甚至鏡的原子也是這樣的，牠也不過是另外一種東西。進而言之，我們的身體和一切生物的身體，也都無不如此。他們比了人造的機器要奇妙得不知幾千萬倍。他們中有幾部分，或者竟能繼續活動到百年左右；這些機器都能不必中止而自己修理好的；可是他們到底不是人們平常所說的永久活動的機器。

心臟每跳一下，或者伸一下手臂，睜一下眼皮，就有一定多少的工作做成了，一定多少的物質，從一定的距離

和一定速率移動了，倘然我們能知道這些數目的，那末合算攆來，一定會恰等於身體中因工作而燒去的炭質，這炭質大概是在糖質中的。

我們用力必須先得力 如果我們是永久活動的機器，我們就能不飲食而生活。可是事實上我們和一切生物，卻不能不飲食，可知我們並不是永久活動的機器，好像世上所有的一切機器，要用力時，必須先要給以力量。

世人本來想一切生物和能力保存律無關的。現在我們知道這到底是錯了，到底一切生物，不論牠是怎樣的奇妙，不論牠是怎樣的超於別種無生氣的東西，總還是全宇宙的一分子，也必須遵從這個大定律的。每一時代，總有些人，要想用一個生物，或一種機器，來從無中生出一些有來，他們的結果，只是失敗，而且將來也只有失敗。現在我們可以再回到蓋利略另外的一個發明了，這事我們已在奇象上冊中第四十二頁上讀過，現在我們要看看牠的意義，和我們所講過的工作，有些什麼相關之處。蓋利略在比薩 Pisa 斜塔上丟下了許多重量不等的球，他們都能在同一的時間內着地。大約二千年以前，希臘大思想家亞里斯多德 Aristotle 曾說過的，十磅重的球已到地上，五磅重的球只會落到一半，這話差不多就被人相信了二千年左右。那時大家只會懸空的幻想，沒有人像蓋利略一樣，肯親自地來向自然之神尋求真理的。

不過我們必須明白這個。不是一個大球和地球發生活動關係的時候，一定會比小球有更大的力量？是不是我們寧可被一粒小石子打着，而不可被一塊大隕石打着？是不是有大力活動着的，就有大速率？這些問題的回答都是個「是」字，那裏活動的力量要多些，不過那裏要做的工作也多些，因為那裏要移動的物質也是

隨着加多了。石頭愈大，牠的力固然也愈大；不過要移動牠的工作也一定就隨之增加，因此不論有多少東西，在地心吸力範圍內落下來，速率一定是相同的，不問其爲什麼東西，速率總按着同樣的度數，每動中漸漸增加起來。

現在我們或者要說這話是靠不住了，因爲大家知道一根羽毛決定要比一個石頭落得慢些。不過要是我們能想像空氣是可以排除淨盡的，那末羽毛也就和石頭一樣的落下來了。這是可以證明的。我們可以取一根長的玻璃管，將其中的空氣排去了，然後把一粒槍彈和一根羽毛，同時由他們從頂上落下去。我們就可以看見他們會同時到管底。這是一個大發明，可是蓋利略還有一個發明呢。亞里斯多德曾經說過兩樣東西，重和輕；重能使東西落下，輕能使東西上升。重的東西像槍彈，總要落下，輕的東西像熱空氣，總要上升。蓋利略卻說這是不對的。宇宙間的東西，所以有重量，只因爲吸力在各方面向各種東西活動着。骨子裏到底是沒有什麼重或輕的。空氣上升，氣球上升，軟木浮起，並不是爲了這些東西自身沒有重量，只爲了他們的重量，比了他們四週的東西所有的重量要輕些，因此他們四週的東西落到他們的下面，而將他們舉起了。

不過最奇妙的，是蓋利略不得一人的幫助，他一個人就能見到十九世紀中牛頓等所證明的真理。他能見到有動的地方就有力。這種動中有力的說法，對於蓋利略是新的，也就是全部動的科學的基礎。動的科學的正當名稱是「力學」Dynamics。

永遠不生不滅的能力 在蓋利略以前，竟是沒有人知道原因必有結果，結果必有原因的一會事，也不知道大原因有大結果，大結果有大原因。到底事情是這樣的，那裏有多少動，就一定有多少相當的原因在工作着。

那就是說，那裏有動，那裏就有能力。這能力永是不生不滅，而只能改變形式的。這些重要的意見的確是在蓋利略的心田中開始生長的，牠粗粗的就做成了牛頓的動律。然而蓋利略和牛頓雖然在他們心裏已有了能力保存律的意見，卻一個也不用什麼話來說明這事，一直要等十九世紀中幾個德國的天才來作成牠。

能力各處地方都有的，形式種種不一，其中有兩種形式，我們是必須要明白的。要解釋他們，話固然要費些的，但是還不算難懂。一件東西移動時，我們就說牠裏面有動的能力存着。這事也有個正當名稱，叫「主動力」Kinetic energy。

在鐘錘搖擺中所見出的兩種能力 要明白這事是不難的。鐘錘落下時，愈落愈急，是正在集合着主動力。另外一種力，是東西動時不顯出來的，只是隱藏在那裏。這叫「潛伏力」Potential energy。世界各處，我們時常可以看見潛伏力變成主動力，和主動力變成潛伏力。鐘錘真是這事最好的解釋。我們提起牠時，牠的動作向上，表示着牠的主動力；牠停止了不再向上時，動並沒有失掉，不過藏留在鐘錘裏，成了潛伏力。牠固然沒有動，可是牠裏面有可動的力存着。

那末我們將這鐘錘落下，潛伏力就變成主動力了，看牠動着就可證明。這個主動力能使鐘錘過了最低的一點時，再向上升。現在，鐘錘向上升起時，牠更是慢慢的動着；牠的動力，雖沒有消失，正在變着，當鐘錘達到對方最高點時，所有的主動力就都變成了潛伏力；這樣前後變動，乃使鐘錘擺個不休。

人正在想法從日光採取能力 可是我們還能在這事上更學得許多能力的變化。我們將鐘擺推背或拉

看時，究竟那主動力是從那裏來的？我們已經知道，我們的人身是不會創造能力的；我們的筋骨所以會有動力，只因有那從食物的糖質裏取來的潛伏力。這種存在糖質和別種化學混合物中的潛伏力，都叫「化學的能力」；這種化學的能力是潛伏力的一種，牠能變成動力，正像鐘錘在最高點時一般。

可是糖質中的潛伏力又是那裏來的呢？是含糖質的植物自己創造出來的麼？我們知道這是不可能的。植物的潛伏力，卻是日光射到牠身上時的動力所造成的。我們現在正在研究，恐怕日光的動力，是從日體中許多原子所製造出來的。

物體度量法

我們所謂運動的意義，就是將許多物體互相比較所得的快慢。此種運動，我們叫作「關係運動」。所以他們的真實方向，他們的可靠速度，我們是不知道的。但是我們可將這一個「關係運動」和另一個「關係運動」相比較，我們就可以知道他們了。

科學不過是一種測量，雖然牠所測度的東西，與真實大相懸絕，但是我



物體有三種平衡，看圖中三個陀螺便明白。左邊的一種是安定平衡，倘牠一下，牠動後仍能恢復原狀的。中間的一種是不安定平衡，微一碰，就要倒下。右邊的一種是中性的平衡，牠是全動的，可是過了一會，牠就恢復原狀了。

們科學所做的事業，全看這種測量的準確不準確。

現在我們要想法去測量運動。我們開始時，先要明白兩種重要的測量法。這也不是甚難的事情。譬如我們說，有人十秒鐘以內，能跑一百碼，或者說我們在一點鐘以內，可以走三哩。這種測量，不過按計時間的長短和距離的遠近罷了。推而言之，無論動的東西爲動物，爲行星，或原子中之電子，都是以時間和距離爲測度的根本的。除此之外，有時物體的質量 $Mass$ ，也是很重要的。在鐘表未發明以前，許多聰明的人，所用以爲測量的器具，與現在的器具比較，實在相差不遠。自從我們知道擺錘的定律後，我們就佈置起來，使牠每一轉運，就可旋轉一個齒輪若干距離。

我們還有一種人身上天然的鐘表，就是我們手腕上的動脈。若是在康強的時候，這脈絡震動的數次，往往和擺錘是相差不遠的。但是許多人想，以爲這種時間計算法，太覺勉強，不如將天然的晝夜，以爲根據，似乎方便些。天然的晝夜，雖非一定不變的，但地球的旋轉是一定的。牠旋轉的速度，雖然爲了潮水作牠的制動機，年代久了，要漸漸的緩下來；但是相差之數甚少，實際上沒有甚麼關係。所以我們可以將一天分爲二十四段，每一段叫作一點鐘，再將每點鐘分成分和秒。所說的秒，就是地球旋轉一週時的八六四〇〇小段之一。

世人共認的東西，以秒數爲測量時間的單位，凡是世界上的文明國家，無不共認的，這真是一個極微幸的事。假使那一國裏有人以爲此種單位，爲時太長或太短，欲想變遷一下，那末一國的人一定要怒目相加，以爲他不識時務，而有意搗亂。

這又是一個極可憐之事，因為我們祇共認測量時間的單位，而無測量重量 *Weight* 和距離 *Space* 的公共單位。如其我們也一例有了這些單位，許多的困難，一定可以從此剷除。譬如要測量一個木箱時，祇須量其長寬高就好了。測量一張薄紙，則須量其長寬就好了，不是紙沒有厚度，因為數甚少，本來可以省略的，正像量一條線時，祇有長度，而沒有高寬。

國王的手臂變成了測量的器具。無論所量者為何物，從一個方向或二個三個（如長寬厚）去測度，所測量出來的長度，必定要有一種單位，和時間單位的秒一樣。在英國的長量單位是用碼 *Yard* 的，再將一碼分為三呎，每呎分為十二吋。碼的來源，有人說乃是一個英王的手臂。其所以用這個距離，而不用任何天然的距離，如時間單位用地球每一旋轉若干分之一的，實在沒有什麼理由。至於三呎為一碼，一七六〇碼為一哩，這樣的名稱，更是莫名其妙。實在說起來，英國的距離測量，重量測量，各種單位，實在煩雜複雜，將來一定會有他種單位來代替他們的。

因為我們有十個指頭，所以數起東西來以十進；因此為便利起見，所有的測量器具，應該也都以十進；這樣就可以省去許多麻煩了。

世界所共用的度量。現在世界各個文明國裏，凡是學科學的，已經不用英國的測量制度，而用一種特別共認的了，就是平常的測量，也用着這種科學的方法去測量。英美兩國的商人，往往用和別國不同的度量，去計算他們的貨物，一些不願別國是用些什麼，真是不便利之極。如果別國人不能和他們一樣計算，卻還要說別國人

愚笨。

現在採用的一種新的測量制度，叫作「米突制度」Metric system。這制度是從法國來的。因為他們要有一種天然的測量根據，他們就從赤道量到南北極，分爲若干分，取其中一分叫作「米突」。雖然這種測量，未必縝密，但於實際上，沒甚關係。

「米突」的分法，都以十進。一個米突較之三十九又三十分之一的英吋略長些，所以較一碼長三英吋多些。此外，米突的分數，或米突的倍數，都有專門名詞，爲世界所共認的，例如十分之一的米突，叫作「特息米突」Decimeter，百分之一的米突，叫作「生的米突」Centimeter，千分之一的米突，叫作「密立米突」Millimeter。

使各種計算變容易的米突制度，米突制度最簡單的地方，就是我們別種測量法，亦可以根據牠。譬如我們量容量的器具「品脫」Pints，和「瓜脫」Quarts，對於碼的計算法，是沒有關係的。在米突制度中則不然，如物體之大小，都用米突去測量，固然不必說了，就是重量或容積，也用一種物體來作標準，而這物體的大小，卻根據於米突的。所以重量，容積，體積三者，知其一就知其二，計算的方法，從此節省了許多，假使美國人不採用米突制，而用各種不相關系的制度法計算，那末用米突制度一日所能做了的事情，就非一禮拜的時而不能成功了。

所以許多知覺靈敏的人，以爲非採用米突制不可。凡讀此書的少年人，將來總可以目覩全世界都用米突制的。

我們已有秒以爲測量時間的單位，已有米突以爲測量距離的單位，但是測量一種運動物體時，除了時間和

距離，卻另外還有一種東西，作為測量運動的單位。

美國現在用的混亂制度。英美兩國，常用克冷 Grains，盎司 Ounces，和磅 Pounds，以為衡量制度。他們對於碼或吋，或品脫，是毫無關係的。有人以若干克冷或盎司，作為一磅，而他人卻又會用別的數目來合成一磅。如此混亂不清，使人毫無頭緒。所以科學家，再不高興用這些方法來計算。我們要質量有一個有根據而又簡單的單位，於是我們就在簡單而又和別種東西有關係的東西中選擇。我們成功了，水就為我們所探選以為單位的東西，因為水為人生最重要的東西，而又各處大概相似的。況且水還有一種特別的性質，當水的溫度在百度表零度以上四度時，其密度 Density 為最大。所以我們選擇一立方生的米突的純水，在四度時的重量為質量的單位。此種單位叫作「格蘭姆」Gramme，大約等於十五克冷 Grains。於是就仿照米突制，均分一格蘭姆為十分，百分，千分等小數。

寒暑表的百度表，也是由此造成的，表上的零度，就是水的冰點，一百度則為水的沸點。此表在科學上，或為平常的用途，有最高的價值。但在美國，現在仍用華氏 Fahrenheit 的寒暑表。這種表上，以三十二度為冰點，二百十二度為沸點。這表在科學上是不常用的，所以我們可以暫且置下不講。

一磅東西稱不到一磅重的地方，我們有時候用重量 Weight 一字，有時候用質量 Mass 一字。但就普通一般的習慣說起來，重量 Weight 一字似乎比較合宜些。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，他們是完全不同的。因為重量由地球吸力而產生，而質量乃是物體中物質的實在數量。

若是吸力一旦斷絕了，重量亦因之而消滅，但質量是永遠不變的，所以一磅鉛的意思，就是表明這東西裏，含有若干鉛質。若是我們將這一磅鉛拋入一溝中，則其重量，必多於一磅。若用手舉起，則其重量，又輕於一磅了。因為重量是以吸力為轉移，而吸力又因距離而變遷的。所以牠在月中稱起來，一定要更輕，在木星 Jupiter 中，就稍重些，在日中必定增加數倍了。這些稱出來的重量，雖然如此不同，但牠的質量是永遠一樣的。

時間的單位，距離的單位，及物質重量的單位，都為世界所共認了。若是我們將他們集合講起來，必會發生許多有趣味的事情。譬如我們說，某人在若干時內，走了多少的路，將這兩樣東西混合看起來，則某人走路的快慢，自然是不言可喻了。在科學上，往往將方向同快慢二種意思，包含在一個字內，這字叫作 Velocity，就是速度的意思。

所以「速度」比較「快慢」這個名稱，意義要寬廣些。譬如說，一人進行的速度與他人同。此地所說的速度相同，不是專指快慢相同，即方向相同的。但是現在我們祇討論快慢一字，可以不必提及速度。在自然界中，物體的快慢，有時漸漸增加，有時漸漸減少；例如物質向下墜落時則增加，向上拋擲時則減少。

從極高的地方墜下何以很危險。凡物體因地球吸引而下墜的，其每秒間增加的速度為三十二呎。所以從最高處墜落是很危險的，就是這一個原故。假使地球吸引物體的速度，是有一定者，那末我們從高塔上跳下和從椅子上跳下，實在沒有甚麼區別。只因為每秒的速度，到底是漸漸增加的地方愈高，速度愈大，所以我們墜落到地上的力量亦愈大了。

我們曾說過，物體因吸力而得的快慢，是無物能間斷牠的。但是世界上的力，卻不單只有吸力。空中雨點，由天空而至地面，在第一秒鐘時，祇墜落十六呎。因為在最初的起點，牠的快慢等於零。只在第一秒鐘之末，牠纔能有每秒鐘三十二呎的快慢。所以在第一秒鐘所經過的距離，是三十二呎的二分之一；在第二秒鐘所經過的距離是四十八呎，其餘依此類推。若是我們知道牠所墜落的總距離，那末牠觸地時的快慢，也就可以依法推算出來。就是牠最後觸地時的能力 *Power*，亦可照着牠的質量計算清楚。但是牠落下時，穿過了濃厚的空氣，牠的快慢，爲了空氣的阻力已經減少不少，所以我們並不覺得牠十分重。

空氣使雨點不致傷害我們 若無空氣的阻力作用，那末墜落的雨點和冰雹，用着他們極偉大的能力，對於我們損失，不知要有一種甚麼的境地呢。現在有些學者，已經發現，雨落下時的快慢，有一定限度的，不能超過這限度而更大的。因為雨點墜落愈快時，則空氣的阻力也愈大。以前所謂吸力永遠不爲他物所阻礙的話，到現在卻要生出一個疑難了。船之於水，他們彼此互相的關係也是這樣的，因為船行得愈速，水的阻力也就愈大。到底我們已知道，吸力不是天地間獨一無二的力，不過天地間的物體，無一不在牠勢力範圍之下罷了。物體靜止時，其中必另有一種力，足以抵抗地球的吸引力。我們想到這裏，所說的靜止，就可以得到一個新意義了。

天地間的物體，到底因爲吸力的作用，只繼續的運動着，並沒有靜止這一件東西的。桌子靜止於地板上，表面上看起來，似乎不錯，但就實際上討論起來，牠卻和地板、和地球，一同運動着。所以現在我們說桌子和地板是

靜止的，乃是對地球比較而言，不是絕對的。從此以後，我們可以知道靜止沒有真實的，只有比較的，我們也就要問，靜止究竟是什麼意思，倚賴着什麼的？

物體靜止時所需要的力，我們總想，物體靜止時，就沒有工作，因為靜止二字，本來是運動的反面。但物體的運動和靜止，都不過是力的動作，到底是一個根源。牛頓第一條動律，我們也可說牠為第一條靜律。牠是兩方面都用得着的。一個物質，不論靜止或運動，同在力的勢力範圍之下，如果兩力相等，而方向相反，物體就有一種靜止的態度。若是兩力不完全平衡，那末物體就要動作。所以我們說靜止與運動，同在力的範圍之下，不過是力的問題。

以上所述的「平衡」Equilibrium，我們既了解清楚，所以我們凡是說物體平衡的，就是表明一種物體，因兩種作用的力，大小相同，而方向相反，就成了一種靜止的態度。這是一個很難研究的問題，但牠的原理實在是容易了解的。我們平日所見的靜止物體，所處的態度，不是一樣的；換言之，就是他們平衡的狀態，各各不同。這種問題，不單是研究力學的人，覺得十分重要，就是開行船隻，駕駛飛機的人，也有實際的關係的。

使物體靜止的許多的法子，我們說物體在安定狀態中，就是牠不因外界的力，而變其位置的意思；或一時為外力所移動，等到此力一鬆之後，牠仍舊會歸其原位置的。這種平衡，叫作「安定平衡」，如不倒翁之置於糖上，是一個好證明。此外若是我們懸一些重物在一條繩的一端，不論你怎樣變遷牠垂直的位置，牠必定於若干時間內，仍舊歸原，和不倒翁，有同一的結果。這些也叫作「安定平衡」。

可是一個蛋卻不然。我們如要叫蛋豎立一秒鐘，也是不能夠的。牠一遇着極小的擾亂，立刻就要倒下來。這種可以叫做「不安定平衡」。

除此之外，還有第三種平衡，叫作「中性平衡」。牠命名的意思，就是表明牠既非「安定平衡」也非「不安定平衡」。有一種檯球 Billiard Ball，實在是一個最明白的例子。牠靜止的時候，就完全屬於安定的態度，因為加於牠身上的力是平衡的。可是輕輕的一推，牠又會移動一些，然後再是靜止。爲了牠不要復其原位，所以牠沒有安定平衡；爲了牠不是一動便不歇的，所以牠也沒有不安定平衡，沒有別的，牠到底只有中性平衡。

軒輊戲所教訓我們的重要的運動律——靜止的學說，現在是愈講愈複雜了。譬如軒輊戲，在板的一端坐一個小孩，而在彼端坐一大孩，使大孩所坐的地方，不在板的盡頭，而在盡頭和支點之間，於是這一重一輕的兩個孩子，就互相平衡着了。因爲兩端力的比較，乃是坐處至軒輊板支點的距離相乘之積。所以這兩端的小孩，因吸引力作用，所發生的向下壓力，正和支點所發生的反抗力相平衡。這是極重要的一點，我們現在應該知道的。

我們平常所用的各種橫杆——軒輊戲板各邊小孩的重量，和他們各離支點的距離相乘之積是相等的。由此推之，我們可以懂得各種橫杆的原理了。在軒輊戲上，我們看見在一端輕離支點稍遠，便是稍輕的小孩，也足以舉起牠端離支點較近的較重的小孩。這種情形，實在和槓杆相差不遠。人用着鐵桿 Crowbar 去工作的时候，在一端用極小的力，在彼端就可以作成極大的生活。這種事實，我們也可以用軒輊戲的原理去解析牠。我們只要想入所用力之點，是離支點很遠的一個長臂，而對方乃是一個短臂，就可以明白。其他如鉗子，破核桃

的槓子，行船的槓，原理都是一樣的。

我們知道，凡一種靜止成運動的物體，常常有一二種以上的力，想去變更牠的位置或態度。但是此種力未必完全平衡的。若是他們平衡了，運動的物體，即刻就會靜止。反而言之，不平衡時，物體必定要運動。但是運動的狀態如何？快慢如何？方向如何？我們不可不研究的。凡物體為各種不同的力所作用的時候，我們能否斷定牠的方向？要解決這個問題，雖然是一件難事，但去研究了此種運動定律，牠的困難也就容易明白的。每一種力，總有牠自身的價值，就是牠的大小和方向，雖然牠在許多複雜的地位上，這個價值是不會變的。如果我們能知道無數力的大小和方向，那末物體要向那裏運動，牠的快慢如何，就可由此推算出來。換言之，牠所運動的速度，亦就可得而知了。

行星的運行可以便我們知道宇宙間的大定律。以上所述的事，我們覺得很有趣。若是我們將一種運動的實事，有一定方向，和一定快慢的，例如行星，來作個證據，那末這種事體就更為重要了。我們知道加到行星的力是很多的，結果就成了牠現在運行的樣子。動律第二條說的，凡物體運動，往往要循一直線而行。若是我們繫一個石子在一條線上，使牠在我們頭上旋轉，這石子並不循一直線而行，卻成了一個圓圈。要是此線被截斷了，或者脫手了，石即就成一直線的飛出去。行星繞日旋轉，也是這個道理。論牠的本性，原是要循一直線進行的，但有種種吸力或別種力逼着牠，牠只好繞着太陽成一個圓圈，和石子繫在手提的線上一樣。

行星為甚麼不能離日而自由飛行空中。凡以前所引的兩種事實，如石子，如行星，所以不能自由飛行，而必

須循一直線運動的原故，乃是因爲中間有一種向內扯的力，防止他們有這種行動。平常一般人說，總用着幾個名詞，來稱呼這種阻止石子飛去的力，和扯直這線的力，那就是「向心力」和「離心力」兩個名字。不過這些名字是動律完全不知道的時候發生的，實在沒甚用處。

我們應該知道的，就是一個物體，處於兩種力的範圍之內，應有些什麼結果？那兩種力，一種就是物體自己運動的趨勢，一種就是物體向心運動的趨勢。而他們所得的結果，就是有了這兩種作用，所以物體就循圓形進行着了。

如果我們將這種使石離圓圈而飛行的力，叫作「離心力」實在沒有意思。因爲這個石子并不想從圓心上飛出去，牠不過要循着直線運動罷了。

物體的大小和重量

我們已經知道測量物體的法子，是怎麼樣的，測量溫度、物質、時間的三個單位，在前一課上，已說得很詳明了。至於質量 Mass 和重量 Weight 的區別，想我們也仍舊記得很清楚明白。除此之外，我們可以學習一些力的平衡等事。現在我們先要講一些重量，然後再講到有趣的比重。

在第一〇八頁上，我們曾講到地球的吸力，會使一個球從空中墜落，我們可以測量牠的快慢。但是用此種測量法，要想得到一種精密的結果，實在是很難的。若是我們用鐘擺擺動的率度去計算牠，或者可以得到一種

準確的結果，因為牠的擺動，是全靠着地球吸引力的作用。不過鐘擺擺動的率度，世界各處是不同的。

這個可以證明世界各處的吸力是不同的。從科學上看起來，我們知道，南極北極的地面，是很平坦的，因為地球成一橢圓形的原故。所以在赤道上的東西，較在兩極上的東西，要離地心遠些。吸力的大小，是與距離成反比例的，所以在兩極的物體，一定要重些。但物體較重的原故，不特是因為吸力的作用，還有別的原因呢。我們都曉得，地球是永遠旋轉的，在二十四小時內，牠必定要旋轉一周。若是將一個物體，在離無論那一極的五六吋地方懸着，而使牠和地球同時旋轉，那末牠於二十四小時之內必在空中畫一個小圓圈。然而這種運動，頗為遲緩，要是這東西在赤道上，那就完全不同了。

在赤道上，地球圓周的長度，大約二萬五千哩。換言之，在二十四小時之內，近兩極上的物體，不過走了數吋的距離，而在赤道上的物體，已經走過二萬五千哩的遠路程了，那就是在一點鐘內，幾乎要走一千餘哩。我們知道，在地球上這樣旋轉的東西，情形是和一個繫在線上的小石子的旋轉一樣的。牠也有向圓圈上切線飛出去的趨勢。這種力就是我們常常聽說的「離心力」。

凡物體在地球旋轉的，都有這種離心力。牠的運動率愈快的，牠的飛出去的趨勢也愈大。換言之，當物體愈近赤道時，牠的離心力也愈大，因為在赤道上物體，運動率是很高的。這種離心力和地球的吸力對抗着。當然是地球的吸力，趨使物體不會飛出去，只使牠循一圓形在地面上運動着的。

地球的吸力在近赤道的地方減少 當我們和赤道相近的時候，地球的吸力是在漸漸的減少着。所以物

體在此地的重量較之在他處要輕些。這是一種實在的情形，因為我們已離地心較遠了。

物體墜落時，因地球吸力的作用，每秒鐘所增加的速度為三十二呎。這種增加的速度，就是我們測量吸力的一種結果。至於實在的數目，和牠那相當的證明，我們也有方法可以得到。我們常常用吸力 Gravity 的第一字母 g，代表世界上各處吸力的大小。英國的 g，是每秒三十二呎二吋四，就是，凡是在不列顛空中墜落的物體，每秒鐘增加的度數，是三十二呎二吋四；換言之，即在英國由吸力所增的「加速度」Acceleration，是每秒三十二呎二吋四。

在兩極的 g，大約是三十二呎三吋，而在英國則三吋減為二吋餘。從此推想，在赤道的 g，必定是三十二呎一吋餘，所以牠的「加速度」可以斷定是每秒三十二呎一吋餘。

比重的意義及其重要 我們現在可以討論「比重」Specific gravity 的問題了。比重這一種東西，也是對於吸力有關係的。Specific 一字乃是脫胎於特別 Special 一字，在科學書上，我們是常常用牠的。如物體的比重或比熱 Specific heat 或一種特別植物，或運動的特性 Specific character，凡是這類的東西，都含有一種特別 Special 的意義的。

所說的比重，就是我們用一種簡單的名字，去表明一種物質，和牠在空中所佔位置的比例。譬如一磅鉛，在空中所佔的位置，較之一磅木所佔的位置要小許多；也就是在同一地位上，鉛的質量要多些。若是我們還記得質量這一個字的，那末鉛的質量很是緊密的。

這個問題實在十分重要。因為許多物質的功效和能力，往往因比重的關係而不同。有些東西是會浮的，有些東西是會沈的。我們將熱水傾入冷水的洗澡盆內時，熱水往往浮在冷水的上面。反之，將冷水傾入熱水盆內時，冷水往往流行於熱水的底下。其他如我們肺中所呼出來的熱氣，會升騰到冷空氣的上面。氣球充滿熱氣或輕氣時，也是這樣。這些事實，不下有幾千種，都無非為着比重的關係。

我們用水為標準重量去測量他種物體的重量。我們現在又講到測量物體的問題來了。但是我們現在所要講的，乃是一種簡單的物質比較測量法，說明金子比水重若干倍，水比酒精又重若干倍，和這些相仿的事情。我們也要說，此物重於彼物，但我們的意思，並不是說一磅的金子，要比一磅的水重些；乃是說，於一定的容量中，金子的質量，要比水的質量多些。金的比重是很大的，水是一種很普通的東西，很重要的東西，所以我們用牠作一個標準。

平常的水，往往含有許多他種物質，尤其是氣體多些，他們的重量，為了這個原因，各各就有些不同。現在我們用來作為比重的標準的，乃是指蒸溜水說的。依物理的普通性說起來，物體受熱的時候，牠的體積要較原有的大些；而當溫度下降的時候，牠的體積亦漸漸的收縮起來。所以一定容量內物質的質量，也



知將一塊鐵，
放在盛水的
玻璃杯中，那
未鐵的體積
要使第二隻
杯中的水從
1 升到 2。若
是把這升起
來的水和鐵
分別秤一下，
就可知道鐵
要比水重上
七又四分之
三，那就是
說鐵的比重
是 7.5。

會變動的；那就是說，比重會變動的。因此我們用蒸溜水作標準時，還不能確定比重，必定要牠的濕度一定，然後纔可以用牠。當水在百度表冰點上四度時，我們知道，牠們的密度同收縮性是頂大。

在靈敏的百度表上，水的冰度是零，所以水在四度的時候，密度最大。我們現在就將這個密度極大的水，作為我們的標準。為方便起見，我們可以將這種在四度上的蒸溜水，稱呼為一。於是凡同一容量內，那東西的比重，二倍於水的，就稱呼為二。其餘的東西，由此類推。

我們可以選擇各種和四度蒸溜水一樣體積的東西，來比較牠們的重量。於是我們可以測出物體的重量，也可以表示牠們內部物體的質量。依牛頓所說的，凡物體的重量，都是靠着吸力，而吸力的大小，又都是靠着物體的質量。所以我們比較物體的重量，實在就是比較物體的質量。

固體在空間中所佔的位置 現在，假定我們想找出一種奇形怪狀的東西的比重。牠的重量，固然可以稱出來的，但我們還要知道得多些。可是我們要知道牠的比重，就不能不知道牠在空間中所佔的位置。要是牠的形狀，并不是方的或圓的，乃是一種凸凹不規則的形狀，那末牠的體積就很難得了。若是我們遇到這一種的東西時，獨一無二的法子，就是把牠沒入水內，看牠所擠起來的水是多少。

液體的比重測量法，本來是很重要的。譬如牛奶，平常一定含有若干的固體物質，溶解在牠裏面的。我們所以要買牛奶吃，就是因為這種固體物質，有食品的价值。若是賣牛奶的人，有意欺人，將水混入牛奶中，或者使那出奶的牛，飲無限量的水，使那所得的結果，和以水滲入的無異。我們遇到這種事情的時候，一定要有一種法

子，將這弊端考察出來。這種法子，就是測量牛奶的比重，看牛奶中所含的固體物質，是否和標準牛奶相合。若是我們欲知道酒內所含的酒精若干，也可以用這種測量比重的法子去查出來。這種應用，實在多得，現在不過舉其一二罷了。

可以測量各種液體比重小儀器。我們有一種小小的儀器，叫作「浮秤」Hydrometer，意思就是水的測量器，用了牠立刻可以知道任何液體的比重。這種浮秤乃是一個玻璃小管，管上刻有比重計算的數目，好像寒暑表的一樣，而管的下端，則灌入一些有重量的液體或物質。

當此浮秤放入一種液體中時，如果這種液體是重的，牠那下沉的部分便短些。於是從牠的管上可以找出液面所浸着的數目，那就是這液體的比重。若是所測量的液體，如酒精類，比水輕的，那末管上所刻的記號，必定要下沉於液內。若是那液體比水重的，牠那下沉的部分，必定不會很長。於此就可以見得這小小儀器的功效了。

第二種測量比重的儀器，叫作「比重瓶」，很簡單而很容易了解的，有時可以用牠測量液體的比重，有



浮秤的構造。(1)浮於水中的空圓錐。(2)垂於下面使全直立的細管。(3)放在液中的重物，就是我們要求出牠比重的東西。這東西先在水外秤過，然後放在水中秤，水中那法先在(1)的圓板上放上砝碼使則錐上的桿子到一個標準的地點(x)。從這些砝碼就可以算出比重來。

時亦可以用牠測量固體的比重。這種瓶子的製法，極其精密，一定要使牠能容納在標準溫度上的水一千克冷。在這瓶的塞子上，有一個小孔，將塞子塞上時，水就能從孔內逃出來。

一瓶水所給我們的教訓 假使我們要測量一個小槍彈的比重，我們可以先稱牠一下，然後將牠放入一個滿水的瓶內。凡槍彈所擠出來的水的體積，是和放進去之槍彈的體積相等的。於是我們就稱這被擠出來的水，求得牠的重量，然後去和槍彈的重量相比較。倘若槍彈的重量，十一倍於所擠出來的水，那末槍彈的比重，我們就可以斷定說是十一。倘若那槍彈是鉛做的，牠的比重差不多就是這個數目。

若是我們將盛水的瓶子，去盛以太 *Bisulph.* 那末以前能盛一千克冷水，現在只能盛七一五克冷的以太了。所以以太的比重祇有 0.715 。我們以前常定水的比重為一，今為便宜起見，定為 1.000 。於是以太的比重，遂變為 0.715 了。而牛奶的比重，也可從此推算出來，為 1.030 。血液的比重為 1.055 。其餘東西，都可如此求出。

體積和重量可以比出各種不同的東西來 我們已假定水的比重為一，現在可以將其餘不同的物體，都以水為標準，互相比較，而得到下面的物體比重表。我們知道，凡物體的比重比一大，就要沉入水中，而比一小的，如冰類，就要浮於水面。但當牠的比重，差不多和一相近時，牠浮於水面之先，必定要下沉若干時，纔能慢慢的浮起來。物體的比重表，排列如下：

固體類的比重表

白金(碾過的) Platinum (rolled).....	二二·一
黃金 Gold.....	一九·三
鉛 Lead.....	一一·四
銀 Silver.....	一〇·五
鐵(熟鐵) Iron (wrought).....	七·八
鐵(生鐵) Iron (cast).....	七·二
錫 Tin.....	七·三
金鋼石 Diamonds.....	三·五
大理石 Marble.....	二·八
鋁 Aluminium.....	二·七
冰 Ice.....	〇·九
鉀 Potassium.....	〇·九
鋰 Lithium.....	〇·六
木塞 Cork.....	〇·二

液體類的比重表

水銀 Mercury	一三·五九
硫酸 Sulphuric acid	一·八四
血液 Blood	一·〇五
牛奶 Milk	一·〇三
海水 Sea-water	一·〇三
石油 Petroleum	〇·八四
酒精 Alcohol	〇·七九
以太 Ether	〇·七一

以上所列的，乃屬於固體和液體的。至於氣體，自有他們自己的比重。這種比重的測量法子，就是以最輕的輕氣，為標準氣體，而與他種氣體相比較，以求得他們的比重。有時候我們也將一定溫度的空氣，當作標準氣體，但是輕氣尤其來得便利。若將輕氣的比重定為一，那末空氣必為一·六，混合的空氣為一·四；換言之，輕氣的重量，祇為空氣的十四分之一。若是我們想作一個準確的比較，則空氣中所含的成分，我們一定先要詳細知道。

為甚麼原故氣球可以上升又不永遠上升？氣球充滿了輕氣，便可以上升，但上升的高度，卻不能過一定的界限，這是為甚麼原故呢？因為空氣的密度，當高度增加時，就漸漸的稀薄。換言之，就是空氣的比重，漸漸的減

低了。到一定高度時，空氣的比重或者和輕氣相等，抑或者比輕氣少，所以雖是充滿輕氣的氣球，也不能支持了。關於氣體比重的事情，我們有了這幾句就夠了。但於固體液體比重表中，有幾種重要的事實，我們不可不特別的注意着。從以上兩個表中，我們可以知道各種金屬的重量；而液體態度的水銀，卻有最高的比重，單是液體中第一，就是許多固體物體，同牠比較起來，也覺相差很遠。

至於以上所列的各種固體物質，實在不是很重的東西。例如鉀，鏷，在我們的實驗室內，纔有純粹的東西，他們的比重甚至比一還小，所以他們一定能浮於水面。講到冰，牠的比重，也是比水小，因為水冷至零度時，他們的體積是漸漸的膨脹起來了。

鋁的價值很高因為牠又硬又輕。除冰以外，其他比重最重要的東西，就是鋁。鋁是金屬的一種，但比較平常所用的金屬，為量甚輕。若是將牠同鐵比較，那末牠既硬而不重，就可知牠是最重要最有價值的東西。

在液體比重表內，我們還找着許多有趣味的事情。我們從前已經說過，在平常溫度時，水銀實為唯一的液體金屬，牠的比重，同他種液體比較起來，很是驚人的。除此以外，有幾種液體的比重，在牠試驗各種東西的純粹 Purity 和成分 Composition 時，卻很重要。譬如化學實習書上所說的，凡是化學家要用着以太或硫酸，作一種特別的用途，那末這兩種液體，一定要某種某種的比重，然後纔合宜。這樣看起來，所以比重一事，在化學上甚為重要。試驗比重最快的法子，莫若用浮秤。

若是我們將牛奶同血液比較時，我們知道，牛奶雖是從身體中提出來的，但是牠所含的水分，比血液為多。

所以我們身體最大的義務，就是使血液常有一定的比重。若是血液的比重不一定，那末全身的作用，必定不能如法調理。至於水分這種東西，對於人的生理，本來是很要緊的。因為若無水分，全身的液體，就要都從肌肉中漸漸的被抽到血管裏去，使血液的密度，不至過於濃厚。反而言之，若是人飲水太多，就要超過血液應有的水分，於是全身的機關，在幾分鐘之內，都要羣起運動，排出這多量的水。這種機關運動得最有力的，就是肺腎和皮膚三樣。

倘然這多量的水，是要在身體中製造成奶的，在那時身內的腺就要起而活動，做榨水的機器。法國地方，養牛取乳的人，往往使他們的牛飲許多的水，使他們的牛乳的出產可以增加。而牛乳的比重，遂因此減少。滋補的作用，也是微弱了。買者要不為他所欺，非用浮秤去測牠的比重不可。

從以上的事情看起來，使他們的牛飲多量的水，而減少牛乳的比重的人，和那將水分直接加入牛奶內的人比較起來，誰是可想，誰是不可想呢？若是依法律說起來，禁止出賣比標準比重低的牛奶，固然是正當。但其中還有許多困難。因為有許多天然的物質，非人力和牛所能製造的，所以牛奶的標準比重一定不可太高。反過來說，若是所定的標準比重低了，則製牛奶的人，因為他的牛所產的牛奶，甚為豐富，就要酌量加水進去，使牠稀薄和標準比重的牛奶相符合，於是就永遠沒有好牛奶出售了。所以法制限制的問題，是很不容易的。至於海水，牠的比重和牛奶差不多，但比高級動物的血液輕些。牠的原因有兩種。從歷史上說起來，凡一種生物的生長，往往發源於海內，所以今日我們身體內的流質，同海內的水，互相比較起來，實在是很有趣味的。這種事實，非特

對於他們的比重有關係，就是他們的天性 Nature 和所含鹽質的分量，也是有關密切比例的。

第二種關海水比重的事情，就是他們對於游泳的影響。因為游泳同飛行，都是一種比重的問題。空氣比重愈輕時，則飛行較高。海水也是這樣，水的比重愈輕，則游泳亦較易。

地球的吸引

地球的吸力，有一個專門名詞，我們是不可不知道的；而且牠對於我們以前所說的平衡 Equilibrium 也可幫助不少。這種專門名詞，叫作「重心」Centre of Gravity。凡是一種物體，其中必有一點，可以使全體物質平衡的。若在這點上，用一條線掛起來，則四周所圍繞的物質，一定會取一種特別互相平衡的位置，好像全體的物質，都集合在這一點一樣。所以這種特別的定點，我們叫作牠「重心」，或者「物體的中心點」Centre of mass。若是我們用一樣特質，做一個球，則球的中心點，就是此物的重心。假使我們有一塊四方的物體，牠的質最和厚薄，通通是一樣的，要求牠的重心，又有甚麼方法呢？最簡單的法子，就是用一根線，縛在這物體的一點上，若將這線懸起時，這物體的左右前後都能平衡的，這點就是重心。

凡聯接兩對角的線，叫做「對角線」Diagonal，我們已經知道了。若是我們畫兩根對角線，則兩線所交之點，就是重心。這種法子，實在是一種很好的法子。但物體的形狀，要是凸凸凹凹的，這種法子，就不容易應用了。假使我有一塊極不規則的物體，要找牠的重心，我們可以在牠的一角上，繫上一線，然後掛起來，使這線在物體

上下垂成一直線，依了這線，在物體上畫上一線。這樣，此物的重心，必是在這線上的，因為當這東西被掛着時，無論如何，牠必定是處於一種平衡的地位，牠有的各種力，亦必互相平衡着。

我們此地所說的力，就是地球對於這物體各點向下的吸引力，和所繫的線的上伸力。因為這二力作用於這物體上，大小相同，而方向相反的，力的平衡點，就必在此兩力所成的一線上，正如這東西全體的物質都在這線上。若然牠的重心是偏在這線的一旁的，這個不平衡力，一定是「偶力」(Couple of forces)。重力和線的上伸力，可以不在一直線上，而在那方向相反的平行線上的，這樣的偶力，就要使被用的木板，扭轉不停，直等到重心歸於線下的一直線上纔罷休。若是我們想了解這種原理，莫如照我們所說的，一步一步的畫起圖來，其中的作用，就可以一目了然了。最好我們起初畫一個圖，代表他們的真實結果。那就是一條線就穿過重心的圖。第二步再畫下一個圖，去代表木板，使牠的重心點，乃在線之一旁。從這種圖上，我們或者就可以懂得這偶力旋轉木板的實在情形。

找平板重心的法子 從以上所說的，我們已經知道，板的重心，必定在那所畫一條直線上。但在直線上那一點，我們還是不能確定。要確定這點，莫若再在板上任擇一點，如以前所說的法子，再畫第二根直線，重心的作用點，一定也會在這個直線上的。於是這二線的交點就是重心。因為重心祇有一點，又同在二直線上，而二直線的交點，祇有這一個地方，所以我們一定可以相信，交點和重心，乃是合而為一了。若是我們所做的手續十分仔細的，在這找着的一點上，可以用絲線懸起來，或用鐵絲支住，使這板穩穩的平着。其他若石板等類，也可用這

個法子去試驗的。

若是我們要找人身體上的重心，自然不甚容易。因為他們的肢體太複雜，形狀太不整齊，而各部的密度，又種種不同的。但是經許久時間研究的結果，我們卻找着了一種很有趣味的事實。這種事實，就是我們人體直立的根據，因此我們的手可以自由動着，不因腳的行動而受束縛，而人生種種的大事業，大計畫，也就因此可以作得成了。

分我們的身體為兩部分的大骨節 若是我們從旁邊去觀察一個人的行動，或者他的骨骼，我們知道，膀關節 Hip joint，實在是一個人的身體分為上下兩部分的交界處。我們的軀幹頭部，手腕，是能够在膀對節上前後左右周旋自如的。現在我們假如從膀關節的中心，畫一垂直線，下至於地。這種形情，就好像用線懸着一個平板一樣。支點的位置，固然不同的，因為平板的係在上面，而人體的係在下面。不過於事實上說起來，卻無甚妨礙。

重心的原理，我們已經懂得了，人身上半段的支點，乃在腳跟下，對於人身體上，又有甚麼關係呢？若是軀幹及頭部的重心點，不在從膀關節中心至地所畫的垂直線上，而在此線的前面，則我們的身體必至向前傾倒。牛，馬，鼠，諸獸類的重心點，都在這線之前，所以他們的軀幹就向前傾倒。若是牛，犬，想用後腳直立起來，除非要有一種肌肉的力量，或一種特別的技藝，而後纔可以做到。

嬰兒和獸類不能直立的困難 在倫敦動物園中，有一種奇異能直立如人的猿猴，他們的重心，也是在膀關

節中心至地的垂直線之外的。他們所以能直立行動，只因用了許多筋肉的重量，但不能安穩直立多時，至於嬰孩，也是這樣的。

嬰孩漸漸長大了，他們的背骨就漸漸的向後仰，於是他們的重心遂位置於髖關節的後面去了。從髖關節至地所成的垂直線，和他們的重心至地所成的直線，是互相平行的，於是二者遂成一種偶力的趨勢，使軀幹及頭部可以在髖關節旋轉向後傾斜，又使兩腿可以向上直立。這種現象，雖使善於踩軟索的去仿效，也不能作到這樣的。

我們身體既然有這種偶力作用着，我們就應該向後傾倒了，何以我們從未看見有這種現象呢？原來我們身體上還有兩組極大的特別筋力。一組在髖關節的前面，能防止身體為吸引力所搖動而向後傾倒。有了這一種構造，所以我們直立時，不特不必專恃筋肉的能力，而且我們可以自由運動，如一種機械自動的一樣。以上所說的，好像不是地球的故事了，但人的身體實在是地球的子孫，而且地球的吸力，直接在人的身體上作許多工作，身體也未嘗反抗牠，總是十分服從的。

甚麼時候一個東西可以安穩甚麼時候是相反的。我們以前已經學過平衡的定律。平衡共分三種：有安定平衡，不安定平衡，和中性平衡。我們現在要來說明安定平衡 *Stable equilibrium* 或者安穩平衡 *Steady equilibrium*，和不安定平衡 *Unstable equilibrium*，或中性平衡 *Neutral equilibrium* 不同的原因。這種原因，從重心一方面去解釋，就可以懂得清楚。最簡單的定律，就是凡物體的重心，被外力提高時，這個物體就處

於一種安定平衡的地位；反而言之，重心被外力逼低的，就處於不安定平衡的地位。

這種解釋，已很清楚，只要我們想像重心就是物體的重量集合的地方，就可以完全明白。一旦這重心被提高時，例如我們懸一物於線上，推之使向兩旁擺動，地球的吸力常常會驅之使歸原位的。無論那種處於安定平衡的物體，如不倒翁之類，都是這樣的。不過要是外力果真將物體的重心弄低，那時外力雖去，物體也要不能歸到牠的原位的。但是事實上到底不會這樣，因為吸力能阻止牠這樣。

一個蛋可以說明三種的平衡。我們可用一個蛋來說明各種情形，和中性平衡的態度。在一個極短的時問之內，我們固然可使一個蛋直立於平衡的地位。但是假使外面有極小的震動，蛋的重心就要降低，而變其位置了。這是一種不安定平衡的實例。蛋當然可以橫臥的。若是我們假定蛋黃永遠不破，而處於蛋的中心的，於是我們可以使蛋在桌上滾轉，和枱球一樣。但是不久後，因為空氣的阻力和桌上的摩擦力，阻止牠的進行，牠只好停下了。這種態度，就成了一種中性的平衡，因為我們所加的力量，既沒有提高牠的重心，又沒有降低牠的重心。

若是我們變遷蛋的位置，不使牠在兩邊滾動，而要牠直立起來，不多久的時間，蛋就要左右擺動，倒下來恢復牠原來的位。這樣看起來，原來的位，好像就是牠的安定平衡。這是甚麼原故呢？因為當我們變遷蛋的位置時，牠的重心就因之而提高。我們手指一鬆後，蛋就歸復原所，而降低牠的重心。所以我們說，牠原來的位，乃是一種安定的位。因為蛋在這種位置時，他們全體和地心很相近，所以地心的吸力，要反抗外面變遷牠位

置的力量。

我們忘記了平衡律就要發生危險。物體平衡的定律和重心的關係，對於人生實在是最重要的事情。例如平常一年中，或一日中，我們有時要聽到用槳划船而遭覆沒的危險。這種危險，除了在風波極其兇惡的海裏發生以外，若是在風平浪靜的水裏發生，實在由於坐船者太不解事的原故。要免此種危險，最簡單的規矩，就是凡坐船者，均不可三四個人直立在船上；人蹲得愈矮，船便愈覺安穩。人若這樣實行，一定可以保全生命。因為物體平衡的問題，乃是以重心為轉移的。假使船的重心，在人的膝盖以下，猶如一個小瓶子，盛着半瓶的槍彈，船就一定不易翻覆，雖然上下簸動，也終是不要緊的，因為牠已處在一種安定平衡中了，外界的迫力，只想提高牠的重心，不是要改低牠的重心。所以我們造一條救生船時，除別樣必需品之外，我們還預備一個鐵龍骨 Iron keel 使牠的重心沉着，雖不幸而遇到意外的危險，或至翻覆，仍能恢復牠的正常位置。在平常用槳的船上，是沒有鐵龍骨的，重心的高低，就全在乎船上人的位置了。

人直立在划船上船就要翻覆。人直立在船上，船的重心就要高起來，所以偶然一遇着外界的撼動力，使牠的重心降低了，牠就要翻覆。若是船上祇有兩人，而兩人又直立在一塊，這時的船，實在處於極危險的境地。每年船覆而溺死許多好青年的報告，都是由於這種情形，無非他們和平衡重心律相反的原故。

要製造一條船，使牠的重心在其壓地位，就可以安穩無事，非有多年的經驗，不耗費許多的心血，就難於成功。英國救生船會 Life boat institution 所有的船，都是重心很低的，當他們翻覆時，他們反正的能力也甚強。

近代的救生船，雖然有些是很小的，但他們在水上，實在是最奇妙的東西。

以上我們所討論的重心和平衡的事情，小船大船，都是一樣可以利用的。在海裏被波浪一捲就翻的船，是很容易造的，所以造船時要很仔細。

船上載些重腳可以使牠安穩。我們都知道，船因波浪的迫力，向左斜傾時，必仍斜向右傾。牠所以會這樣的理由，可依牛頓第一條定律來解釋。因為船既開始作傾斜的運動，假使沒有外界的阻力和牠為難，依了牠的慣性，牠就要一直向那個方向運動着的。

現在，我們看一看，就知道當牠向左傾斜時，就擠開一部分的水，這水就有一種運動能力，使船復向右傾斜。當船一反一復，一左一右時，船的重心，往往降低而發生一切危險。在風平浪靜時，危險纔小些。我們要預防這危險，我們就將船載些重物 Ballast，使牠的重心，降至相當的位置，雖遇風浪亦無慮了。

若不要這些重物，那末船的危險，無異兩個旅客直立在一條用槳的小船上。這時船的重心極高，所以稍遇傾斜，重心被逼降低，船處於不安定的地位，就要覆沒了。



船底下必須
要加些重量
使牠的重心
低些，左邊圖
中在W下面
的B就是重
心所在，這
樣的話只會
搖動，不會翻
覆的。倘若在
船面上放
了一個重量，
重心B就要
高於W之上，
那末這隻船
就很容易被翻
覆了。

但是船的重量，一定要分配得均

救生船和潛水艇都是根據於平衡定律的。近來造船的人，有了長時期的習驗，已能實用平衡定律，使救生船幾乎達到了盡善盡美的地步。現在有許多人又已用了平衡的學理，發明了一種許多船艙的東西。

潛水艇計畫的成功，就可以證明平衡的學理，已經極端的利用着了。但是想做一架東西，飛行空中，仍舊有許多困難，未曾解決。至於平常所見的那種氣球，實在十分簡單，祇要空氣十分安靜就可以無事了。船上的旅客和重物，雖足以使牠的重心降低，但是遇着了颶風大浪，還是不免於覆滅的。這也是一個困難。

我們討論飛機問題時，更覺得這問題的重要和困難。現在雖然製有一種機器，可以飛行空中，好像大風對於牠，不能發生甚麼影響的，可是這個到底是不可靠的。若是我們再回頭去研究平衡的原理，牠的所以然就可以懂得清楚了。這些原理在表面上看起來，固然是十分簡單的，但他們的實用，甚為寬廣。約而言之，物體的運動，是以力為轉移的；平衡的各種態度，又與力是有密切的關係的；而地球的吸力卻是對於物體各部分的作用相等和一定不變的。

以上所討論的問題，大都屬於吸力的，很是簡單。人人都能造一船，浮行於無風浪的水面，或製一氣球，飛行於平靜的空氣中，或做一飛鳥，也可令牠在空中遊戲遊戲。這不過是造些有形狀的器具，自然十分容易，若是要算出這些東西飛行或浮游時所需要的力量，或者牠各方面的阻力和傾倒力，就要茫無頭緒了。這種問題，對於現在各飛行家要想他們的飛機，不至為風所吹翻的，當然是必須研究的事情。若是飛機滿載人時，欲使飛機永遠不離其正軌，則這種問題的解決，就更困難了。已經翻天的烏龜，是難於自己轉身的。近來差不多可說還沒

有一個人真能免除這種困難。

除此問題外，還有一個彷彿的問題，現在因了飛鳥和飛蟲的觀察，已經完全解決了。我們上面所述的各種定律，對於飛鳥都是有關係的。地球吸力，要他們下來，空氣的阻力，要阻止他們前進，或壓力要不許他們向上，還有由空氣運動所生的風，也是一般的給予他們困難。

但是鳥類富有一種筋力的力量，無論他們的身體由比空氣重得多少，還能自由飛行無礙。近世飛機的製造法，也是由鳥類飛行的理由推想出來的。雖然他們機械所產生的能力，和飛機重量的比例，不一定與鳥類肌肉中所產生的力量和他們本身所成的比例是一樣，但他們同以能力戰勝地球的吸力和空氣的阻力，乃是一樣的。所以他們的區別，實在甚少。但鳥類能飛行於任何空氣中，不至顛翻，飛機實在是做不到的。許多研究家，已經費了多年的時間，去考察鳥類之所以能使他們四肢平衡的原因，他們就用照相的法子，攝取他們動作的狀態，藉此學得了一些知識。

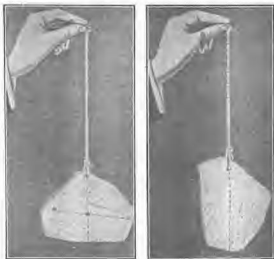
我們現在所知道的，似乎在空中會得到完全平衡的，只有鳥類可以這樣，而非人造的機器可以仿效的。但救生船顛翻了，仍舊能够恢復正位，這事卻和鳥類差不多。然而救生船和飛機，到底比不上鳥類，因為鳥雖為風所推翻，無甚關係，而飛機和船內是載有旅客的，假使一旦推翻，則所載的人，必至溺死或跌死了。這種情形，正像我們將一個銅圓，放在鳥背上，我們不但要這隻鳥能飛行於任何空氣中，不至推翻其本身，而且還要牠的背上平坦，不至飛到半途，錢就滑下。從良心上說起來，天地間實在沒有這種奇絕的鳥，能作這一種奇絕的工作。但現

在的飛機卻已不然，說出來真有些駭人聽聞，他們已經能在天空中顛倒上下的翻跟斗了。他們已達到了鳥類所能的地位，說不定還有過於鳥類所能的發明呢！

我們所討論的，總不能脫吸力的勢力範圍，因為吸力實在是各問題的起點，比較飛機和浮船諸問題，要重要得多。但天地間既有這種無窮的吸力，吸着一切的物質，而又使物與物互相吸着，何以世界上的物體，不會吸聚在一處，成一個極大的固體，卻仍零星散處於各方呢？

物體必有始終的舊學說 對於我們所發生的問題，現在有兩個解釋，我們必須要詳細討論他們。

第一個答覆，現在有許多思想家，在互相爭辯着，但我們無論他誰是誰非，祇要知道這事就是了。那就是說：天地間的東西，正在彼此互相吸引着，不過因為時間還不够，不能使天地間所有的物質，團聚成一個極大的固體，將來月積年累，或者竟會到這個地步的。這種思想，就是古來所謂物體有



這是在任何平面上尋找重心的方法。先隨便在那一角上繫上一條線懸起來，等靜時就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。那末重心就恰正在那兩條虛線交叉的一點。

始有終的學說，在當時一般人都是深信無疑的。

不多年以前，這種物體有始有終的學說，大家還以為是天地間的事實，不單永遠存在的吸力，足以為他們的左證，就是在宇宙間的力 Power 和熱 Heat 的性質 Behavior，也可以當他們的表示。那時人人都以為天地是個大機器，天天循環不息的動作着，運動時間既久，將來總不免要破壞。獨有一個英國的大科學家斯賓塞 Herberts Spencer，卻以為這不過是一種無稽之言，一定不對的。

大思想家對於宇宙的新見解，斯賓塞說，現在我們雖不能稱呼或發明天地間另有些什麼力，足以抵抗吸力，但是我們相信，天地間一定有這等力的，而物質的歷史，一定是成為一種韻律，如海內的波浪，滾滾不絕的，正如聖經上上帝說的：自永遠至永遠。

現在有許多人，已經相信斯賓塞的學說是不錯的。所以今日我們所要答覆的問題，已不必專注意在地球吸引的結果一方面了。我們只要想，要是沒有反抗吸力的力在活動着，將來宇宙間的東西一定要聚成一團的。現在事實卻不然，可知一定有這種反抗力了。

例如現在我們已證明光線是有力的，其他輻射熱，和別種發光體，都是有一種力的存在的。這些力，他們叫作「輻射的壓力」Radiation pressure。人皆知地球上有一種吸力，卻不知吸力之外，還有一種輻射的壓力；二者對於物質和人生上的重要，實在是相等的。

能抵抗吸力而又能分散東西的力，這種壓力，實在是和吸力處於一個絕對的地位的。在一方面觀察起

來，有時覺得吸力的力量，是比這種壓力強些。但是從第二方面去考查宇宙間的普通情形，總括起來，這種壓力實在比吸力還強些，所以宇宙間一切物質，不單不團結而成一個大固體，反而仍舊處散各方。

輻射的壓力的發明，在近世科學上佔很重要的位置，不過牠尤其重要的卻在另一方面，那就是我們現在所要討論要研究的。其最重要的地方，就是使我們有一個新的宇宙觀。有了牠，從此可以推翻從前不對的老學說，那就是說宇宙是一種機器，造成後開始工作，晝夜不息，將來必有破壞之一日的。

上面新舊二種見解的最大區別，現在的學者，不單用純粹的理想來辯論，原已從科學書上找得了許多充分的證據。自此以後，我們知道，天地並不是一個有始有終的物體，乃是個無窮無盡的東西。永遠的上帝，是使牠【自永遠至永遠】。

空氣的壓力

我們知道，普通所說的壓力，實在有許多種數。將手指用力抵住一種東西，這種壓力，叫作「人造的壓力」。手上持一物，因吸引力的作用，覺得非常之重，這種壓力，叫作「天然的壓力」。天然的壓力是永遠存在的，所以液體，氣體，固體三態，都是在牠勢力範圍之下。除此之外，還有一種「輻射的壓力」，是光線在以太內的作用所產生的。這種輻射壓力的發明，對於將來地球吸力的前因後果，實在大有關係。

我們現在要討論另外幾種壓力，而且又要仍舊用着測量的老方法了。測量吸力及比重等，都是有特別方

法的，所以測量壓力，我們也已經發明出幾種特別的方法。

凡物質總有三種態度——固體，液體，氣體。不過物質在這三種態度中，液體和氣體的態度，頗有許多相同的地方，固體則相差稍遠。譬如水與空氣，就表面上看起來，自然不同。但其中有一個重要地方，實屬相似，例如他們都可以流動，比了固體的泥土，就大不相同了。

當物體處一種固體態度時，其中有一種力，足以保守牠內部的分子，有一定不變的形狀。至於液體氣體則不然。他們的體積與狀態，是刻刻變遷的，因為他們是時常流動的，所以在科學上說起來，液體及氣體，同屬於一種流質。照普通一般的意思，流質 Fluid 及液體 Liquid 才是相同的東西；但是我們應該知道所說的流質，實在是包含氣體在內的，因為氣體和液體，卻會流的。

無論是什麼流質，在什麼地方，或者在什麼時候，只要是我們所說的流質，便有一種流質的壓力。這些流質的壓力中，至少已有一種我們都已測量過了。那就是「空氣的壓力」。

這種空氣的壓力，或者稱牠為「大氣壓力」Atmosphere pressure，實在是我們諸多流質壓力中的最重要的，我們現在想多費點時間，去研究牠。我們所恃以為生活的地方，就是這空氣洋海的下面。在這個洋海的底下，我們生長着，運動着，要是我們能游得高一些，像近代飛機所做的，我們就要驕傲極了。

我們的肺吸着空氣就可以使我們生活。凡是生長在這汪洋空氣下面的東西，都在流質壓力的勢力範圍之下。最重要的事情，就是能够使我們有呼吸的能力。當我們用一種運動，使我們肺內的東西，盡數抽出時，於

是肺內就留下許多空洞的地方 Empty space。這種空洞的地方，和空氣一接觸，外界的空氣，便靠着流質壓力的作用，直接壓進肺裏去了。假使沒有這種流質壓力，那末空氣就無由而入我們的肺管，我們要想生活，也就不够了。

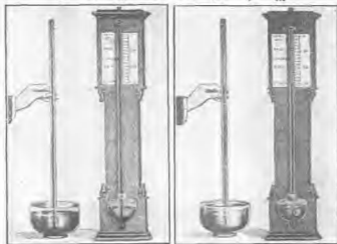
研究這種事情的人，到現在已有三百多年了，他們的目的，就是爲什麼空氣這種東西，能够自由擠入空洞的地方。他們的答語，說這是自然的趨勢，大自然不許有什麼空洞的。因此我們常用一句成語來表明這個意思，叫作「天忌真空」Nature abhors a vacuum。真空 Vacuum 一字，乃是一個拉丁字，意思是空洞的地方。大約三世紀以前，這天忌真空的原故，和天忌真空的範圍，已經開始討論過。其所以然的理由，原來都是由於「流質壓力」的作用。發明這種事實的人，不是蓋利略 Galileo 本身，乃是他的一個有名門生，意大利人，托里拆利 Torricelli。

我們知道，我們可用一個抽水筒，使水上升。但牠上升的高度，只能到三十呎左右。

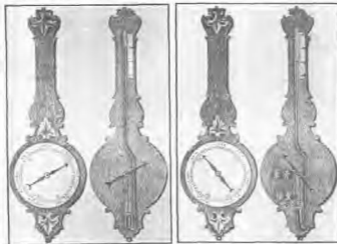
一個有名的意大利人發現了空氣中的大秘密。因爲世界上未有一種抽水筒，能够使水上升到五十呎，所以天忌真空的能力，也是有一定界限的。托里拆利想起這種現象，必定是大氣壓力的作用，如果水能上升若干呎高，那末別種液體，必定也是一樣的。於是他就取一種最重的液體，水銀，如法試驗；結果，水銀也會上升的，只因爲牠的質量重，所以不能升得和水一樣高。

要知道托里拆利證明大氣壓力的存在的實驗，和天忌真空的理由，實在非常容易。我們若用一個小玻璃

表 壓 氣 的 氣 天 示 指



意大利人托里拆利首先發明大氣的壓力。這幅圖是表示他的實和應用的方法。一根水銀管倒立一碗水銀裏面中水銀的表而受着大氣的壓力。大氣就輕水銀就下降。例如第一幅大氣或水銀就上昇。例如第二幅。



在這兩幅中我們可以看出見虹吸氣表。那是一個針吸着一個鐘面。和一根針針將而取了就能看見。針針移動的方法水銀在開口的一端漲落時有一個象牙的浮標隨着上下而浮標上有一個重錘和一個滑車連着的。因此指針就轉動了。

還是另有一部分仍留在管內的？試驗的結果，我們知道，管內的水銀，仍舊高出於杯面若干吋，或若干米突的。

管裏面灌滿了水銀，然後將這管在一滿載水銀的玻璃杯內倒立起來。這樣管內所灌的水銀將傾瀉出來呢？

那末可知這種水銀柱一定有一種相當的力，維持牠的位置了。這是什麼力呢？我們可以直接答復：這就是大氣壓力。因為大氣壓在杯內的水銀面上，逼得一部分的水銀，只好留在管內。

可以抵住水銀柱重量的空氣壓力 倘然玻璃管是短的，倒立之後，管內的水銀，必定不會稍降。若是所用的玻璃管，有三呎那樣長，那末倒立之後，管內的水銀，就要降下些，數目大約六吋。換言之，就是大氣的壓力所能抵住水銀柱的重量，大約當牠在三十吋左右的時候。

這是一個很有趣味的問題，若問管內水銀降下後，所留下來的空洞地方，又有些甚麼東西，充滿其中呢？因為空氣是不能進去的。我們總要設想，這個地方是純粹處於真空了。但就實際上說起來，這個雖然是我們所得的最完全真空，叫作「托里拆利的真空」Torricellian Vacuum，但是仍有許多物質充滿其中。因為在真空中，水銀最容易氣化。所以其中雖無空氣，而水銀氣化的分子，是不能免的。有時候，我們也可以用許多的方法去防止那水銀的氣化，使我們所得的真空，較前稍好些。不過我們所得的真空，無論用什麼方法去阻止他種物質混入其中，以太是無處不有的東西，仍舊是永遠存在那裏的。

我們測量大氣壓力的法子 依以上試驗的法子說起來，水銀柱的高度，是可量出來的。所以每天大氣壓力大小的比較，就是水銀柱長短的比較。若是大氣壓力大時，則杯內水銀面上所受的下壓也大，逃入管內的水銀柱就要增高了。反之，大氣壓力小時，則水銀面上所受的壓力亦小，水銀柱亦就降低了。

我們想，假使有一個人，用他的拳向桌上直抵；或者想一個人，在市場之中用錘敲打樁柱，水銀柱受大氣壓力

的影響，也就可以明白了。所以托里拆利的試驗，不單是可以證明大氣壓力之存在，也可以當一種測量壓力的方法。

若是我們由平地而登高山的時候，我們所攜帶的水銀柱，就要漸漸降低，這是一個甚麼原故呢？因為上面的空氣稀薄，所以牠的壓力，也漸漸減少了。至於水的壓力，也是這個樣子，下沉愈深的東西，所受的壓力也愈大。此種形情，凡潛水者皆知之。

水銀柱在山上的變遷 托里拆利以後，有一個最著名的法國大思想家，叫作巴斯噶 Pascal，他一日帶着

托里拆利所發明的那種水銀柱，登了一個高山。他見那柱就降低了許多。當他下山的時候，水銀柱就漸漸升高了，因為這時在水銀杯面上的壓力，也漸漸增加了。這種水銀柱高度的變遷，使我們對於各種物體，發生了許多有趣味的事實。譬如有人坐一氣球，向空中飛行，他飛行得愈高，他的呼吸就愈難。因為這時肺所倚賴的流質壓力，已漸漸減少，所以牠的呼吸要覺得不很容易了。這種呼吸困難的病，我們稱牠是『山疾』 Mountain sickness。所以在山上睡的人，總要覺得不甚舒服，因為此地空氣壓力太少；海洋邊睡的人，往往覺得很痛快，因為此地空氣壓力，與他們呼吸所需的恰恰相合的原故。

近來又有一個意大利人證明，若是一個人，在高山上睡幾天，他的身體上，即產生許多紅血細胞。這種細胞的工作，就是從肺內將養氣運送到肌肉組織裏去。

我們的身體恰和空氣壓力相適合 因為山頂上的空氣如此稀薄，或者說牠壓力如此減少，我們的身體一

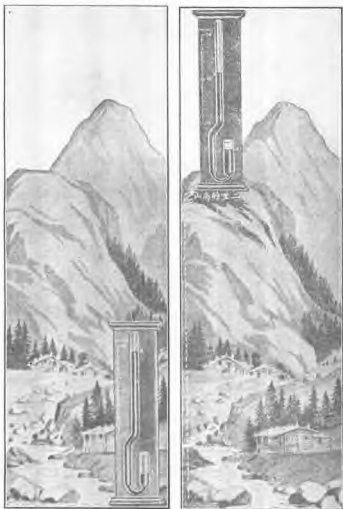
定要有種特別的組織，然後可以應付。這實在是很有趣的，我們的身體內部，居然會如法組織，使牠和這種空氣壓力相符合。

托里拆利測量空氣壓力的器具，就叫「氣壓表」Barometer。牠的意思，就是重量測量器。自此以後，每天空氣的壓力，不要費什麼力，我們就可從氣壓表上看出來了。

平常我們看氣壓表的法子，實在不甚對。因為我們祇看那小針在表上所指的字，如 *Set Fair, Rain, Change*，就來預測將來天氣的晴雨。其實牠不過測量那時那地的大氣壓力罷了。表上小針所指的，是大氣壓力所能維持的水銀柱高度。

爲甚麼原故氣壓表能預料將來的天氣，因為天氣的晴雨，是和大氣壓力有關係的，所以從氣壓表上面，可以預測將來的天氣。若是在某處地方，牠的大氣壓力是十分高，則此地的天氣，一時還不會有大變化。反而言之，若是大氣壓力低，那末別處高壓力地方的空氣，就要被迫而向此地衝來，於是風雨的現象，說不定因此要發生了。氣壓表和天氣的關係，不過是這樣，不一定是會斷清風雨的，因為天氣變遷的原因，實在有多端，壓力的關係，不過是許多原因中的一種，所以氣壓表所告訴我們的天氣現象，有時亦不可信的。因氣壓表有預料天氣這一點用處，我們就稱牠爲風雨表，到底也不甚妥當。

氣壓表我們又可以稱牠爲「高山測量器」。因為當我們帶着這簡單的儀器登山時，每登一千呎，水銀就必降低若干。從此總降低的數目，我們可以知道那山的高度。但這種測量的法子，實在不很好，因為我們必須親



山的高度可用氣壓表測量出來的第一圖中有一個氣壓表放在二哩的高山上，大氣的壓是在 λ ，就使水銀僅昇到 V 。將這氣壓表放下來，如第二圖放，在山谷之中，氣壓就重了，水銀就升高了。將這兩個不同的高度，互相比較，就可以測出山的高度來。

少年百科全書 第七類 地球下冊 空氣的壓力

目登山，然後才能得氣壓表上水銀下降的數目。因此，除此之外，我們還有好幾種最準確的測量法。管內的水銀會使表上的指針移動。平常的氣壓表，都是和托里拆利的試驗器具一樣的，不過玻璃管的頭

上不是直的，乃是向上彎曲如U字形的，所以不用盛水銀的那種玻璃杯，就可以受大氣的壓力。這種裝製，方便得多了。若是在未封口的那一端，掛着一個重錘，錘上連着一個指針，牠就會告訴我們水銀柱的高度，或者直指着我們所寫的晴雨二字。

我們還有另外一種氣壓表，叫「乾氣壓表」Aneroïd barometer，管內既不用水銀，也不用別的液體，乃是一種圓而平的金屬箱。牠內部的空氣，已經抽出，使牠成一種真空的狀態。牠上下兩面，都受着空氣的壓迫，壓迫力的大小，依着大氣壓力而變遷。從這真空箱上，去驗空氣壓力的大小，是很容易的。這種測驗法，雖不甚真確，但放在室內，做個家庭晴雨表，卻很有用的。

若是我們將一平常的氣壓表，稍為加熱，水銀就要升高。所以我們用着氣壓表時，將溫度的變遷，列入我們的計算中，結果就分外清楚了。

空氣壓迫我們的力量在各方面都是相等的。所以最準確的氣壓表，常常有一個溫度表，或熱力計算表連帶的。製造一個氣壓表，必定要將管內的水銀，熱到沸點，使水銀內的水蒸氣和空氣，都被逐出。不然，這種存在水銀內的水蒸氣和空氣，就要逃到托里拆利的真空中，他們將要阻止水銀上升到應當的高度了。

我們常在華盛頓計算空氣壓力，每平方吋大約為十四磅多。所以我們身體，一定也在這每方吋十四磅壓力之下。若是空氣的壓力，都為下壓力，則我們在天地間，必無立足的地位。現在我們所以覺得毫無損傷的，是因為四面八方的壓力，都是相等的。換言之，就是下壓力的強弱，實在和上壓力的強弱成個平衡，而左邊的亦和

右邊的相等。因此我們的身體，處於各方面壓力平衡之中，毫無損害。假使我們所受的壓力，非處於一種平衡的狀態，那末所發生的效果，必定很顯著。若是將一個小玻璃管加熱，使牠裏面充滿極熱的空氣，然後將這玻璃管的口，急急合在人的皮膚上，管口裏的皮膚，就必漲起，成功一個小瘤。因為管內的空氣被熱時，就膨脹起來，等到冷後，就收縮下去，這時管內的壓力，比管外的壓力就小了。換言之，就是玻璃管口裏的皮膚，所受的壓力，比全身所受的大氣壓力小，因此就起了那種的變化。

因管外皮膚所受的壓力，比管口內的為大，所以身體內的流質，漸被壓力擠入管內，而皮膚就要漲起，皮膚上好像生了一個小指。這種現象，實在是壓力一定的趨勢。

一種小孩的遊戲可以證明科學的定律。醫學生最好的遊戲，莫若將三四個玻璃管子，用以上的法子，使他們吸在額上；這樣子他出去遊行街市，固然是狂妄的，但是卻可以告訴大家，空氣的壓力是確實存在的。

至於小孩所玩吸引石頭的把戲，也是倚賴大氣壓力的作用。若是我們用一塊溼的皮革，使牠和一小石相切緊，這小石就可被吸起。若是皮的一角一鬆時，這石就要墜下，因為空氣已經從這角上衝進去了。假使玩這把戲的小孩，住在月球上，此種把戲就必不成功，因為月球上無空氣的原故。

我們已經知道，我們肺的呼吸，也是全倚賴空氣壓力的作用。有時我們想吸水入口，也是利用這種原理。譬如從麥稈內吸取檸檬水，或用注射器注自來水筆上墨水，都是一樣的。因為從麥稈內吸收水時，我們口裏這一端的壓力是很低的，所以牠一端的大氣壓力，遂壓水從稈內上升。

爲甚麼原故水會從抽水筒內出來。若是我們用舌尖抵住吸棉織水的麥稈的一端，那末稈中所含的水柱，無論地球吸力作用如何，可以保持着不至下墜。假使舌尖一移去，稈兩端的壓力相等，稈內水柱就下落了。

這個麥稈吸水的原理，和注射器及平常一個抽水筒，都是一樣的。在抽水筒裏面，有一個活塞 *Piston* 和筒的四壁，十分貼緊着。當活塞上升時，內部的壓力，就漸漸減少，於是水乘着這個機會，被外面空氣壓力逼而上升。要使筒內的水放出來，只要增加牠內部的壓力，如花圈中的注射器，就是這個道理。

我們都知道虹吸 *Siphon* 的瓶子的，能够使牠裏面的液體，從一瓶中，經過一長管，而送入他一瓶中。我們拿一灣曲玻璃管，用水注滿，將一端倒插在水盆內，如遊藝上冊第一二〇頁上的圖，水必定繼續着在另一端流出。繪的圖，自然可以懂得清楚。液體出口那一端的玻璃管，必定是要向下傾倒，使地球對於管內水的吸力，可以毫無阻礙。管內的水一去，管內就空起來了，然後大氣的壓力，直壓盆內水面，而使水上升，所以盆內的水，必至繼續流盡而後止。

大氣壓力，是流質壓力中的最重要的，或者也是最容易了解的。現在我們要講些流質的定律，我們覺得他們是很難的。但是其中一二重要的因果，卻還容易了解。最簡單的定律，就是流質的壓力，無論在那一點，牠的上下四方都是相等的，我們已講過了。但是精密些說起來，我們所指的流質，必定是不動的流質。因此，我們又有一件新事情了，那就是流質的動作，這事的全部就要另外看法了。譬如我們雖不覺得空氣壓力怎麼樣，但由

空氣壓力所生的風，我們是知道的。

有一個非常人發明了壓力平均的定律。以前所說的那個法國大學者巴斯噶 Pascal，實在是發明流質壓力上下四方相等的第一個人。因為他的思想是非常的英銳，所以大家都以非常人稱他。凡是學宗教的，學算學的，學水力學的，以及建功立業的，好人或惡人，都應該知道巴斯噶的學理，試驗巴斯噶的工作，認識巴斯噶的為人；因為他所發明的，不單是奇奇怪怪，足以引起人的興趣，而且妙奧異常，想出人所能想不到的。自從人類有歷史以來，這種人物，實在是不可多見的。

現在有趣味的事，最好作一個試驗，來證明巴斯噶的定律。若是我們拿一個空瓶子，將塞子塞住了牠的口，將牠推入深水之中，或者將瓶底繫一重物，使瓶自沉於水底，這樣，流質壓力必定要將瓶的塞子，壓進瓶裏去。雖然將瓶倒置，或側置，或斜置，無論位置如何，都可以得一樣的結果。水裏的魚，因為牠上下左右的壓力是相等的，所以能夠游泳自如。總而言之，流質的壓力和方向是沒有關係的。至於地板上的桌子，桌子上的書，或柱子所支持的屋，牆所支持的重量，和這種液體壓力，當然是大有區別了。因為他們所受的壓力，只限於一方面，而流質所施的壓力，是面面都有的。

氣體可以壓緊液體則不能。流質的大定律，對於水和空氣兩種流質，都是一樣的。但是定律雖然不錯，氣體的東西和液體的東西，到底是有區別的。因為各種氣體，或各種混合氣體，若是用力壓緊了，是可以使牠縮小的。壓力一去時，牠的體積才仍舊膨脹。所以我們常說，氣體有一種壓縮性 Compressibility。但是流質的

另一種液體，例如水，是不能這樣的。

現在有許多人證明，液體並不是沒有壓縮性的，不過牠的壓縮性極小，而且非極大的壓力，不簡變牠的絲毫，沒有像氣體那般容易。現在，氣體既然可以用力壓縮的，那末我們就應該知道有無定律，足以規定一切。定律到底是有的，我們就來研究牠。

波義耳發明了氣體爆裂的原理。在十七世紀，英國著名學者波義耳 Robert Boyle 發明一種氣體的定律。他說：「若是氣體溫度一定的，牠的壓力愈大的牠所佔的位置愈小。換言之，就是牠壓力增高了，牠的體積減小；而壓力減小了，牠的體積卻增大。」這個定律的意思，就是氣體壓力的大小，是和牠體積成比例的。所以當氣體的體積縮到極小的地位時，他們必有一種激烈的爆裂。

熱東西和冷東西

我們知道，物質存在於天地間，往往有三種態度——固體，液體，氣體。這三種態度互相變遷的情形，對於熱是有重大的關係的。譬如我們將水，使牠的溫度降低，到了若干度之下，以前液體的水，於今要變成固體的冰了。反而言之，將這冰加熱，就重新變為液體了。這樣，我們簡直可以說，水是冰和熱的混合物。若是牠所混合熱，漸漸的增加，至於沸點，所有的水，就要漸漸的減少，因為他們逃入空氣中，變成水蒸汽了。

所以我們也簡直可以說，水蒸汽是水和熱的混合物。這種講法，若是合理，熱到底是什麼，就可以弄得清楚。

了。自此以後，我們將要把熱看作一種實在的東西，若是將牠和其他物質化合時，就要起一種形體的變化。

熱是一種東西，我們已明白了，但這種東西，到底又是甚麼樣子的呢？這個問題，不單是在現時代，甚為重要，就是已往的學者，也將牠爭辯過若干年了。幸而我們生於現今的世界，這種問題，卻已解決了，我們不費吹毛之力，能夠知道他們的結果。所說的熱，一定是一種實在的東西，如燒紅的火杖，有了這東西在牠裏面，然後能夠使牠變紅色。但是這種東西，是一種物質麼？牠有重量可以稱得的麼？無論如何，到底牠的真相是怎樣的？

第一件事情，我們應該決定說，熱到底是一種不可稱的東西。因為熱的物體，和冷的物體，互相比較起來，牠們的重量是沒有增減的。在奇象中冊第二四二頁中，我們已講得很詳細了。至於第二件事情，諸位要知道的，就是熱這個東西，實在不是一種物質。因為無論什麼物質，地球的吸收力，對於牠必有作用，既有作用，一定就有重量可稱。熱既無重量可稱，所以我們現在相信的熱不是一件物質，只是一種實在的東西，究竟什麼東西，乃是我們所要求知道的。



左圖是放在冰上的一壺液體空氣樣子，就這一壺沸水，比了那種液體空氣要暖得多，因此就將牠化成氣體，和平常空氣一樣，右圖是一杯液體空氣，傾入了一瓶水，就使水氣一般的嘩嘩的湧出來。

英人梅列笛斯 George Meredith 常說：『若是我們用一種相當名字去代表一種東西，我們可以省去了許多思想，除卻若干煩悶。』所以現在凡是有重量可稱的物體，譬如石，水，氣類的東西，大家都叫作『有重物質』 Ponderabilia；無重量而仍實在的東西，如熱類，他們叫作『無重物體』 Imponderabilia。這些名字，雖然無論在甚麼地方，甚麼時候，我們用了來辨別種種東西，但在實際上說起來，對於我們，到底是一無用處的，因為我們並沒有藉着他們確實知曉了些什麼。

我們已知道，熱是一個不可稱的東西。牠不過是運動。運動是無形無臭不可稱的。牠只確實的存在就是了。我們也知道，運動的種類甚多，熱是運動中的一種特別運動，和別種運動絕不相同。牠是物質間各分子或原子的往來擺動 Vibration。就這一點，就可以生出許多奇異的結果。

分子的往來擺動使水的溫度增高。假使我們有一桶水，牠內部的溫度是有一定的；換言之，就是牠內部分子的擺動有一定的速度，他們擺動所及的範圍是不變的。若是將這桶水加熱，水裏分子的速度，就依量增加。若是所加的熱非常烈，分子運動的速率就愈加增大，或者他們所擺動的範圍愈加擴大，於是分子的能力，不能保其原狀，就要由液體而變為氣體。這種氣體的水蒸汽，或者仍舊可以吸收若干熱，究竟牠在這一方面，有沒有限制，我們卻不知道。

反之，若是我們讓這種水的溫度，漸漸降低，在若干時之後，牠就要變成固體。牠變成固體的情形，是與以前相同的，不過牠的次序是一個倒數罷了。大氣的壓力，這時也是預分的。因為這樣的水，熱是少了，分子特

別的運動也就沒有了，分子不能保存他們的原狀，他們只好另外變個樣子，就成了我們所說的冰。

可以變冷變熱的冰 我們平常知道，水是可以變熱，或變冷的；不知道冰也可以做到這樣。若是我們將冰的特別運動力，熱減少至一個定點，我們就可如使牠變冷，像使水變冷一樣。

譬如某人欲積蓄錢，他要積蓄的數目，是不能一定限制的，所以牠的積蓄可以與日俱進；這個情形正像我們想增加一種物體的溫度一樣。假使要支出某人所有的錢，那末就有一定的限制了，無論所支的方法是怎樣，每日一個，或每日一百一千，支完了就罷了，他總不會再失去什麼。

銀錢的情形，既是如此，對於其他的東西，也是一樣的。譬如我們降下冰的溫度，使牠的運動力減少；但牠這運動力，並不是無窮的，必有一個限制點。假使我們不以爲確，能夠作到將冰的運動力完全取去，冰就必定要降到一種絕對冷的地位。

使冰的溫度降到再無可降的法子 冰內所有的熱，既已完全散失，牠的運動力，也就必要完全消滅。牠的分子或原子，現在必定處於一種絕對冷靜的態度。冰既然如是，其他別種物質，也是一樣的。

更進一步言之，依照我們平常所用的寒暑表，我們能夠找着物體溫度下降的限制點。用許多精密的測量法，我們知道，百度寒暑表零度下二百七十三度是絕對冷的地位。物質溫度，減少到這裏，就完全沒有熱了。世界上決沒有比這個更冷的東西的。這種學理，實在是這一部分科學上的大發明，許多有趣味的結果，也就隨着產生了。

第一，我們要注意測量這一件事，因為牠對於任何東西，都是很要緊的。我們從前找着水的冰點及沸點，或水銀或別的東西的冰點，我們就很高興，以為我們已經做得很完全了。但是現在我們知道，除了這些以外，還有最重要的一點，在這一點上熱是完全不能存在的。

這種熱不能存在的地方，我們真可以名之為零度。在各種寒暑表上，都有一個零點，但是那些零度，實在不是真正的零度。所以我們現在所找着的零度，對表上的零度說起來，可以稱為「絕對零度」。這種絕對零度才是熱和溫度的發軔點。所以現在世界上科學家的思想和著作，都是以這一點為溫度的根據。

凡是研究熱學的人，在他們的科學書上，往往遇着這一種表示溫度的句法，如「絕對溫度十度」。若照平常的百度表說起來，這是零度下的二百六十三度。這種說法，實在不方便，因為我們舍了天然的零度不用，反將零度上若干度以為零度，真是太無道理的麻煩。

第二個問題我們須要注意的，就是在絕對零度的物質，到底像一個什麼樣子呢？若是我們取一種氣體，如輕氣或水蒸汽類，他們此時的分子是十分活動的，因為有許多熱存在其中。假使我們漸漸繼續減少他們的溫度，這種氣體就要漸漸變為液體，再由液體變為固體。等他們的溫度到了絕對零度，他們留下來的物質，到底是一種甚麼東西呢？我們曉得，這個氣體變遷一次，牠的體積一定要縮小一次。牠縮小的多寡，是與牠所失的熱成比例的。從前大家相信，以為物體縮小或增大，既與熱為比例，那末熱減到零，物體也必為零了。但是如今我們知道，熱并非物質，乃是加入物質中的一種不可思議的東西。熱雖然可以完全拿去，物質是仍舊存在的。所

以我們現在相信，絕對溫度以下所留下的東西，乃是物質的真面目。

我們相信絕對零度所留下的東西，是一種真正的物質，這不過否定熱度是零，物質也是零的話，到底這種說法，也不甚見得的確，因為物質的熱是不能都可以降至絕對零度的。但是我們有許多證據，卻可以證明物質的熱，雖然能降到絕對零度，物質到底還是不能消滅的。

第一，天文家相信，以為在行星和各恆星軌道之間，有許多物質，叫作「宇宙塵」Cosmic dust 的存在着。現在研究熱學的人，已經發覺，此地的溫度，實在最近絕對零度。從這事看起來，物質在絕對零度時的確是可以在的。

第二，我們自己在地球上足以使物質達到絕對零度。我們可以看看我們在這時所得的結果是什麼。要使碳酸氣化為固體，實在不是難事。這種固體，和極冷的雪很相像。雪不過是水蒸汽的固體，所以兩種物體的情形，實在是差不多的。至於使空氣變為液體和固體，雖然要難得多，但是也可以做到的。

液體空氣可以和水一樣的流動。杜華 Sir James Dewar 在倫敦皇家學會 Royal Institution 中，常常做這一種驚人的大工作。液體空氣的狀態，和水相同，不過要比水冷得多。我們可以用一種特別的器具，將牠儲藏起來，將牠倒出來時，就像個水。若是只有幾滴落在我們手指上，自然毫無防礙；但我們不能將手浸到牠裏面去。若是用牠來作一種飲料，那就危險之極了。

液體空氣最大的用途，就是作一種「寒涼劑」，使他種物體的溫度降低。現在各處化學實驗室用牠的很多。

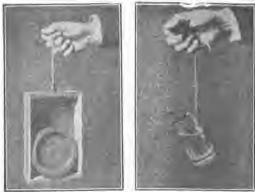
近來各煤礦遇着爆裂的時候，救人的入往往攜帶了液體空氣，使牠液化，供給他們自己的吸呼。現在一般研究這事情的人，以為液體空氣若是便宜了，一定也可以當作一種普通衛生品的。牠既可以供給我們的呼吸，又可以使我們四週的溫度降低。這話的意思，就是液體空氣的溫度，既然較之四旁的空氣低，所以會吸收四旁空氣的熱，使牠自己揮發成爲平常的氣體。

有形的固體空氣 若是我們祇用目力去看，液體空氣和水，固體空氣和冰，我們是不能分別出來的。固體空氣的溫度，雖然比液體空氣冷得多，但是牠離開最低的溫度還遠得很。

用了液體空氣，和那很貴很強的機器，我們可以使各種氣體變爲液體。輕氣變爲液體，實在是科學上最大的勝利。我們又可以使液體輕氣，在數秒之內，變爲固體。

近來，液化的工作，很是進步，連氦氣 Helium 這樣強硬的東西，現在也可以使牠液化了。

但現在我們要問：使氣體液化時下降的度數，可以到一種甚麼地位呢？在近數年內，液化的工作，已大進步，從前祇可降到絕對溫度十四度至十二度，現在已可以降到四度或三度了。我們所說的絕對溫度三度，就是百



將一粒鉛彈繫上一條線，放在液體空氣內，使那鉛彈非常的冷，然後再將這鉛彈放入一杯水內，水便結冰，將鉛彈和杯壁凝成一塊，這杯便掛在這線上。第二圖是一個匣子，當中放若一些重物，頂上有一條低凹，凹中放滿水銀，將上面那種鉛彈放入水銀裏去，也要凝合攔來，匣子也就掛在線上。

度表零度下的二百七十度。這種工作，表面上看起來，化學家所要達到的目的，現在祇相差兩三度了。但是這兩三度的距離，卻不是容易能夠越過的。

取盡物體內的熱是非常難的。在我們心目中，以為這兩三度的距離，可以無慮了，可是我們竟被這區區的數目所愚弄了。假使我們將每度分爲一千度，那末固體的鐵，或固體的輕氣，與絕對零度間的距離，或者還要比這一千度遠些。

我們在科學上有一條普通的定律，說事情愈進深，就愈困難。在一般人的心目中，以為從十二度到八度，或從八度到四度，或從四度到絕對熱度，其間的距離是相等的，那末達到目的的時間和困難也必定相同的。可是這種理想，卻和事實相反了。每降一度，進行上的困難，就不知要增加到幾倍。

我們有兩個實例，足以使我們懂清楚以上所說的困難。雖然這些實例，起初看起來，覺得不甚明瞭，但就實際上想起來是很對的。第一個，譬如有一個人欠某人三角二分錢。第一次還他一角六分，第二次還他八分，第三次還他四分，餘類推，每次所還的，爲欠數之半。在一定時間之內，欠債的人已還了債主的三角一分多些了，其餘的一分左右，仍舊照每次半數的規矩去還他。雖然沒有還去的數目已是很少，但是離開債務清楚的時候，實在遠遠得很。照這樣看起來，債主想完全得到三角二分錢，而每次所得的，祇是所欠的半數，你若要多少年代，才可以弄得清楚呢？

第二個實例，我們可以用一個抽氣筒抽取一個管內空氣，使他變爲真空。但每次從管內抽出來的空氣，總

是牠餘數的一半，竟像還債的，第一次還一角六分，第二次八分，第三次四分一樣的情形。雖然管內的空氣可以十分少，但是去真空的程度還遠呢。

這兩個例，使我們懂得要降低百度表零度下百餘度容易，而降低牠最後二三度很為難。這兩三度，或者我們永遠不會有降低成功的希望，亦未可知。但是這事我們現在已經做了一大半了，現在的化學家，已用着一種極有價值的儀器，拼命幹去，或者將來就能發見比液體空氣更冷的東西，那就分外有用了。

我們研究這種降低溫度的時候，我們發見一件最有趣味最重要的事情，就是我們平常的化學手續，已是大有改變。如火的燃燒，和我們身體內一切的化合作用，和其他種種平常的事情，我們知道都要在一定溫度之內，然後才能進行不息。譬如我們相信，太陽裏的熱力太大，兩個原子簡直不能化合，所以太陽裏祇有原子，沒有化合物。

至於溫度降至極低時，其所得的結果，也是一樣的。因為在這種溫度時，原子運動力，也祇有一概停止進行。所以凡是兩種原子化合時，有一種極大的愛力，甚至要發生爆裂的，而在低溫度時，這種能力就完全消滅了。只有杜華和法國大化學家毛桑 *Maisan* 曾經表示過他們的意思，以為將來必定會有一種低溫度的化學，有牠自己的特點和限制，等牠的效用顯出來時，必定大有可觀。但是這事，還不是我們現在的知識所能測度出來的。

消滅一切生物的大熱 研究生物和溫度的關係，實在是一個很重要的問題。因為生物的生存，都有一定

的溫度，所以我們現在不如雙方並進，一方面研究熱對於生物的效果，一方面也研究溫度降低時，對於生物的關係。第一件我們所發見的事，就是熱是非常重要的。

天地間的生物，在水沸點的溫度中，能够生活的，實在沒有看見過。有一種微生物，一二分鐘之內，雖不至於死，但是也不能耐久的。這種沸點溫度，似乎覺得很熱，然而比了平常的火焰，還是不及，至於比了火爐內的或太陽裏的溫度，就相差更遠了。至於幾千度以上，那就更沒有不死的了。

另一方面溫度降低時的比較，非常顯明。有許多的魚類，微生物類，和植物類，雖在冰天雪地之中，也是不至於被殺的。

一時死一時復活的微生物。數年之前，皇家學會中，證明微生物在沸水溫度中，祇五分鐘之久，就不能生活。若在液體空氣中，雖六禮拜之久，還是活的。這樣看來，微生物非單在平常溫度中生長，就是極冷的地方，也是不要緊的。這種現象，或者因為微生物雖一時停止生活，可是牠生命所倚賴的機能，還沒有消滅，所以當他們從液



將花液，空氣，不一，刻就凍結，和玻璃一樣，的粉了。

體中拿出來的時候，仍舊可以活動。他們雖在極低的溫度中，使他們所倚賴的化學變化不能進行，而他們的生命還是保存着。

生命常常倚靠着一種極複雜的化合物「發酵」Ferment 以爲生活。這種發酵有一種極強的力量，使牠四週的東西起化學作用。但是牠是最容易爲熱力所破壞的。

若是我們用一些胃液，或消化素，沸到一二分鐘之久，牠的消化的力量，就要完全失卻。這個就是微生物被熱後不能生活的理由。因爲他們所倚賴的是發酵的作用，現在已爲熱所破壞，雖然冷到若干度之下，亦不能使發酵性恢復，生物當然只好死了。

爲甚麼小孩子不能多食冰忌淋 只有熱力才可以毀敗微生物所靠以爲生長的發酵品，使他們永遠不會有復活的希望，低溫度是不能做到的。若將他們埋在液體空氣中，雖可以使他們發酵的作用一時停止，但是到底不能破敗他們的發酵機能。所以小孩子不能多食冰忌淋，因爲他們的熱力既不足以破壞那發酵機能，又不能使消化器降到極低的溫度，以停止那發酵作用。所以微生物既靠發酵作用以爲生活，而發酵作用又不能極低的溫度中進行，因此微生物在液體空氣中到底還不能算生存的；或者說雖能生存，到底是不能做一點工作的。只能說他們發酵的作用，是停止他們暫時死亡，但他們的機能卻完全無缺，有重新可能的。

熱的分類

我們以前已經討論過，熱是物質中分子的一種特別運動，因此物質雖在溫度降低時，亦能存在的。這種熱力性質的發見實在是近代發明中最有價值的

一種。

我們現在或者有一個疑難問題，要想問了，因為我們從前所講的，不是掛一漏萬，便是所用的字句不甚清楚。現在我們應該問的，就是：熱既然是物質中分子的一種特別運動，但在這汪洋空氣之外，我們與太陽之間，實在沒有物質存在的，那末太陽所供給我們的熱力，到底又從那裏來的呢？

答復這個問題的困難，就是我們從前所說的，文字上的含混；因為熱這一個字，有兩種不同的意思。第一種，牠是用來表明一個往來移動的特別運動的。第二種，牠是用來表示以太中一種特別的波浪的。這兩種不同的意思，不是三四句話，就可以說得清楚。如今暫且將第二種的意思，略略的講一下，使大家心目中都有一個大概的形勢，自然其餘就容易說了。第一種的意思，我們已講過了，此地可以完全不過問牠。

天地間無論有無物質的地方，總有以太的腳迹。以太能作成波浪。波浪的大小和形狀是不同的，但是牠們的性質，和往來的速度是一律的。我們的五官百體，往往能找出他們的幾部分，而給他們一個特別的名稱。



太陽 光線 穿過 火鏡 一般 的大 冰片 雖然 極冷 的風 熱浪 仍能 聚成 一點 使成 層或 木片 燃燒 起來

例如我們的眼睛能找出他們的一部分，我們就看見了牠，稱牠爲「光浪」。

此處我們四旁有些以太波浪，不是我們眼睛所能見，而爲我們觸官所能覺的，我們就不叫牠爲「光浪」，而叫牠爲「熱」或叫「熱浪」。近世科學上，都用一種特別名詞去表示牠，我們就可以說以太是傳導輻射的。在鋼琴的音調中，來比較以太的各種輻射，我們知道，輻射熱的位置正在輻射光之下。這兩種東西，根本上都是一樣的，分別的地方，不過像鋼琴上一個音調，和牠的第八音的比較罷了。輻射熱和輻射光，在以太中遊歷的速度，大約都是每秒鐘一八六〇〇〇哩。他們是同時從太陽中直達到我們身上的。

眼睛看不見寒暑表能覺得的東西。用一個三稜鏡，我們可以把太陽中來的輻射光，照着一一定的秩序，分爲若干部分。若是我們用一個寒暑表，放在鏡旁的黑暗中，在那裏就有一種眼睛看不見，而寒暑表中的水銀，能覺得的東西，那就是從太陽來的「輻射熱」。

現在若是我們追溯萬物都由太陽而來的根源，就可以知道熱這一字的用途，和牠對於別種東西所發生的影響。譬如有一個瞎子，或一個閉着眼皮的人，當太陽光線直射在他們面上的時候，他們是不會知道「光浪」只會知道有「熱浪」罷了。

太陽也是物質所構成的；而這些物質，又正像別的物质，也都是原子或分子所組成的。太陽裏這些東西，都非常的熱，他們的熱度，總要在幾千度以上。

太陽中活動的原子可以弄死地球上的人。太陽中的分子或原子，因爲往來運動的速率很快，於是產生熱

力。但是這種運動，離我們九千萬哩遠，何以我們在地球上，會受着牠的影響呢？因爲人有時竟會被太陽曬死的，也無非是那些分子或原子往來活動的結果罷了。我們對於這事有一種解釋，非單合於這問題，就是我們在房中生火，在相當的距離間，覺着牠的熱力，也是這樣的道理。

我們已經說過以太是無處不存在的。我們可以設想，這個地球和太陽，和其他各種的東西，都同埋於一個極深的海內，這海內的水，便是以太。太陽中的原子或分子，在這汪洋以太內往來運動，速度是很大的。於是以太所生的波浪，和魚在水內搖尾所生的波浪一樣。這種波浪就是「輻射熱」，從太陽中向各方面射出，周遊於以太洋中，不知有幾千萬哩遠，其中一小部分，才到了我們的地球上，使我們能够生活。

我們最可徵幸的，就是這種極有強大力量的波浪，在空氣中射來的時候，都受了空氣分子的阻力，漸漸的減少或消滅了。假使沒有空氣在我們上面，我們就沒有一個人能經得起太陽的光耀了。

太陽那裏來給予我們熱力的以太浪。當空氣或空氣下層的東西，如石和水等類，受着了太陽光線，又有些甚麼變遷呢？物體中所生的波浪，既然經過了以太會和其他物質相接觸，於是在這受接觸的物質之內，也就產生了一種同樣的波浪。所以太陽中物質所生的熱力，會使地球上的物質，也產生熱力。

這種效果，和電話的構造，有密切的關係。當我們對電話機講話時，就使機中鼓膜震動而產生波浪。這些波動是不能達遠的，可是他們在鐵絲中卻發生了電浪。這電浪不是鐵絲本質的波動，乃是以太在這線上的作用，與輻射熱或輻射光所生的浪是一樣的。在電話機的那端，也有一個鼓膜可以收受這些波浪。

從太陽中熱的物質所生的以太浪，一射到地球上就產生熱，這個道理也是和上面所說的一樣的。例如火鏡，能將日光聚成一點，將紙燒着。所以火鏡不單在我們看得見的光浪方面顯出功用，在我們看不見的熱浪方面也能活動；當紙受熱到某種溫度時，於是就和空气中的氧氣化合，我們就說牠燃燒了。

上面這幾句話，可見熱這個字有兩種意思；但是我們現在對於這個字已不是從前那樣含混了，我們已懂得紙中原子由特別的運動所生的熱，和不可見的以太浪所生的光，是大不相同的。而且以太浪在千萬哩外，沒有物質的空氣中，也能往來無阻的。

物質中的熱在兩種方法中運動着。關於輻射熱的事情，現在不必多說什麼了，因為當我們學光學的時候，我們總要提着他的。至於分子或原子的熱，就是物質中分子或原子的運動所產生的，也很重要，我們現在就再講講牠。

這種熱的運動方法有二種。我們既已曉得牠是什麼東西了，牠的運動方法，當然是容易了解的。我們可以用一鍋裏着的水來作一個實例。

我們可以想像，有一種特別運動，所發生的熱，不息的加到鍋底水的分子裏去。這些鍋底下的分子，因此就往上，上升的時候，當然就帶着熱力。所以現在鍋底下所受的熱，傳達到水面上來了。這種傳達法叫作「對流」Convection。這一個字雖然簡單，卻正可以表明熱力從一處傳到他處的意思。

物體傳熱正像蜜蜂傳着嗡嗡的聲音。若是我們平常注意那一種嗡嗡叫的飛蟲，我們就可以明白這種情

形了。飛蟲所作的嗡嗡聲，都因為他們的羽翼在那裏鼓動着，他們飛到那裏，聲音就響到那裏。所以我們可以想像物質的分子，就是這種嗡嗡聲。這種嗡嗡聲就是熱，分子到那裏，也就帶牠到那裏。倘然我們記得這樣了，那末我們再講到熱的另外一樣運動時，就不會混離了。

熱力對流法，對於人身固屬重要，而就地球歷史這一方面說起來，也是不可缺的。但是我們以上所說的，是限於流質，如氣體、液體的。因為流質的物質是流動的，所以能够帶着熱一同走。至於固體則不然，雖然熱度極高，他們的原子和分子可以往來移動，但是他們的位置總是不變。所以熱力對流法，在固體物質裏是不成功的，只有在流質物體裏，才能時常的進行着。這種著名的事實，可以用幾千種方法來證明牠。

被熱力所引起的海流和空氣流 說到鍋裏煮水的事情，鍋底的熱水，總是上升的。牠這樣做，就是因為鍋底的熱水，比鍋上的冷水輕。所以鍋底稍一加熱，足使鍋中全部的水活動，這種情形就可引用到汪洋大海的身上去，也可以引用到別種流質，像大氣的身上去。地球上所有的水，和地球外面所包含的空氣，各部溫度是不同的，所以對流作用就此發生。他們的結果，很重要，不單因為熱，可以從這裏傳到那裏，卻因為傳熱的物質也能够移來移去了。因此，海水所生的大流，和空氣所生的大流，風也從此發生。他們一直運行着，無時或息，如近赤道所發的「貿易風」就是一個好例子。這種貿易風命名的意思，就是因為古代的航船，藉這風發展他們的貿易的。至於貿易風的根據，就是我們現在研究的熱律。因為地球上熱帶所受日光，要比溫帶多，熱帶的熱當然要比溫帶烈。

熱帶的空氣，受熱力既多，牠的質量就必很輕，帶着熱上升。可是當牠上升的時候，在牠下面，就要留出空位，而有那些冷而且重的空氣從別處流來佔據着了。這樣的一升一佔，而就發生了從北面的熱帶吹來的北風，和從南面向熱帶吹來的南風。假使地球是不旋轉的，這些風就一定直北風和直南風；但地球是旋轉的，而且在熱帶各處旋轉的速度，比了兩溫帶還要快得多。

兩風相會商船航行 因為地球是旋轉的，所以風的方向也變遷了。貿易風本是從直南直北而來的，到底完全不同了。在北半球的，變為東北風；在南半球的，變為東南風。這兩風相遇於赤道一帶，因此中和了；從前商船的人，到了這裏，只好靜靜的等着。可是這種貿易風，在從前是很重要的，到現在卻用不着了，因為現在的商船已不要靠風了。不過他們對於熱的關係，仍舊是很有趣味的。

熱影響於海水的定律，我們是不可不知道的。流質的各部分，總會自由運動，因此他們所含的熱，往往在運動時就和別部分互相調和，成了對流的現象。熱而輕的那一部分，常常上升；重而冷的則下降。這和熱冷的空氣互相對流的情形是一樣的。

海水這樣的對流，結果就是：兩極的冷水，或溫帶上一部分的水向下沉着，向熱帶流去，而在熱帶上的熱水，就在水面浮往兩極去。

給予海洋生命的冷水 地球上這種水流，正像一股冷水，沖入了熱水池內，冷水就在池底流行着。海水中動物植物的生存，就是因為有這冷水。水在上面時，會吸收養氣，等到牠到了水底，就將那養氣供給海底的生命。

熱力對流法中，還有一件事，很有趣，而且有時很重要的。這事在平常的書中是找不着的，因為一般研究熱力的人，往往知其一二，就心滿意足，不再考求了。若是我們考察我們自己的身體，或者任何熱血動物的身體，我們就知道我們各部分的溫度是差不多的。

在血管裏流動的血正像在海裏流動的水。我們身體中熱的產生，並不是由於手腳的運動，乃是由於身體中幾種機關，和幾種肌肉的運動。那末這種熱力如何分配，因此使全體的溫度保持不變呢？原來牠的分配法，就是我們的血液循環，很奇妙的，完成了熱力對流的作用。至於身體的外部，要是沒有這個對流作用，就不能保持他們的溫度了；因為他們的失熱，要比受熱快得多。血液在體中是循環不息的，所傳達於四肢耳目的，非單是養氣和食品，還有許多的熱；當血液經過各種身體外部的血管時，他們所帶熱的，就送入了各部肌肉裏面，使各部都時常保存着一種舒適的溫度。

常在各種東西間往來不停的熱。現在我們已經完全知道熱力對流的方法了，熱力第二種重要的地方，就是「熱力傳導法」Conduction。這種傳導法在氣體，液體，或固體本體中，固然有效，就是這體到那體，亦是一例的。

依照平常普通定律，如有兩種物體，一熱一冷，則熱體比較所多的熱，往往向冷體中送入，直到他們的溫度平均了才停止。這種現象，好像高地方的水，因吸力作用，一定要向低地方流去，非到水平的程度不止。熱的情形，也是如此。所以每種物體，要是牠的溫度，比了牠四周的物質高，牠的熱力要平均分給他們，如水之就下，是不可

免的。

小孩的排列可以說明熱力的傳導。傳導和對流的區別，實在很大。傳導乃是熱力的互相授受，絕對不變。邊物質的位置的。這種情形，和排列成行的小孩，互相傳授一物一樣。物雖然已經從頭上傳到於末尾，但小孩的位置卻沒有動過。至於對流則不然。牠所傳授的東西，差不多就是第一個小孩送到末尾，所以他們的位置是不一定的。我們只要記好什麼是熱，就可以明白火棒一端各原子的運動，會漸漸達到他端，使他端的原子也起同樣的運動。熱力傳導法的性質，只能講到這樣，不能再深講了，因為我們對於物質中的分子或原子，到底是怎樣組合的，我們還不能確實知道。

但是我們能用許多方法來研究熱力的傳導法。第一件我們所知道的，就是各種物體傳導熱力的法子，是大不相同的。

平常一般人都知道，若是將火棒一端插入火內，則其他一端要覺得很熱。若是所用的是一條木棍，雖然將那一端燃燒，而其他一端還是冰冷的，即使木棍比火棒短，也是如此。這因為金屬乃是一個最好傳導體，如鐵的火棒等。在另一方面，為各種生物所組織的東西，傳導的力量，實在很弱。木棍乃是這一種東西所以他們的傳導力，不能將那端的熱力，送到這端。其他如骨角，羊毛，絲線，棉花，葛布，都是弱的傳導體。

為什麼血液一定要在血管中流動。我們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，使肝臟內和肌肉內所產生的熱，傳播到四體使各處的溫度，都處於一個平均

的態度。第一，先有血液的對流，然後熱力本着傳導的本性，由微血管傳進肌肉纖維裏去。

金屬雖然是極好的傳導體，但是他們傳導能力的強弱，也是不同的。大凡傳熱的能力強的，傳電的能力也一定強的，例如銅線等類。至於生物組織的東西，雖然是極不好的傳導體，但這個并不是他們的缺點，因為熱血動物的身體，本來需要一種特別不傳熱的組織，遮蓋他們的全身的。所以這非但不是他們的缺點，竟是他們的優點。

熱是怎樣行動的

我們已經知道，熱行動的法子大概有兩種：一「對流」Convection，二「傳導」Conduction。有一個著名的英國人德斐 Sir Humphry Davy 藉這兩種原理，就發明了「安全燈」Safety Lamp 這個東西。他所用的物質是金屬，因為金屬傳熱很快。

若是我們用一張鐵絲網，放在一個煤氣管上面，我們可以使火焰隨鐵絲網移動。我們先使這網離管口吋餘遠，讓煤氣從管內射出。我們就將穿過鐵絲網的煤氣燃燒起來。這時管口之上，鐵網之下，全無火焰，而且其間的熱力，竟不能使一根火柴發光。



發明安全燈的原理

牠的理由也很簡單，因為鐵絲是一個最好的傳熱體。這時燃燒煤氣所發生的熱，盡為鐵絲所傳播，所以鐵絲下面的煤氣，因為熱力不足，不能達到牠的燃燒點。用這種原由，德麥就發明了安全燈。自從有了這燈，也不知救了多少人的生命。這燈所用的燃燒物，還是油質，不過火焰上的罩子，不是玻璃的，乃是長圓形的鐵絲網。若是在礦內，有很危險的煤氣發生，當牠一經過鐵絲網而燃燒於燈內的時候，牠所發生的熱力，鐵絲網就會立刻傳開來，使燈外的煤氣沒有機會得充量的熱力而燃燒，發生無窮的危險。而且礦工見燈內有煤氣燃燒着，可以即刻籌備預防的法子。

可是雖有這種保險的安全燈，還不可靠。因為人往往有不小心的地方。若是稍不謹慎，或因鐵絲網破裂而不覺察，或因燈被風吹息，就劃火柴，因此便引起災禍了。

還有，礦內爆裂的事情，往往不由於煤氣這一種危險品，而由於礦內的煤塵。因為這種原故，所以必須要找一個比安全燈更好的東西。現在各礦中都用電氣了。然而我們不可因為電燈比安全燈好，對於以前發明安全燈救了無數人生命的大人物，就加以輕視。現在我們仍舊回轉到那另外一種熱的題目上去，這就是「輻射熱」。因為我們要討論熱力行動的法子，所以除卻「對流」「傳導」兩種之外，我們還要講第三種的「輻射」。若是一個十分炎熱的東西，不單對於四旁的空氣，用傳導的法子傳導牠的熱，而且也同太陽、火杖一樣，發生一種輻射熱，使牠自己的熱發散完盡。

輻射熱是在以太中成功波浪的。他們的定律，很是簡單，就是第一，他們前進的形狀也成爲一直線，和光的

發射一樣。第二，輻射熱與光線相同，能够從一個阻礙的物體面上反射，牠反射的定律，也和光線相同；而且從空氣入水中時，牠曲折的情形，也與光線一樣。

輻射熱的定律和光的定律相似的 因為輻射熱和光的相似，正如鋼琴上上一個第八音調所發的音，和下一個第八音調所發的音相似，所以我們說輻射熱的定律和光的定律相似，是不必驚疑的。

光，輻射熱，聲音，以及地球吸力，他們能力的大小，總隨着他們的位置而變遷，就是和熱源，光源，音源的遠近為比例。換言之，就是他們距離有兩倍遠時，則被熱東西的熱力，或放光東西的光力，或響東西的聲音，祇為原來的四分之一。若是他們的距離三倍時，那末這些熱力，光力，或聲音，祇為原來的九分之一；推而言之，距離七倍時，則為四十九分之一。

以上所舉的例，我們知道，四為二的平方，十六是四的平方，而四十九是七的平方。這是依數學上說的，凡某數自乘一次而得的結果，我們就稱牠是某數的平方。由這樣看起來，當距離增加時，他們的能力就減少，減少的數目，并不是和距離或比例，乃是和距離的平方成比例。所以一種東西相隔的距離七倍時，所得能力結果，不是七分之一，乃是四十九分之一。這種現象，并不是物質的能力漸漸散失了，只因為距離愈遠，則光力或熱力或其他能力所散布或包含的地方愈寬廣了。這種散布或包含的地方，無論熱力，光力，聲音，吸力，或其他東西，都是一樣的，所以我們說，他們的定律也是相同的。

管熱力的天然律 關於距離和熱力的結果，最相當的說法，就是能力的濃淡 Intensity，和距離成反比例。

所說的反比例，就是距離愈增加，能力愈減少。若是距離增加，而能力也隨之增加的，這時我們叫牠作正比例。我們知道，光是可以穿過一定幾種物體的。這些物體我們叫做「透明體」。但光既可以穿過某種物體，那末我們一定也就可以希望輻射熱有同樣的效果了。這種物體性質的專門名詞，我們可以不管。我們可以叫牠「熱的透明體」(Transparency to heat)。但是我們要記好，光的透明體，未必就是熱的透明體；熱的透明體，也未必就是光的透明體。譬如水可以讓太陽光經過，但太陽中的輻射熱是不能的，正像一個瞎子不能看見光明。

當輻射熱不能經過一種東西時有甚麼事體發生呢？在另一方面看起來，世上卻也有一種流質，可以完全使輻射熱透過的。物質和能力都是不減的，若是那物體不是熱的透明體，輻射熱當然不能通過，但所說的不通過，並不是說熱力從此失掉了。我們考察水的溫度，現在一定已經增高。若是熱的透明流質，雖然放在太陽之下許多時間，牠的溫度是絲毫不變動的。各種物體，對於輻射熱的性質是大不同的。如水會吸收輻射熱，而他種東西則會聽牠經過，而不發生甚麼影響，所以有一種東西會發射他們自己的熱力，而他種東西則不然。這種現象，多半以物體的表面為轉移，黑暗的常比光明的更會收熱。

為甚麼一種東西只在冷的環境中能輻射？大凡一種物體會輻射作用的，多半是為牠那冷的環境所迫的原故，因為環境的溫度比牠的小。若是環境比牠熱，牠不單不放熱，並且還要吸收環境的熱度。由此推想起來，我們知道，熱物體與環境的溫度相差愈大的時候，則熱物體放熱的速度愈快，牠變冷的時間亦愈短。

世界上的事，從來是不能無中生有的。熱的輻射，乃是以太中一種運動或能力。這種能力，既產生於這個物體中，這個物體必受生產的損失。所以各種輻射物體的溫度，總要降低，除非有一種例外的能力供給牠，不然，必繼續放熱，等到牠的溫度和四境的相等而後已。

這種事實，實在和現在的天文學有重要的關係。我們去研究行星的時候，我們就可以知道這種輻射的定律，怎樣的重要。

月球上從熱變冷從冷變熱的非常速度 月的體積很小，所以不能夠保存牠自己的大氣。月是赤體的東西，外面沒有什麼衣服，所以牠的表面，有一部分和太陽光相接觸時，這一部分就十分炎熱。可是當那一部分背過了太陽，頃刻之間，熱就揮發完盡，變成了極冷的境地。其所以然的原故，就是因為月球上沒有空氣，所以牠溫度的變遷這樣的快。照這一種情形，我們實在不相信月球上會有生物。假使有一些下等生物的，溫度變遷得如此之快，牠一定是生長在幽谷裏的，那裏或者有一少許的空氣存留着。

至於地球，也是一個行星，牠所得的太陽熱，當然也要向空中揮發。但是大氣對於這種揮發的影響，究竟如何，我們卻不可不討論。空氣中大概含着兩種氣體，養氣和淡氣，而淡氣約為養氣的四倍。

這兩種氣體，都是輻射熱的透明體；因此地球表面直接受着太陽光的炎熱，正和月球無異，而在晚間的時候，牠揮發熱力的速度，也正和月球一般。

水蒸汽在空中保護我們不至直接受太陽的炎光 空氣中還有一種很重要的氣體，我們以前已經說過的，

就是氣體的水，或說水蒸汽，無論如何，空氣中總是包含多少的。在前一段中，我們已經知道，水對於輻射熱，是不許通過的。所以無論水的變形如何，這種特別性質，是不能消滅的。有這一種東西在空氣中，差不多我們頭上重新添了一頂帳幔，可以遮蓋我們，保衛我們，不至受太陽炎光的虐待。而且不單是可以緩住上面來的炎光，就是地球本身熱力揮發的速度，也不至如月球上那樣的快了。所以溫度變遷得快的苦楚，我們是可以免掉的。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。

最後，我們可以將火星研究一下。火星上的熱量和變遷一定也是很和牠的氣和大氣中所含的氣體有關係的。經許多年的研究，和許多的疑難，我們纔知道，在火星上非但有大氣，而且還有水蒸汽的。這種水蒸汽，雖然甚少，也和地球上的情形相同，會吸收太陽的炎熱，也會緩住火星上面熱力揮發的損失。凡此種種事體，就發生了一個極有趣味的問題，火星上生物存在的問題，尤其是有理智生物存在的問題。

月球，地球，和火星，三種物體，與太陽及各大小物體都是很相似的，他們環境的熱度，都是比他們低些，所以他們要揮發他們的熱力。他們揮發的快慢，和他們體積的大小有關係。譬如一個圓形物體愈大，同牠外面面積比較的内部物質也愈大，因此牠所包含的熱必不容易揮發，就不容易變冷。此種理想，實在和事實相符合的，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。雖然在最初的時候，造成他們的材料的溫度固屬相同，爲了他們大小不同，就到了今日這種的境地。

氫和別種不燃燒而能放熱的原質，現在最驚人的大發現，就是有許多原質，雖不燃燒，雖無外界熱力的供

給，雖然他們的溫度，不從極熱而下降，他們卻也可以繼續輻射熱力，毫不中止，這種物質中最著名的就是銻；除銻之外，還有多種，銻不過是全組中的一分子。這些銻屬原素，都有各種奇異的性質；但揮發熱力的不息，實在是奇異中最奇異的，牠所發射的熱力，更不限於一方，四面八方都是相同。

自從銻發現了數年之後，一般科學家遂議論紛紛的說，到底銻的熱力，是從那裏來的？有幾個粗魯的人，毫不思索，就以爲這種物質可以推翻世界上「物質能力不能生滅的定律」。依此律所規定，凡一切能力，必不能無故產生，亦不能無故消滅，一切都不過是變遷罷了。許多人卻以爲此律雖爲現世界各科學的基礎，但從銻一方面想起來，就可以證明牠是不確實的，因爲銻的本身會產生熱力，日夜發射不息，並不需外界的來源，或外界的供給。

包羅萬象的宇宙大定律 假使銻屬原質，果有這種力量，能夠產生熱力，那麼無論牠產生熱力的量如何少，無論銻屬原質在天地間又如何的難得，牠一定推翻物質能力不生滅的定律了；而且根據這定律所發明的各種科學，各種學理，也必定要受一大打擊了。

我們有時說，例外的事也可以證明定律的。所以這極小的銻，竟可以推翻了以前一切科學的基礎。無論「能力保守」的定律是確實可靠，或者是無稽之談，然而假使銻真能於無何有之中產生熱力，則天地間一切自然物品，都可以拋之於無形無影之中，而環補的東西也完全要沒有了。

這種粗魯人所說的話，我們此時可以暫且不管他，因爲他們專與科學作對，而欲推翻世界上的真理。他們

這種思想，和自殺沒有兩樣。我們現在不可不研究的，就是熱的來源，因為牠必定是有來源的。但是各人的意見不同，現在還沒有到圓滿解決的地步。

許多人竭力想解決的銑的祕密，有一個大人物，和許多附和他的人都想，銑的熱乃是從空氣中得來的。空氣中的分子，常常跳舞不息，他們都含着一種能力；於是銑就吸收這種能力而變為揮發的熱。但是這個學理和各種相關係的原則，都把銑當作一個變形傳導體 Transformer，能將外界的光線，或波浪，或運動的能力變為牠本身的一種熱力，到底是完全不對的。

使我們對於熱力的意見完全變換的發現，現在我們已經找着銑熱的來源，並不是什麼外界，乃是出於牠的本身。牠發熱的原故，就為了一部分的分子和牠的全體脫離關係，而這些脫離的分子又分散成能力較小的分子，能力發出時所取的行動，便是熱。這種發現，在數年以前，實在是出人意料之外的，而在學術史上，牠的確可以算得一個新時代。

凡研究這種事實的人，都相信將來一定有一日，可以用人工去取出銑中的熱力，作為一種溫暖劑，或者用來作各種工作。這事雖然為期尚遠，可是總必有達到的希望。

將熱力做工作這個問題，暫且擱下，因為我們還有一種熱力輻射的事情要講，牠對於生長在半島上或小島上的生物是很要緊的，所以我們不應常忘了牠。原來熱力輻射的事實，天天會影響到住在島上的生物的。當我們研究普通天氣問題的時候，我們知道，天氣大約可分兩種：大陸上的，叫作「大陸天氣」(Continental Climate)，

海岸邊的叫作「海洋天氣」Insular Climate。

爲甚麼英國海島上的四季變遷如此舒緩？英國的氣候，就是海洋氣候，和別的海島一樣的。因爲牠四圍都是水，所以他們的空氣中，往往多含水分，以致他們四季的分別，不如大陸氣候那樣的嚴厲。他們的夏天不十分熱，而冬天也不十分冷，一年四季的天氣，沒有什麼大上下。

但是英國人還不知足，每每要怨天氣不好。其實英國三島的氣候，真是海洋氣候中的最好的，對於人民的生活和活動，有許多的利益。假使三島的氣候不是這樣好，那末英國人民，必不能那樣的有作有爲，英國商業必不能那樣的發達，英國的列祖列宗，亦必不能爲他們的子子孫孫建設那樣富強的國家。

他們所以會有如此調和的氣候，都托福於他們四圍的水，使他們托足之地成了海島。正是：

這一片如銀的海水，

做成了國外的長城，

室外的藩籬，

防止着不幸人的猜忌心。

水圍繞海島四周的影響 海洋氣候是完全爲了水的功效而造成的，因爲水性能够吸收熱力。這麼一來，海水就熱起來了。而且海水吸收熱力的本事很大，不單太陽中所發揮的熱盡數吸收了，即使空氣中的熱力，牠也往往會利用着傳導的法子，使他們的熱力歸爲己有。

在夏天的時候，海水要格外的熱些，一方面吸收着直接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，空氣溫度降低了，就在將冷未冷的熱空氣之下，灌輸到內地。

近海的內地，因此就有了溫和的夏季。要知道溫和天氣的實在情形，只要那些常住在這種天氣中的人，到與酷熱的地方去住上一年，就可以明白了。這種溫和天氣的重要原因，就是夏天太陽裏來的輻射熱和空氣裏來的傳導熱，一到了水裏，就都被吸住，夏天便不覺其熱，海水卻漸漸的熱起來。

爲什麼太陽不是最猛烈時候海水卻最熱呢？凡在海內洗澡的，都知道海水最熱的時代，不是在夏季的正中，而在數星期之後。所以洗澡或游泳的不在六月中旬，而在七八月之間，甚至在九月初。這些時候，太陽的熱度，已經漸漸失掉許久了。

一八七五年的八月裏，衛布 Captain Webb 從多維 Dover 游泳到加來斯 Calais，在二十二點鐘之內，橫貫了英倫海峽。他竟能踏着加來斯的沙灘，搖搖的走上了海岸。不到一九一一年，又有一個人也在這個月份也游過了這英倫海峽。這可以證明此時海水的甚熱。若是有人於五六月間能够在水內停留到這許久，怕還是一個可疑的問題罷。因爲那時的水是太冷了。

海水過了夏季的正中，正在漸漸的增加熱度，所以空氣中的熱度就不至使人難受。只有在秋去冬來的時候，太陽大大的失掉了以前所有的能力，水對於熱力的作用，才由吸收而變爲發散。因爲依照熱的定律，熱是一定從更熱處注到更冷處的。在夏天的時候，水比空氣冷，熱就由空氣裏注到水裏，在冬天的時候，空氣比水冷，熱

就由水裏散到空氣裏來。

所以在冬天的時候，尤其是初冬的時候，水中所蓄積的熱，就流入空氣中。二月間，若是我們要在海內洗澡，我們就可以覺得這時的水很冷。不過這時水雖然很冷，空氣這時卻很溫和；這樣，差不多就將夏冬兩種天氣平均着，使夏天不至太熱而冬天不至太冷了。

英國的天氣是根據着熱力定律的。由這樣看起來，英國的天氣，實在是人生康健及成功的要素，都是倚賴着熱力行動的定律，和水吸收熱力的性質。若是我們將別個地勢不同的地方，和這個四面皆水的島國相比較，就可以辨出他們的不同了。要事情講得清楚些，我們可以設想英國三島，不處於海洋的圍繞中，而處於大陸的掩護中，然後看情形是怎樣。

從經驗上看起來，我們中實在難得有幾個人能夠知道沙漠的情形，和地而上沒有水吸收空氣中熱度的景況。不過這是真的，倘若英國全島都為大陸所圍繞，那末在極小的時間內，就必有大變化了。今日的英國必不能再存在，其所存在的，必定是一個新國家，世上無人能夠認識的。他們夏天的天氣必十分難堪，因為從沙上，反射出來的熱，要盡數傾入空氣中，更沒有什麼東西可以吸收或蓄藏太陽所輻射出來的熱力。

為什麼他們不可以怨恨冷雨？英國的人民，常常抱怨他們那個地方雨多。可是假使他們所居的地方，果然易海洋而為沙漠，那末他們一定要很感謝天地，沒有將他們安置在一個缺少雨水，酷虐不仁，萎靡不振的夏天了。從另一方面說，如果圍在沙漠中，冬天一來，也一定要沒有蓄藏的熱力，來糾正冬天的天氣。那末今日的英

國，必不會再有，一二年之間，就要和他們所厭惡的氣候一同消亡。誰知這種多雨的氣候，卻是他們成功快樂的根據！

所以英國的人感謝海水，應該比感謝莎士比亞的Hamlet還要深切些。莎士比亞以後的諸詩人，果然作了許多詩，讚美他們的海水。到現在的時候，或者他們不會再怨他們多雨的天氣了，因為他們已經覺悟了。

熱力為我們所作的工作

我們知道，凡是熱的物體，其中總蓄有若干可用的能力。從前有一個大人物，叫作James Watt，看見開水鍋內的水，能够使鍋蓋移動，他由此推想，就發明了許多奇怪的東西。此種事實，實在是利用熱力能力的開始。水得了熱力成汽以後，就有一種能力，足以使鍋蓋移動，那末牠為什麼不能使一個繫於輪上的物體運動呢？要回答這問題，只要看現在各國利用的汽機就是了。

換一方面說，熱力既可以作許多工作，工作當然也一定可以產生若



這個圖示的是一個利用太陽工作的機器。機器是用幾百塊鏡子裝成的，看去好像一個巨大的燈，太陽的熱光被牠聚集，反射到一根大玻璃管上，管的頭上是一個汽鍋的裏面，水就化爲汽了。

干熱力。古時人們取火的法子，是將兩塊乾柴互相磨擦着，使他們發生火花。現在我們也可以將手向衣服上磨擦，而發生熱力，道理都相同的。

我們要燃着一根火柴，就是將牠磨擦一下，或敲擊一下，使牠的熱力足以發火。由這樣看起來，凡是我們所說的熱力運動，我們都可以使牠變爲平常的運動，如車輪的推行，鍋蓋的移動等等；而平常的機械運動，我們也可以使他們變爲一種特別的熱力運動。這種事實是很有價值的，爲着簡單的說明起見，可以用科學文字來解說。

拉丁文物質 Mass 這一個字，就是 Molee，從 Molee 這一個字，就造成分子 Molecule 這一個字。分子的意思，就是代表物質中一極小部分。一根火柴，或我們的手，或我們的車輪，運動時，我們可叫牠「物體運動」Molar motion。但是熱力爲物體各分子之原動力，所以我們叫這種熱力運動爲「分子運動」Molecular motion。所以我們可以說，物質運動可變爲分子運動，或分子運動可變爲物質運動。換言之，就是工作可變爲熱力，或熱力可變爲工作。

這種重要的事情，一定要懂得清楚的。熱力和工作聽起來極不相同的。由熱力而得工作，或由工作而得熱力，也是真的。可是有若干工作，可產生若干熱力，或若干熱力可產生若干工作，卻並沒有一定的理由，說明這種必然的關係。平常似乎只知道熱力與工作，二者互爲因果，要測量他們總有些爲難。然而倘然我們想像熱力是分子運動，工作是物體運動，那末這一種運動應該變爲那一種運動，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。假使不是這樣，就要弄到運動會無中生有，或運動會有中變無；我們可

以大聲疾呼的說，天下必無這種事體的。

以上我們所說的，乃是一種重要科學的大基礎，這科學我們叫作「熱力學」Thermo-dynamics。這種熱力學所討論的，熱力一方面和能力一方面的關係。這種科學不單是世界上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可消滅的宇宙，也有莫大的關鍵。

二千年後聰明的科學定律「能力保存」的定律，自熱力與工作的研究到極精密的時候，纔得成立。在那耶穌生以前，許多大思想家說「能力保存」的定律，一定是不錯的，但這時沒有確實的證明。到耶穌降生後十九世紀的時候，從一定量熱力中所得的工作，或從一定量工作內所產生的熱力確定後，於是這種大定律，才得完全的成立。

再後來我們就懂得牠的所以然了，原來其中的神祕，不過是將這一種運動變作那一種運動，正是我們現在天天所看見所做的事情。

在七十多年以前，有一個著名的英國人，名叫朱爾 Joule，在實驗上證明了若干定量的熱力，可以產生若干的工作，所以我們現在都將朱爾名字上第一個字母 J 去表明一個定量熱力內所產生的工作量。因此，我們證明能够使一磅水在華氏寒暑表六十度升高一度到六十一度的熱量，此種熱力，卻正等於將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有差錯，但就其大概說起來，這種關係是能存在的。

熱力變爲工作工作變爲熱力的方法 在這種科學上，第一條定律，就是熱力與工作間不絕的關係；兩方面可以互相變換。第二條定律，就是熱力只會從一種高溫度的物體傳導到低溫度的物體。

以上所引第一條定律，我們可以說牠就是「能力保存」的定律。第二條的意思，就是能力雖然可以保存，但在某種形情之下，才可以利用牠去做工作。因爲熱力雖是蓄藏着，但四旁物體的溫度，如果與牠都一樣，牠就不能流動，不能利用牠了。在實用上說起來，熱力不能不受損失；我們只要能補償牠的損失就是了。

各種機械運動時，牠就要發熱，這熱就被四週的空氣傳去。我們的身體，乃是一個活動的機械，他們失掉他們的熱力也是一樣的。凡是我們食品中所產生的化學熱力，或是機械的燃料所產生的熱力，都是漸漸的發散歸結到不可再用的地步。這種事實，乃是熱力傳導的普通定律。

我們要牠作工而牠必先發熱的機器 第一件事我們要考察的，就是看機器對用機器的人發生些甚麼影響。當我們用一種機器作工的時候，我們知道，我們所用的能力，祇有一部分變爲工作，其餘的就都化爲熱力了。這種熱力，非但無用，而且對於機器還要發生困難，因爲使他們溫度太高了，不便工作。還有，費用當然也大了，我們供給這機器以多量的燃料，牠所產生的能力，卻祇有一小部分變爲工作，其他大部分都化爲烏有了，在經濟上盤算起來，損失得實在很大。

現在的世界差不多都靠着煤炭的供給以爲生活，而且用得也很快，可是太陽所蓄藏在內的能力，祇有十分之一爲我們所利用的，其餘的都散入空中，無形耗費了。

現在世界將許多能力都擲於無用之地。現在世上傳導能力的法子，其中損失最大的，沒有像平常用燃料所生的火了。這種火所產生的能力，雖有一部分成爲工作，但是所消耗的，比了所利用的要大得多。要是我們將世上不論那一種正在作工的機器，加以考察，就可以明白一切。到底由熱力所生的工作是多少？所消耗的熱力又是多少呢？就是我們說祇有十分之一的能力變爲工作，其餘十分之九都是消耗了，也不爲過。

若是有一個人能够作一種機器，使牠所用的能力完全變爲工作，或二分之一，或三分之一，或四分之一變爲工作，這個人就一定要變爲世界上的大富翁。這個問題實在重要，現在世人的心血，都集中在這一點。他們常常用效力 Efficiency 這一字，去表明他們的機器工作的多寡；又常竭力研究，要減少他們能力的損失。雖然他們工作的進步，爲數甚少，或只有百分之一，但是他們還是要使機器所得的效力——即所用的工作和所產生的無用熱力的比例——逐漸加增。

我們肌肉中沒有人能够發現的能力的祕密。人身上的肌肉，實在是世界上最有效力的一種機器。但是牠所以有這樣效力的祕訣，卻還沒有人知道。然而我們的肌肉卻又不是將所有的能力，或二分之一的能力都變爲工作的；其餘的能力也要化爲熱力的。這種熱力和人造機械所產生的熱力有些不同，因爲牠能使我們身體常常溫暖。所以將此兩種效力比較起來，同是注重工作的有用和熱力的不浪費，那末肌肉機器比不論那一種人造機器要強得多，換言之，就是沒有甚麼機器可以超過牠的。

不過機器發生熱力這個問題，在人生實用方面固然重要，在另一方面卻尤其重要。原來並不是只有機器

常使有用的能力變爲不能再用的熱力，例如已經過磨坊車輪的水，不能使車輪再轉。凡是我們現在知道的種種能力變遷的事，也都是一樣的。

差不多凡是化學變遷所產生的熱，都是四散而無着落的。至於各種運動，除機器以外，也要因了磨擦的作用，變爲熱力而揮散。由這樣看起來，我們就有一種新覺悟，對於能力保存的事也可以相提并論，那就是說，世界上的能力雖然未嘗遺失，但對於我們人是很容易遺失的。

從太陽中往來的熱力永遠產生着工作。依照能力的用途，我們可以將他們分爲若干種類。分類的法子，常依着他們用途的寬廣爲上下。能力的最有用的列爲上等，無用的列爲下等。下等的能力，就是我們平常所說發散的熱力，對於機器，不單無益，而且有害的。所謂最上等的，就是太陽的能力。太陽的熱度比四周的物體都高些，所以常常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生的工作，正如在高地方的水，向低地流時，能做若干工作。不過因此我們可知道上等能力總是要變成下等能力的。

若是我們分一點時間，去想想太陽發射熱力的情形，我們就可以知道，牠有一部分的能力，變成了熱而流入無用之地，所以那最高級的能力，不免也變成了最下級的能力。不過我們不要害怕這種事實，因爲太陽所供給來的高級能力，是繼續不斷的。所應該知道的，就是這種供給雖然時間很長久，卻總還有停止的日期。現在我們已經知道「能力降級」Degradation of energy 這名詞的意思了，我們還要學習六十多年前克爾文 Lord Kelvin 開始應用過的一個名詞。這個名詞就叫作「能力耗費」Dissipation of energy。這是很容易懂

得的，譬如我們說一個愚人將他的財產耗費完了，就是說這個愚人將他的財產，東花一些，西花一些，毫無節制，到後來就弄得一無所有。能力的耗費這句話，也是和這一件事一樣的。

爲甚麼我們不能造一個真正完全的機器 在第一三四頁中，我們知道，若是吸引力的定律，沒有什麼反抗，宇宙間的物質，一定要漸漸的團結起來，成一個極大的固體的。現在講到宇宙間的能力也是這樣，依降級及揮發的問題說起來，將來的結果，一定是宇宙間的能力，都要漸漸降級，漸漸揮散，由有用的能力而都流入無用之地了。

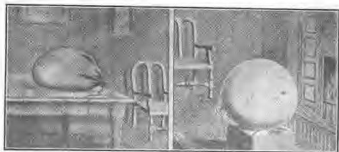
假使我們有一個最完全的機器，能夠將工作變爲熱力，復能將熱力變爲工作，則世界上的能力，必無散失的時候，可是世上必不能有這種機器的。克爾文說，就是宇宙這種好機器，在完全二字上看起來，還不能算一個頂好的呢！

能力本來有兩方面，牠卻時常偏向一方面了，那就是能力耗費或能力降級的一方面。要是這樣的一直下去，結果一定很可怕，正如我們只知道宇宙間有吸引力而無反抗力的可怕一樣。

宇宙間的慢起來 若是能力消耗這一種事實是確實的，則宇宙間的能力和運動必定要達到零點的地步，宇宙間將一無事情發生，成了一個死的宇宙。其中物質和能力或者仍舊有的，但是動作的能力已是沒有了。我們可以直接說，他們此時完全是無生命無運動的了。好像一個大鐘，在機器開滿的時候，自然與高彩烈的走着。但是發條總要鬆的，到末了只好停了。到這裏，我們又遇着了宇宙始終這個問題。因此，若是我們將太陽

系來說，我們就知道，因為現在太陽中熱度比較牠四周的行星高些，有熱力從太陽裏流傳到行星上，所以我們受牠的影響遂產生了無窮的生命。

熱力可使各種物體的膨脹情形



在這兩個圖中，可以看出氣體受了熱力所發出的影響。譬如有一個氣球，裏面祇盛了一半空氣，例如左圖這樣，若把牠擺近火爐旁邊，空氣受了熱力，就會漸漸膨脹，一直能使氣球破裂。



我們把一種液體，如加一炭醇酒精之類，盛入長頸瓶中，擺在冰上，裏面的液體便從S縮到v。假使把牠擺在熱水中，液體即向上升，一直可升到A點。



這圖是表明固體受了熱力所生的影響。大凡鋪設軌道，各軌道之間都有一種相當的距離，如圖中箭頭所指的處方，這就是預備他們通過熱力時所影響的。

依理想想起來，由「能力降級及耗費」的作用，太陽系和全宇宙，必有一日，種種能力盡數變為熱力，就此完全分散了。這或者就是宇宙的末日。

宇宙鐘的緊起來 在十九世紀之末，有一個著名的研究者對於能力耗費的原理，曾有下列的幾句話：「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，就是大自然的歷史或生命，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。」

但是我們研究這個問題，到了二十世紀的初年，我們所知道的，就比十九世紀一般人，更是深遠了，那時能真個知道這事的，只有一個人。

十九世紀，在思想界中，最出人頭地的要算赫賓塞 *Herbert Spencer*。他卻不為能力耗費說所鼓惑。他對於自然界深有研究，超過了古時天地終始之說，而以能力耗費說為不完全。他說：「天地間必另有別種特別的進行，足以為能力耗費的補助者。這種進行，雖然我們目力看不及，但是很確實的，牠要把愈走愈慢的宇宙鐘開緊起來。」

近來二十年中，這種能力耗費說，在一般學者心目中，漸漸失卻信用了。大家都相信着聰明智慧的赫賓塞所說的話，知道天地實在是一個完全永遠運動的機械，萬無停止的道理的。

我們研究這問題愈久，愈精細，我們對於這問題所得答覆便愈清楚，正和研究吸力的答覆相同。以前我們相信那種向一個方向進行的能力耗費，只有一半的真實，我們一研究「輻射壓力」Radiation pressure，我們就可以相信宇宙是能永遠繼續下去的。

恰正是一樣的方法，我們就發現了那反對方面的諸種進行，使我們相信上面那個最聰明人所說的話，就是宇宙是無始無終的。

我們已知道溫度對於各種物體，是十分重要的。因了溫度我們纔明白熱的本位 Heat level。凡熱力不同的物體互相接觸時，某物體中過度的熱力就要流動，而產生工作。溫度的不同，就是熱要流動的，流動時便會做事情。但是溫度的不同，究竟是一個甚麼東西呢？所說的溫度者，到底又是作何解說呢？我們一開口就可以作一個簡單的答覆，就是所說物體的溫度，是指那物體中所含的熱量。但是這種答覆，是不確實的。若是我們取一個定量的物體加熱，牠的溫度就要升高；這樣的溫度升高，表明了這物體內已含有更多的熱，這句話才是對的。

不過若是我們取一定量的水，使牠的溫度增高一度，所需的熱力還是有多寡的，因爲要看原來水的溫度如何，那就是水十分冷時，所需的熱力要多些，水十分熱時，所需的熱力要少些。由這樣看起來，許多冷水中所含的熱，比了少許熱水中所含的熱當然要多了，所以我們不能說，溫度這一個東西，乃是一件物體內所含的熱量。我們祇可想，溫度就如一個水的本位。即使是極少的水，由一個極高地地方落到湖中，總也含有一種湖內所沒有的

東西的。譬如牠使着輪盤轉動。溫度好像水的本位，對於熱量是沒有關係的，反不如極少許的水，和牠的能力倒有關係。少許水的能力，是許多湖水所沒有的，原因就爲了高低不同。所以一件東西的溫度，可以比一條瀑布的高度；溫度愈高，那末牠冷下來時所做的工作必愈多。

寒暑表 Thermometer 這個名詞，就是量熱器的意思。但是我們現在所講的寒暑表，雖然叫作量熱器，卻並不是量熱器，不過是最熱度的東西，想想水落到湖中，就可以明白其中的分別。要是有一種東西會告訴我們水落下來的地方的高度，並不告訴我們落下多少水的，那就像寒暑表了。所以寒暑表并不能告訴我們熱量，乃祇告訴我們熱的平位，就是熱度。

第一個寒暑表是蓋利略 Galileo 製造的，至今已三百多年了。這乃是一種空氣寒暑表，用一個玻璃管，一端放在一個玻璃球裏的。將這管加熱後，就倒插在水盆內，如圖中所表示的。球內被熱的空氣變冷時，水就上升。

球內的空氣被熱時，體積便擴大，位置便佔多，空氣冷時，體積便縮小，位置便佔少，水便在管中隨着上下了。

依管內水上升的高度，我們可以知道空氣的溫度。照以上所說的看起來，這一種寒暑表，又可以當晴雨表用，因爲水所以上升的原故，也有些是爲了空氣壓力的

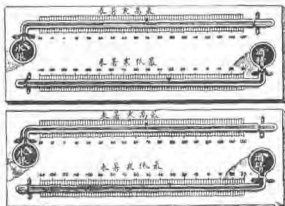


假使把一隻手罩着玻璃球的熱力，可使球中的空氣膨脹，但是手輕輕鬆去，空氣變冷，體積便縮小，所以水就從管中升上去。假使把手完全離開，把玻璃管從碗中取出，在管中的水受了外界空氣的壓力，便向上升騰。

作用。

因此這種儀器，沒有甚麼大用，因為牠所測的空氣溫度和壓力，到了一個甚麼程度，到底沒有一個人可以說得出來。最要緊的，就是應該當玻璃管被熱的時候，將另外一端也封了口，這樣，管內就不會受大氣壓力的影響了。這種製造法，在蓋利略五十年後才發明的。這時已不用水而用酒精了。一六七〇年才用了水銀。

若是我們要作一個平常簡單的寒暑表，我們可取一根精細的玻璃管，管的一端有一小球的，在球內和管的一部分內滿灌水銀，然後加熱，使一小部分水銀變成汽，逐出了管內的空氣。這時我們立刻就把管口封起來，使水銀漸漸的變冷。在這水銀之上，就留下了一部分的真空，水銀受了什麼影響，便可以自由的漲落着。依物體熱則膨脹，冷則收縮的普通性質，我們知道當水銀溫度高時，體積必然膨脹，牠所佔位置必多。反之，其所佔的位置必少。所以看了水銀在管內的高度，我們便可以知道空氣多少熱。換言之，就是管內水銀愈高，管外空氣愈熱，管內水銀愈低，管外空氣愈冷。



這兩個圖是表示我們最低和最高的寒暑表的。在上圖中最低寒暑表，恰降在三十二度，這就算他昨夜把指針，帶在那個地方，但溫度升高時，指針仍停在那點，並不隨之上升，例如如下圖。下圖中最高寒暑表，有一日譬如指針工升到七十度，但水銀下降時，那指針也不隨之下降，這指針就是指示我們最低和最高的度數的。

由這樣看起來，我們知道，這種升降卻和蓋利略的儀器相反。因為牠的寒暑表是看管內的空氣為轉移的，管內空氣愈冷，水銀柱便愈高。但水銀寒暑表最困難的事情，就是在刻畫度數的時候，因為我們必定要找着水銀柱在甚麼高度，恰恰適與某種溫度相符合。若是寒暑表上面所刻的度數不對時，也就是無用的東西了。至於溫度的變動很微小時，寒暑表尤其不可不精密。

醫生所用的寒暑表，一定要十分精密，因為他要找着病人血液中的溫度，這種溫度的變化是很微小的，然而稍一差錯，就和病人有莫大的關係了。所以現在除了平常極便宜的寒暑表外，其餘都費了許多精力，若干實驗，才得造成的。

熱與熱度

有許多熱的事實，我們應當知道。最要的一件事，是熱與熱度的分別。寒暑表的意思是量熱器。實際上，寒暑表不能量熱的絕對量；不過量牠的比較量罷了。量熱的比較量，就是最熱的平位 Level，恰像量器裏的水面高度一樣，我們祇知道器裏水的平位怎樣，至於井裏的水，或海洋的水，就不過問了。在這裏，我們祇要知道水在器裏的平位；水的分量多少不管牠。寒暑表也是這樣，祇求知道熱的平位，全不受有多少的熱量。不久我們便知道，熱的絕對量是可量的。不過想做到這層，須先研究「隱熱」Latent heat 的道理。

任何定量的物質，當受熱或放熱的時候，牠的熱度必有改變。這是熱學中一個普通的公例，事實上確是如此。

此的。可是我們要加熱到某物體上去，不能不使牠先變熱；要從某物體取出熱來，不能不使牠先變冷，否則就一定不能成功。

這個公例的可能，不難證明。並且牠與能力不滅的定律，毫無抵觸。設取在溶點 *Melting-point* 的冰，從外加熱，牠的熱度，毫不增加；又若有在冰點 *Freezing-point* 的水，夾着一點兒冰屑，我們能夠從這水裏取出熱量，使牠的熱度，仍不降低；或者再取水 and 冰的混合物，加熱或取熱，牠的熱度都不因此變更，臨了我們取沸水，在開口器裏裹着，慢慢的加熱，能够使牠的熱度仍在沸點，不因加熱的緣故，較前更熱，後來液體的水不見了，卻蒸發成了水汽，可是水汽的熱度，還仍舊和液體的水一樣。

上面所說的，無非說明隱熱的事實。水是這樣，別的東西也是這樣。我們從每項說明裏，看出一種現象，就是水的熱度是不變的；但牠的體態 *state* 是可變的。在第一例，由固體的冰變做液體的水；在第二例，由液體的水變做固體的冰；還有一例，是由液體的水變做氣體的水汽。

今舉隱熱的定義如下，雖句子很長，但示意很清晰。

「導入一定量的熱到一在某體態的物體上去，使牠變做另一體態，同時熱度不變；這所需的熱量，叫做隱熱。」上舉各例，適足說明這個定義。加熱於冰，冰化做水，這水的熱度，并不比冰的高。所加的熱，雖然似乎在無形中不見了，卻已變做了隱而不現的能力。隱熱的意思，便在這裏。英文 "latent" 一字，源出拉丁文，是隱藏的意思。

和隱熱相對的名詞是「可感熱」Sensible Heat。可感的意思，就是能用感覺覺得的。譬如加熱到一物體上去，使他較原物更熱，這便是可感熱。若加熱而不增加物體的熱度，這熱便是隱熱。我們須知道加熱不增加熱度的時候，物體的體態，必有改變。無論如何，所加的熱的去路，終可追究的。

克爾文 Lord Kelvin 是熱學中的泰斗，他能夠用簡單的字句，解釋事實。下面所述的，是他說明可感熱與隱熱的意義。

可感的熱與不可感的熱 「加熱於水，水的溫度增高。這所加的熱量，若我們把手放在水裏，便感覺得着。設有一盆溫水和一盆水與冰，我們把手先後伸入盆內，便感覺着熱度的高低。若把溫水傾入水與冰的盆裏去，攪擾數秒鐘的時候，倘所加溫水，分量不太多，不致將冰盡行溶去；那麼伸入盆裏的手，不覺得溫暖，祇覺得牠的熱度，和未加溫水前一樣。這豈不是溫水盆裏的熱度是感覺得着的，到了那盆裏去便感覺不到了？所以說牠變為隱熱，是很確當的。

隱熱的事實使我們能够量熱的自身。因為冰化為水而不變熱度，這冰的分量是可量的；并且溶去的冰愈多，所用熱量也愈多。熱量是怎樣用去的，並沒有什麼關係，我們總能够量牠就是了。某定量的冰，可用多量的溫水或較少的很熱的水溶化牠，使變為與冰同溫度的水。雖所用水的熱度不同，所加的熱量是一樣的。

一物體所含熱量和牠的熱度是不一致的。古時人，以為熱是一種液體的物質，取名叫做卡羅利 Caloric。量熱的器具，便叫做卡羅利 Calorimeter 計，即量熱器。我們總須記着量熱器和寒暑表是兩件絕對不同的

器具；一個是用來量熱的多少，一個是用來量熱的單位。

現在我們慣用卡羅利來代表一定量的熱，所以 Calorimeter 一字，不致更有誤會。說到隱熱，實在就是指熱的本身講。若是說夏天熱，這便不是說熱的本身，不過是說熱度了。

法國天文學家拉普拉斯 Laplace 和死在革命時候的化學家拉瓦節 Lavoisier 首先發明了量熱器；就是用溶去冰的分量，由這分量而量出熱的分量來。不過量熱不單是這一個法子，因為從冰化為水，所加的熱，固然是變為隱熱；由水變為汽，所加的熱，也是變作隱熱；那麼於量熱器，利用水蒸發成汽，所需的熱來量熱的分量，自然也是可能的。

測量任何物體所含熱量之法 我們也可以不用隱熱來量熱，卻取在一定熱度的水，或其他物質，注意牠的熱度所提高的熱量來量出來。

我們若以近代物質的觀念來說隱熱，便覺得「隱熱」一名詞，雖不無有保存的價值，但很能引起誤會。當着冰受熱溶成水的時候，所隱去不見的熱量，確已變為另一現象了；這現象就是使固體的冰和液體的水彼此不同的。這所謂另一現象，乃是液體的水裏面分子的運動。所以冰受熱溶成水的一回事，無非是熱的運動，變為水中分子的運動。水的所以能由固體變為液體，實在因為牠的分子已作液體的運動了。同樣，水受熱化為汽，所有隱熱就變成了汽的分子運動。水汽和其他氣體分子，運動得很快。這運動的一部，可說就是熱。氣體有較熱較冷的分別，便是熱的運動，有多有少。

熱的運動怎樣變作水汽的分子運動 水化爲在同熱度的汽，必須加熱；但汽中並沒有較多的熱的運動。所加的熱變爲另一種運動，水與汽即因此種運動而有分別。不過「隱熱」一名詞，仍不妨採用。此種隱熱的復現，或者就是此種特殊運動的復失，能使受熱的物質仍恢復原狀。

此外尚有一重要的名詞，叫作「比熱」的，我們也應當知道。我們試取一定量的水，和一同定量的其他物質，在同一熱度，加入一定量的熱；那麼這其他物質和水都要增高熱度了，可是水的熱度的增加，卻比較其他物質爲低。這句話只有一個例外：就是當其他物質是指着輕氣說時，水的熱度要比輕氣熱度增加得多些。除卻輕氣是例外不算，我們可說，使水變熱所需加入的熱量，比較加入於其他物質的爲多。由此而研究各種物質所需的熱量，與水所需的熱量相比，就有比熱 *Specific heat* 的名稱。爲便利起見，我們定水的比熱爲單位，就是水的比熱爲一。那麼其他物質，除卻輕氣不算，他們的比熱都小於一。

爲什麼同一熱量使這一物體較熱於那一物體 化學家曾發見各種物體的比熱，彼此受某種定律的限制。同量的熱加於同量的銅和鐵，銅所增的熱度不等於鐵所增高的；這類事實，並非胡亂湊巧的事情，確有一個定律存乎其間。原來物體的比熱，大都因牠的原子的大小和輕重而不同。若一種原質A在此，牠的原子既重且大；又有一他原質B，原子較小且輕，那麼這一定重量A物質中所含原子之數，必較同重量B物質所含的爲少。原子之數愈少，則每原子所有的熱量愈多；所以原子愈大，則受同熱量所增的熱度愈高。換句話說，就是原子愈大，則所需達於一定熱度的熱量愈少。

最適當的說法，是說：「一物體的比熱，和牠的原子重量 Atomic weight 成反比例。」這個定律，初聽着似乎難懂，但應用很廣，我們須得領悟牠。

茶壺久置不冷的原故 水有很高的比熱，在日常生活很為重要；這實在是這個化合物的一個可寶貴的特性。若我們用他種流質泡茶，或傾他種液體於滾水壺內，則可見茶和滾水壺立刻要變冷，不似用水的那樣能持久。水有如此高的比熱，是因為牠能够保持許多熱量，不使散失。定量沸水所含熱量，較其他任何同量又同熱度的流質所含的為多，正是因為水的比熱較高的緣故。使冷水受熱沸騰所需熱量，必較其他流質所需的為多；所以沸水含有很多的熱量；使牠變冷，當然需要很久的時間。

水能貯藏熱量給我們用 由上面所說的種種，可見水是熱量的貯藏所。無論茶壺裏的水，或環於陸岸的大洋裏的水，都是如此。我們由此可知海洋氣候為什麼勝過大陸氣候；若是水沒有偌大的比熱和偌大的導熱能力，那麼環着島嶼的水，斷不能造就海洋氣候了。

海水在夏天吸收很多的熱量，到了冬天，便用來調和冬天的寒冷，使氣候仍不失溫和。但同時海水也不因發散許多熱量來調候氣候的緣故，就冷到將要結冰地步。

在這裏，我們對於熱的研究，不得不告一結束。熱學一門包括很廣，不是短篇幅裏所能說得盡，並且因為牠在人生日用以及機器製造等等，均有重大關係，也非是一說便能明白的。

熱的定律對於人類一切頗為重要 世界一般人類，在牠的工場或摩托車的費用裏，總想節省一二文；少數

的哲學家很想知道自然界的法則和牠的進程。對於這兩類人物，最直接有關係的，恐怕要推熱學了。十九世紀最大的創作，是在熱的本質和熱的定律之發見。這些事情，以前的人都沒知道，或把事情誤解了。

這個發見，不是別的；就是物質不滅和能力不滅的定律 *Law of the conservation of matter and of the conservation of energy*。無論何物，無論何種能力，均能變更其狀態，譬如水變為汽，熱力加於汽鍋變為汽力，但物質或能力，始終不能增加，也不能減少；不能無中生有，亦不能有歸於無。這個定律在科學上很占重要的位置，古代的人也未嘗沒有這種懸想。二千餘年以來，人類的思想，於此都前後有設想或猜擬的解釋，但所說的，無從證實。遲到耶穌降生後十九世紀，方才有確實的證明。德國的許多大科學家和英國的克爾文，都研究熱的定律，就求出了熱和他種能力，有互不相變的關係。他們的苦心研究，使能力不滅的定律，得有事實上確切的證明。

熱與能力永不消滅說的發見 熱這樣東西，古人認為和椅子是一件東西的情形相同；其實不然，熱不過是一種運動。若是能力不滅說是靠得住的，那麼由熱的運動變為他種運動，不問如何變法，牠的結局必沒有一些兒東西失去，或加添了一些兒東西。所以這種發見，是當然的事實。熱和工作有相當值，於此便可證明了。

因化學作用所發生的熱量的發見，例如爐火取暖，或者在別的化學作用裏，熱用過了便不見，都是很重要的事實。這裏生出的熱和失去的熱，都有來路和去向，并非憑空有得有失的。這也可證明自然界是不容一些兒物質消滅。

聲浪

我們學習光學，已知道想看得着光，不單要有在我們身外發光的物體，還要有眼睛來看這物體。若沒有眼睛看，自然界當然是一片漆黑的。同樣的情況說去，若沒有耳朵聽，那麼月明星稀的天空，顯着深夜的寂靜，是永遠寂靜永遠無聲的。我們現在要研究一樣身外的東西，對於牠我們的耳朵是能反應的。我們稱這東西叫做「聲音」。但是在沒有耳朵聽着的時候，便沒有真正的聲音了。

光是一種浪動 Wave motion，聲也是如此，所以有些關於浪動的事實，可以為光與聲所共有；不過除卻這種共有的特性說，聲的浪動和光的浪動卻又有很大的區別。凡能够傳達或遞送他物的東西，我們都叫做牠【媒質】Medium，便是中間媒介物的意思。聲音和光及輻射熱不同，因為牠是在有形體的媒質裏的一種浪動。這媒質通常就是空氣，但是無論那種氣體，或氣體混合物也能够充作聲音的媒質，又如液體的水，或固體的物質，也可以傳達聲音。



這圖是我
示音波速
率的假使
取三口鐘
一口放在
空中敲，一
口放在鏡
面上敲，一
口放在水
裏敲，把他
們同時敲
着，就可以
試出如圖
中這樣速
率不同的
音波來。

沒有物質，便沒有聲音。因為聲音和光不同，牠是不能由以太 Ether 傳達的。所以太陽和月球裏的震動，我們在地球上一點兒聽不着；因為在大氣層 Atmosphere 以外祇有以太，以太能傳光不能傳聲。我們說聲音是一種浪動或擺動，這句話祇要你曾經注意到發音時候有什麼現象，便知道確是如此。譬如兩手緊拉着繩的兩端，突然向繩上拖擊一下，繩子便發出極微的樂音，當牠發音的時候，可以看見繩子是擺動的。

鋼琴的彈簧，也是如此。又如把手觸着正在發音的鐘或鈴上，我們能夠覺得牠是在那兒振動。又如玻璃盃被敲了，便發出聲音，我們以手指撞着牠，使振動停止，若是牠的聲音是由於振動而發，那麼這時候聲音也同時消滅了。

每當着絃索或鈴振動發聲的時候，空氣受着牠的打擊，便生出一陣空氣的波浪，傳到我們耳朵裏，變作聲音。想證明聲音是由空氣傳達不是由以太傳達，並非難事。我們放一個電鈴在抽氣機的玻璃罩裏，開着電流，使鈴響不歇，再由抽氣筒把罩內空氣抽去。當我們抽氣使鈴的四周空氣漸漸減少的時候，我們仍可看着一個清清楚楚震動着的電鈴，因為我們能看，全靠着光，光是能夠由以太傳達的；但是電鈴的聲音，便漸漸低弱，末了竟完全不響了。電鈴仍舊在那兒振動，只因為牠四周沒有空氣，就不能產生聲浪，傳到我們聽官了。要是再把空氣慢慢的送進，牠的聲音便漸漸回復過來。這個簡單的實驗不但教我們知道傳達聲音的是什麼東西，並且使我們知道聲音的高低，是大部分看空氣的情形而定的。

我們若有機會來比較光與聲的速率，便可知彼此有很大的差異。遠處放礮，我們看見煙火噴出，幾秒鐘

後，纔聽着炸裂的聲音。光進行極快，在任何遠距離的地方放礮，我們總能在一千分之一秒內看見火光。但聲音進行則較慢，牠的速率是不難測定的。

爲什麼聲音有時進行較快有時較慢？光和輻射熱的速率，依我們現在所知道的，他們在無論何種情形之下，都是一樣；但聲音便和他們不同，因爲聲音的速率，是隨不同的情形而變的。

在音樂中，聲的速率，因牠的高低不同，稍有差異。譬如聽管絃合奏的時候，笛子的聲調高銳，覺得比其他低的樂音，早一點兒聽着；或者數人同唱一歌，歌中尖銳的聲音，每有數人音較低的音來和着，唱歌人們的用意，是要使聽歌者同時聽着兩種高低不同的和音，但我們若仔細聽他，便覺得高音和低音並不是同時聽着，彼此總得相差一極短的時間。

聲在空氣中通常的速率，約爲每分鐘一千一百呎。當空氣的熱度增高，空氣的彈性 *Elasticity* 也微有增高，遇着聲浪的打擊，反動較易，所以聲浪穿過空氣，也得容易些，因爲聲浪的傳播，全看空氣的彈性怎樣，彈性高便容易傳過，否則較難。這麼說來，若是空氣的密度是到處一樣的，那麼聲音的速率，是跟着空氣的熱度增加的。若我們懂得彈性的定律，便可知爲什麼聲音在液體裏比在氣體裏走得快，爲什麼在固體裏更快。

爲什麼聲音在鐵中傳過較在空氣中爲快？金屬中的鐵，在牠爲固體的時候，牠的彈性比空氣大得多了。聲音經過牠的速率，較經過空氣有十七倍快。這是指着同一種聲浪，經過空氣，進到固體的鐵裏去，再穿過鐵復到空氣裏說的。在這裏不免把速率的意思弄混了，所以必須略爲說明，便是樂音調子的高低，全看一秒鐘內打

擊耳鼓膜的聲浪數目的多少而定。聲浪在空氣中每秒鐘進行多少遠，卻又另是一件事情。

某種聲浪由鐵傳達的，達到聽官較由空氣傳達的快十七倍，但牠音調的高低，不問是由鐵或是由空氣，都是一樣的。因為雖是牠在鐵裏進行很快，牠在每秒鐘內振動的次數，是和空氣裏一樣的。

我們着手研究聲音的大小，便知道牠的第一定律，是和他種浪動（譬如輻射熱及光）一樣的。這定律不限於浪動，譬如地心吸力，也合於此定律。

爲什麼在清朗有霜的夜裏聽音清晰，用科學的正確說法，這個定律是：「聲音的大小的變化，和距離的平方成反比例。」譬如我們離發聲地方的距離較第一次有三倍遠，我們聽着聲音的大小，並非爲第一次聽着的三分之一，乃是牠的九分之一。九是三的平方，平方即爲某數自乘所得的數。

地心吸力和光，也是依着這個定律。不過在聲音方面，煤質的密度怎樣，是很要緊的。在有霜的夜裏，空氣是很濃密，所以開駛摩托車較易，因爲機器裏有充分的養氣供給牠。聲音在這種夜景裏，聽着更加響亮，也是因爲空氣濃密的緣故。若是在山頂上空氣稀疏的地方放礮，我們聽着，好像是一聲爆竹。我們若聯想到電鈴與抽氣機的實驗，便懂得這個緣故了。

在海岸上，我們看見白浪捲起，向防水堤或岩石上攔來，通常散成了浪花沒去。但若岩石的表面是平坦的，浪來了便反折轉身，好像皮球打到牆上，自己仍離牆彈起。所以要是聲音真是一種浪動，我們便可設想聲音遇着障礙物，也會和水浪一樣的，反折轉身。事實上聲浪確是這樣的。

聲浪怎樣被牆壁折回 各種浪動，都能反射。聲浪，光浪，輻射熱的浪，以及水浪都是這樣。有許多定律，說到這各種不同的浪動，第一定律用科學的文字表出是：「射入角」Angle of incidence 和「折出角」Angle of reflection 相等；換句話說，便是浪達到一平面所成的角度，和牠離開平面時所成的角度相等。

彈子筒裏所打的彈子，和向牆上拍的皮球，都可用來證明這個定律。我們用皮球向牆上直打，皮球也直直的振擊回來；若是斜打，牠也斜斜的離開牆壁。若是牆壁和皮球的表面都是光滑的，我們可量得射入角確等於折出角。聲浪，光浪，和輻射熱的浪都是這樣。不過我們須留意射入時的面和折出時的面是同一的。

例如聲浪沿着這張紙的平面進行，斜擊在紙邊的牆上，這聲浪不僅依達到牆時同一的角度折回，並且仍沿着紙的平面進行。

雷聲發自雲端怎樣被地球折回 我們都知道聲音發在空曠地方的和在屋子裏的不同。我們的聲音，因發音地方不同，很有差別。這都是聲浪反射的緣故。但最顯著的事實，便我們承認聲浪反射的是回聲 Echo。我們想測定聲浪進行的速率，有一個粗簡的方法。離折聲面 Echoing surface 一定遠的地方發聲，測定到聽着回聲的時候，須多少時間。在自然界中，也有許多回聲的現象。最好的例子，是雷霆的回聲。

雷的生成，是由於閃電經過，由雲到雲，或由雲到地，空氣受着激動，便發聲音。若是沒有回聲，我們就祇能聽着一響雷聲，確正等於一閃電所生的空氣激動。實際上卻不然，我們聽着的雷聲，總是轟轟不絕，這是由於這一響雷的聲浪，從雲到地，反折不息，所以成了延時較久的回聲。

大廳四壁所生的音樂的回聲。在演講廳或唱歌的會堂裏，回聲最妨害聽衆。我們能够高高興興的聽演講或聽音樂，全靠沒有回聲。例如在倫敦的一個有名的某會堂裏，幾乎不能暢適的聽音樂，因為牠那高大圓環狀的牆壁所發的回聲，真討厭極了。

所以當奏鋼琴的時候，彈簧一撥，全室裏都聽着連湊的音樂，前斷後續，總覺得音調不純。無論如何，音樂的美處，不免受回聲糟蹋一二。不善鋼琴的人，屢撥高音，并延長按鍵時間，更足使音樂減色不少。

在大集會或音樂會時應記着的事情。回聲的壞處，在聽演講的時候，更覺可厭，因為我們必須聽着發言者的一字一音才好，若有回聲，便前講後應，聲音嘈雜，聽不清楚了。四壁掛着的簾幔或圖畫，都不善於反射聲浪；橫於室中的鐵絲等，能够衝破聲浪，至少天花板上不致有回聲；這都是能補救回聲的方法。

現在法國人很考究這些事情。他們以為建築大講堂或音樂廳，必須利用回聲，正不必免去牠。譬如在美國紐約城的卡內基廳 Carnegie Hall，四壁離演講者或奏樂者很遠，聲音反射，需較多的時間，所以能够聽着清晰的回聲。但若發聲的地方，離牆壁很近，例如在許多小禮拜堂裏的樣子，聲音的反射極快，回聲與原來所發出的聲音相合，使牠更為清晰，我們倒反不覺得回聲的擾亂了。

兩人相距一英里能彼此談話。據說曾有兩個北極探險家在相距一英哩的地方，彼此談話。他們的聲音，是由北冰洋中平滑的冰山把牠反射過去的。

聲浪的反射，在我們用着喇叭式的東西的時候更覺其重要。動物的耳殼（或外耳）或驢子所用的耳套，都

是利用聲浪的反折，以收聚聲音的。他如海船上所用說話的喇叭 *Speaking-trumpet*，或開大會時所用的喇叭，以及留聲機上的大喇叭，都是利用聲浪的反折，來助長聲音的。

我們知道光線不僅能反射，且能屈折。用老光眼鏡在日光裏燃煙捲，便是光線在眼鏡片裏屈折，羣聚一點的緣故。聲浪也能屈折。光的屈折很為重要，我們將來還要仔細的研究牠。至於聲的屈折，實際上殊無關緊要，不過牠可以示我們關於浪動的事實，卻是有趣的。

搖擺的氣球與時辰錶的實驗 試取一氣球，充滿着碳酸氣（即炭養二 CO_2 ）。這個氣球對於聲浪的作用，和透鏡 *Lens* 對於光的作用一樣。聲浪被氣球中的碳酸氣屈折了，羣聚於氣球他方的一點。這點恰像光線經過燃物鏡 *Burning-glass* 聚集於焦點的一樣。

累力 *Lord Rayleigh* 有一個著名的聲學實驗，證明了聲浪由空氣傳到碳酸氣，會發生屈折。我們可對着一個時辰錶遠站着，以聽不着錶的聲音為度。若把充滿着碳酸氣的氣球，在觀察者與時辰錶間來往擺動，又若我們觀察者所站的距離恰當，那麼當着氣球擺動到中間聚集了諸聲浪的時候，我們就可以聽着錶聲的滴滴。

樂音與噪音

我們知道聲浪是一種浪動，所以和海浪或光浪，有許多相似的地方。現在再研究聲浪究竟是甚麼一回事，我們一起首便知道聲浪確有許多特性，和他種浪動不同。

就海浪說，浪頭沿水面進行，但生成這浪的海水，並不僅有沿着海面進行的浪動，此外還有上下的運動。以我們肉眼看去，固然祇見海水隨波下流；但實際上並非這樣，浪是隨海面流去，海水本身祇有上升或下落。

適當的說法，是說：「海水的擺動是和海浪的直線成直角。」海浪依某方向進行，生成海浪的水的分子，卻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，乃是一下一上的。這種擺動叫做「橫擺動」(Transverse vibration)。將來說到光浪，我們便知道牠也是一種橫擺動。但聲浪便不是這樣了。聲浪的一大特性，是在牠的媒質(譬如空氣)的運動，不和聲浪的途徑成直角；媒質的質點，祇沿着聲浪的方向來往運動。我們試設想擺動的弦索，或敲響的鐘鼓，在他們附近的空氣，受了一陣陣的激動。或可設想我們以手握拳，在空氣中一伸一縮，使空氣受着一陣陣的打擊。

聲音的生成，便是這樣。當着空氣受打擊的時候，牠便臨時壓縮起來。因為空氣是有彈性的，所以在兩個打擊之間，牠能復回原狀，如是空氣中一疏一密相間起來。空氣的質點，在這兒來往運動，使成聲浪。所以空氣質點的擺動，是沿着聲浪的方向，來往不息的。這種擺動，叫做



假使音叉頭上縛了一針，那音叉是安在一個木棍上的，把牠敲了一下，震動的針就會把那漸漸轉着的圓筒上的圓筒上畫成一條波動的線。

【縱擺動】Longitudinal vibration

縱擺動很容易設想得到。若如水浪的橫擺動，浪的進行爲一方向，水的分子的進行又另爲一方向，便覺比較的希望了。

一個用彈子的遊戲指示我們聲浪是怎樣進行的。試擺一系列的彈子在彈子檯上，彼此相接，再擊一子，滾擊在一端的一彈子上。這列彈子均受壓迫，各傳達壓力到其次的彈子上，末了，牠端的一彈子受了壓力，自行射出。那麼各個彈子，都陸續受了壓力，卸去壓力。當着聲浪經過空氣的時候，空氣的小分子，好像這裏的彈子，彼此傾壓，而成來往的運動。

聲浪的本質，如上所述，我們不再說牠。現在急待解決的第二個問題，便是樂音與噪音究竟怎樣分別他們？或是在近代音樂裏面有許多不合的音調，許多轟轟的聲音，那麼樂音和這種轟音，究竟有什麼分別呢？

樂音與噪音，並沒有絕對的界限。有些音調，或合奏的音調，在甲聽着以爲是一種樂音，很悅耳的，在乙聽着，也許毫不感着愉快了。但無論如何，我們可說多數人承認爲樂音的和多數人承認爲噪音的，兩者不同的地方，是在聲浪的有規則或無規則。

音樂的階式 音樂隊奏樂，往往有各種聲音合着，牠的聲浪是有規則的，也許是無規則的。小孩子的耳朵，或不會賞識音樂的聽官，聽了這種管絃合奏的音樂，以爲是噪音。但經音樂家聽了，便知道所發的聲音，確是一種有規則的聲浪，有一定的階式。此外尙可說聲浪大部分有規則的便是樂音，大部分無規則的便是噪音。近

代音樂隊中所敲的銅鼓或金屬樂器，聽了不會生厭，便是因為樂音噪音配合得宜的緣故。

我們不知道為什麼有規則的聲浪發音悅耳，也不知道為什麼無規則的聲浪發起音來聽了生厭？但大概想想似乎是因為聲浪既有規則，牠衝動到腦部司聽覺的神經細胞上，也許是有規則的，也許因此就覺得舒服了。

噪音與樂音的大分別 我們可設想噪音所以聽不悅耳的緣故，是因為腦裏的神經細胞受了這些不中節的衝動的騷擾。腦裏承受這種刺激，好像失了常度，所以覺得不舒服了。

我們可以拿小孩子來比仿神經細胞。小孩子睡在搖籃裏，我們一來一往的搖盪他，小孩子祇覺得週身適意。若抱着他，打他幾下，或拿着他的手，用力搖擺，他便覺得很不舒服了。樂音能夠安慰神經細胞，好像撫慰小孩子睡覺一樣。噪音能夠騷擾他們，使他們不舒服。

實際上這兩種聲浪對於我們神經細胞的感觸，確是這個樣子。不過噪音既然是一種不規則的聲浪，就沒有確定的事實可以研究，我們無容再多談牠。關於樂音，便有許多可討究的事實。此刻不妨把噪音的又一特性說說，這特性便是使他腦筋很不提防的受了刺激，叫聽者有所戒備。獸類中每靠噪音察探敵人，或其他危險事情的發生。

為什麼低微的噪音聽了害怕高大的噪音便不是這樣。最可驚怕的，是獸類寂靜的步驟。他們是靠捕捉別的動物而生活的。他們竭力使行走所發的噪音非常低微，叫別的動物察聽不着。噪音對於腦筋的影響最顯著的是牠所含着的戒備的性質。我們無意聽着噪音，和預知噪音而聽着的，所受刺激很有不同。

我們突然間聽着日常視近的人發聲，或彈鋼琴的時候房門忽然開了，都發生一種不能自禁的驚訝。但是走過工場的機器間，或聽着轟轟，卻覺若無其事。這都是因為有提防和沒有提防的關係。

我們現在要說到樂音了。樂音最簡單的，並不最有趣，樂音的最要區別，在牠音調的高低不同；牠的情形卻大概和噪音相同。

聲音的大小視聲浪的大小而定。發出聲音的浪的大小，可以定聲音的大小。但我們在這裏每每不說浪的大小，而說浪的振幅 *Amplitude*。浪的振幅愈大，則聲音愈大。若拿水浪來比聲浪，那麼微小的聲音，正好像水面上的小小波紋；很大的聲音，正好像如山的海浪。但我們要知道所謂聲音的大小，不是僅指耳外的情形說，聽官的感覺怎樣，也得顧及。我們聽着許多高低不同的音調，牠的聲浪的振幅雖是一致，但在高調的聲音較高，在低調的聲音較低，大小卻不一致的。所以在振幅不變的時候，聲音不盡是同樣的高低，是要隨樂調之高低而變的，而且高調的聲聲要格外大些。換句話說，即我們的聽官，對於高調較易感受。

若從音樂上講，這層很為重要。我們聽各樂合奏或鋼琴的時候，總不免對於高銳的音調更加注意。

為甚麼高調常較低調悅耳 譬如最低音 *The basses*，中音 *The tenors*，和上次中音 *The contraltos*

等都能組成樂聲，不讓於最高音 *The sopranos*。但我們聽着，總覺得最高音悅耳得多。所以最高音往往用作一折樂曲的正音，而低音用來和翕牠。

彈鋼琴的人常常右手用勢很輕，左手撥鍵較為用力，也是迎合這種聽官的趨向。

但是就引起驚訝的作用說，低調反比高調有效。尖銳的笛聲使我們所起的驚訝遠不如遠雷轟轟的利害。小孩子們常常因聽着低調的聲音而生恐嚇。這是什麼緣故，很難確定。或者是因為低調的聲音和獅狼的吼音的聲調差不多，所以有這種影響，也未可知。

怎樣在紙上畫出聲音的圖樣 以上所說的都是聲音的大小，現在且談談聲調的高低。聲調的高低，是因一定時間內達於耳官聲浪的數目的多寡而定。欲證明此層，并非難事。試取一音叉 Tuning-fork，使其振動，以小針附於音叉的一端；再以塗上煙煤的紙接近這枚小針，使彼此撞着。小針當音叉振動時，把煙煤擦去，成一個一下一上的曲線。於是我們實際上可數出每秒鐘某音叉的振動次數。并且由此可以知道振動次數多，則聲調愈高。

音叉漸漸的不響了，聲音漸漸低了，但牠的調子仍是一樣的。因為牠的振幅漸漸變小，振動次數並沒有變更，這可由紙上所得的浪紋察出。

警笛的聲音每秒中振動三萬次 每秒振動十次，簡直不成聲音。到了十六次，便可察得牠是極低微的調子，我們若把振動的次數增加，聲調便漸高，到了頂高的聲調，便是警笛的聲音。牠每秒鐘振動三萬次，或尚不止此數。年高的人，耳官失聰，對於這種高調的聲音，很不易感得。三十多年以前，哥爾通 Sir Francis Galton 用最高調的警笛聲音，來試驗動物的聽覺，其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。

神奇的音樂

音樂雖說是一種賦有美感，能感動心性的藝術，卻是一種根據聲學上完備定律的專門科學。我們或者學過賽林 Siren 的，很可以襄助我們研究和音 Harmony 這一件事。

古時的音樂，完全都是旋律 Melody 組成的，旋律便是指一種曲調常是很簡單的，每一次發音祇有一個音調。我們知道，有時兩個或兩個以上的音調同時發出，聽着是很悅耳的；也有時聽見是很感不快的。這種能令

我們聽見了悅耳的聲音，我們叫牠「和音」；能令我們感不快的，我們叫牠「乖音」Discord。

現代音樂的進步，大部分都是靠着和音的進步，近來醉心音樂的人，都不願再受旋律的限制，目下已經能够安插許多和音進去了。

假使能够發現，如何便構成和音，如何便構成乖音，這是一件極有趣味的事情。和音與乖音的分別很大，我們的耳朵一聽，便能分辨出來，我們決定有一種規律在物質上可以影響於聲的天性的，只要我們能找出這規律來。此外，我們有好些種類的和音，他們的音調一齊發出來時是十分相同的，甚至會使我們不說他們是和音，這也是一件很有趣味的事實。譬如舉個例來說，鋼琴上的一個 C 音，和高音及低音的 C 音，本不是相同的音調，但是他們的聲音是很相似的，當他們同時發作的時候，我們留心去聽牠，好像他們就是一個聲音，不過是較為宏亮些罷了。

現在我們或者很容易要猜想，各音調的相像，似乎是根據於他們的彼此相近。但是一個C音和別個C音發音很相同，甚至和二三度音階後的C音也很相似，卻和牠後面的B音，或剛音的C音絕不相同。這種事實，當我們同時發出兩個相近的音調時，便可以注意到。所有的聽官，對於這種說法，總是很贊同的，那末這件事實總必定有個解釋的。

假使我們做一種新式的賽林，和一位德國學子所做過的一樣，用四組小孔來替代一組小孔，每組的小孔數目是不同的，我們就有一個『多聲賽林』“Many-voiced siren”，因之而便得一種很便利的方法，來研究和音。和音是一個已經有若干著作討論過的題目。

牠和岩石及星辰的研究一樣，已經自成爲一門科學，倘有人要詳細去研究牠，也非竭他舉生的力量不可。但是關於和音的最初步的重要事實，人人卻都能知道，和音和乖音的分辨，也是人人所能知道的。

爲什麼兩個離開的音調所發生的聲音恰恰相同，我們能够使多聲賽林，發生出兩個音調來，一個的吹氣數，等於其他一個的二倍。吹氣數的實際多寡是沒有關係的，那就是說，無論那調是高調，或低調，是沒有什麼影響的，只要一個音調的吹氣數，等於其他一個的二倍就是了；這一個音符，必定是其他一個的第八音符。他們兩個發出的音，和鋼琴上彼此相離的兩個C音一樣。這兩個C音中間，是有許多的音調隔開的，而他們的發音，仍然彼此相似，比較接近的兩音大不相同。我們的經驗已經將和音的全部給我們了。

這是定律，便是聽官能因音的關係而加以判斷，這種區別，可以用特別名詞『音比』Parties 來表示。當我

們比較任何和音與乖音時，我們知道他們的異點便是音調間音比數目之不同。我們知道，音樂的一個什麼音調，便是空氣波浪（聲浪）在一秒鐘內打擊到耳官的一定數目。

構成音樂的重要事實 那些空氣波浪的數目，確是和音及音樂所賴以成立的根據。兩種數目間最簡單的比例，是二與一。除了兩個聲音的數目剛剛相同以外，再沒有比他們簡單的。我們試驗多聲樂賽林，已知道音比為二與一的，這兩個音聽起來一定最相同，那就是和音。兩個構成一個第八音階的音調，其間就有這一種關係存在，無論他們在音階上的位置怎樣，或高或低，或為中音，牠對於聽官的影響是相同的。某音可以每秒鐘振動二十四次，另一音就振動四十八次，或者振動的數目可以是二十五與五十，或者一萬五千零一與三萬零二，無論他們的數目多少，只要他們的比例總是一與二，所以這一音響起來，我們聽着好像牠是另一音的二倍一樣。近代的音樂都是根據於這種事實的，從這兩個音調之間，用一種方法加入些不同的他種音調下去，因此我們就構成普通所稱的「音階」Scale。

在西洋胡琴上，隨便取一個音階弄着，發出討厭的聲音，實在是最容易的事情。另一方面，卻有許多使耳朵很感快樂的音階。有許多是能令人悲慘的，有些是能令人不覺得討厭並且是可聽的。

構成音樂的音階音樂家的 A B C 自從有音樂以來，世界上各處的音樂，總要用着音階，或者說一套的音調。例如有一套音調是從前用於英格蘭 England 和蘇格蘭 Scotland 的，另有幾套音調是用於希臘 Greece 的，更有幾套音調是現在用於印度 India 和日本 Japan 的。

無論怎樣，成套的特別音調，或者許多套的許多音調就成了音樂家的材料或字母。一個聰明的音樂家，當他聽見一種歌曲如古代蘇格蘭的歌曲時，他便能立即說明這曲屬於那時代，和他所從來的地方，因為他能認識作歌者從音階中所取的音調。

先讓我們觀察普通的音階，那就是我們只須在彈鋼琴上，用手指按觸從C到C的白鍵。這種音階，我們自小便聽過，我們要是聽見了牠所成的聲調，就會覺得很自然，對於別的音階所成的聲調要覺得特別些，不自然些。但是各種音階，都有一定的定律的，這些定律的來源，常常就是音調振動數的研究。但是對於這一層，我們更要加上一句話，振動數的本身，到底并不重要的；最重要的一點，便是他們彼此間的關係。任何一種音階，卻可以隨便取一個振動數的音調做首音，但所有其餘的音調，對於那首音的振動數，須有一定的關係，由於這種關係，便構成了音階。我們可以認識牠，牠對於我們的聽官所生的影響也相同，不問牠所發的是高音或低音。而且無論這音階是從大笛 *Hasson* 發出，是從笛 *Flute* 發出，或是從西洋胡琴發出，他們的音調都是相同的。至於有什麼東西會叫這些情形不同的，我們以後再研究。

音階中各音調的關係 寫出普通長旋法C音階的音比是很容易的，因為大多數的人都熟悉牠的。我們為事理清楚起見，可以設想一個低音C的振動數為每秒鐘二十四；固然也可以說每秒鐘二十五或二百五十又二分之一的。但是二十四是一個很便利的數目，假使牠是二十四的，我們便可以找出其餘音調的確實振動數是多少。左列一表，便是依着他們的次序寫出來，表明他們的關係的：

C	D	E	F	G	A	B	C
24	27	30	32	36	40	45	48

如上所列，對於這些數目的本身，沒有可以注意的地方，但是對於他們每二個中間的關係，卻是大大可注意的。第一件事情我們所注意的，便是構成八個音調的首尾兩音的音比是二十四與四十八，就是一與二之比。第二個最簡單而我們所能注意到的音比，是C與G之比，因為C是二十四，G是三十六，所以他們的音比就是二與三。還有一個我們可以注意到的音比，就是C和E的音比，他們是二十四與三十之比，簡單的寫起來，便成了四與五之比。現在我們拿這些已經觀察討論過的C, E, G, C的音調來說，我們便先找出幾個普通的，而為我們所熟悉的音來，因為許多歌曲的結束時，都是要用着他們的。假使他們從一個歌曲的中間發出來時，我們使要想這個歌曲將要告終了。

感動全世界人的普通聲音 這是這些音調的特性；他們有結束音樂的意味。在許多別的音調合奏之後，聽官總希望他們繼續下去的。但是聽官對於這幾個音調，便會覺得滿足，竟不要別的音來結束他們，也不要別的音來繼續他們。現在我們已假定這四個音調的振動數是：二十四，三十，三十六，和四十八了。假使我們把這數目降低，我們知道他們的比，常是四，五，六，八。

這真是很奇妙的。假使寫4, 5, 6, 8, 這幾個字在一張紙上，而加以研究，就好像研究一部分很簡單的算學。各人都知道，這種數目字和符號的科學，在多數人都看作世上最乾枯無味而最抽象的東西，然而牠的定律，居

然會直接到我們許多最深奇的感情上來。就這四個字去討論，4, 5, 6, 8, 的比例實在是很乾燥的；他們似於和人類一無關係的。然而全世界上，自古及今的人類，卻只傾耳於這些比例所造成的聲浪，常常得到很深的印象。

第一，音比的意義，就是樂音和噪音 *noise* 的區別；第二，牠的意義就是和音和乖音的區別；第三，牠有一種特別終了性質，不僅能叫人們的耳朵快樂，又能叫他滿足。

算學與音樂間奇妙的關係 假使我們再進一步研究，我們就可找出此外還有別的音比，他們常告訴聽官以未盡的意思，叫聽官靜候以下繼續的是什麼；但是這兩種不同性質的分別，全在於抽象的算學——便是由於這一組數目的音比，和那一組數目的音比不同之故。

這些簡單的事實，音樂家和學習聲學的人都很知道的，假使我們有智力去加以觀察，便可知他們還有高深的意義。對於世界上事物沒有觀察力和深思的人，必定以為我們一方面渴望和滿足的感情，或悲愁和快樂的感情，和另一方面兩種不同音調間的算學比例，是宇宙間最沒有關係的事情。然而這種完全不同，毫無關係的事情，卻是永久由自然的和人為的定律，把他們結合在一塊兒了。現在我們重新將音階內的各音調寫出來，也將以二十四做首音的各音調所得的振動數注在下面，更於他們底下註出各音與首音的音比的數目：

C	D	E	F	G	A	B	C
24	27	30	32	36	40	45	48
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{4}{3}$	2

由上面所列的音比看起來，我們知道這些分數的分別是很簡單的。最簡單的是G調的變動，第二最簡單的便是E調的，E調的位置恰在C與G的中心點。這些給了我們一組普通的音調。觀察上表，卻又看見有一個數目，分明比其餘的要複雜些，這是一件很有趣的事情——這個數目就是 $\frac{15}{8}$ ，是C調音階內B調的變動。

現在我們很能够把全音階唱一唱，唱到最後的第二音B，自然而然的便要沈下些。但是當我們已經注意到這個音調的音比，要比別個複雜些時，我們就從音樂的歷史上，研究出這個特別音比的發現，確是一件很有趣味的時候。

近代新發現的新音調 很明顯的，我們無論到什麼地方去，我們總可以找出一個時代，音樂家的聽官，竟沒有發現從A到C的音比。所以他們到A便停住了。F的音比 $\frac{3}{4}$ ，他們是時常不知道的。所以他們那時祇有一個簡單的音階，僅由五個音調C, D, E, G, A, 組成。這音階便是很有名的五音階 Five-tone, or pentatonic scale, 牠在古時，頗可稱為音樂的大音階，直到比較的近代，F發現了，以及特別困難的音比B發現了，從此才有第八音調是最初音調兩倍的音階，一個音階內的音調，纔稱得完美。

學習各種不同的音階，是沒有止境的，但是所已述的種種，卻可以作為這些奇妙事實的秘鑰，我們更發現這種偉大藝術，音樂能够很高尚，很深刻的感動我們，竟可以當作應用算學的一部分，就是數目比例的應用。

當我們就鋼琴上或西洋胡琴上任彈一個音階時，或在我們任唱時，假使我們將其中一個音調的聲音弄錯，我們就要說這是不成腔了。不成腔的意義是怎樣呢？這個於音調的本身沒有什麼關係，不過因為牠在那地

方那時間發出音來，叫我們聽着覺得不快樂，於是我們便有一種傾向，以為牠是不好。那音調的本身，也許是個可愛的音調，或者是洪亮而明晰的，或者是雄壯的，或者是悲哀的。可是無論怎樣，這種情形或者發生於音階之內，或者發生於一套歌曲裏面，總是令人聽着厭惡的。

鋼琴不成腔時發生什麼情形 不成腔的原理，就是那音調的振動次數，失了牠和別的音調應有的音比。我們可以說這個音調在這些音調中為不成腔，也可以說，這些音調對於這個音調不成腔。無論如何，音比總是錯誤的了。假使這個錯誤是因為那音調的振動次數太小而起的，我們就叫牠「音弱」*Note flat*；假使是因為振動次數太多的，我們就叫牠「音銳」*Note sharp*。

歌唱和奏西洋鋼琴的通病，就是犯着音弱症。無論音聲和腔調怎樣美麗，無論怎樣彈得唱得高貴，無論他的節奏怎樣好，無論他時間支配以及種種都好，若是不成腔，總是沒有人能寬恕他的。所有一切的事情，都許是對的，但是倘若算學的音比一錯，其結果簡直不成為音樂，不過是一種作戲，叫人受罪的玩耍罷了。

有一個正當的問題發生了，便是鋼琴上的黑鍵，排列在構成C音階的白鍵之間有什麼意義？就音樂的進步方面說起來，已由第一次音階的進步，更產生第二次的進步了。第一個進步時期，是在由五音階進到我們普通所習知的通用音階的時候。我們說進步是很對的，因為在這種過程裏並沒有失了什麼。這種五音階仍然存在，祇是包括在通用的音階內罷了。

五個新音調加入了通用的音階內 第二個進步時期，就是再加五個新音調到通用音階的幾個音調中間

去。我們試彈任一種樂器，依了次序彈下去，我們能得着牠所發的聲音，和依着鋼琴白鍵和黑鍵的次序彈去所發的聲音，是一樣的。

在這種新音階的排列上兩個音調的距離，比了在簡單的音階上的距離要小些。例如我們看前面表上的E, F, 和G, 我們知道從E到F的距離，祇有從F到G的一半。可是在有黑鍵的新音階內，就有一個剛F被安放在F和G的中間，所以從E到F，從F到剛F，又從剛F到G，距離都相等了。這個祇有白鍵的舊音階，叫做「八音階」Diatonic scale，而有黑鍵的新音階，叫做「半音階」Chromatic scale。

設使我們將五音階八音階半音階三種比較一下，我們於音樂的進步，使有所知了。一個大變遷，不是可以直接從最老的簡單音階內生產出來的。這不是說牠的結果不見得可愛，不過因為他們常常總是被限制住的。牠總是少一種造成八音階和半音階間不同的變化。

孩子們所喜歡而又懂得的曲調 最近百年之中，半音階的用途已經擴大，而構成音樂的基本了。兒童總是喜歡學習音樂的，他們最初所喜歡而又懂得的曲調，那當然都要根據於較簡單的音階。實際上無論何人，都是喜歡這些曲調的，祇有比較很小的一部分人，喜歡根據於半音階而構成的曲調。有些人甚至要說現在的音樂，簡直是沒有什麼曲調的，但是聽官對於音樂素有經驗，較為進步的人們，能够知道這種較新的音樂內也有曲調的，和根據於較簡單的音階所構成的音樂一樣。

假使我們將所有的音樂，用算學比例的形式寫出來（這是一件可以辦得到的事情），從此便可明明白白，將

人們對於音樂的聽官，依自然練習和教育的進步分類表示出來。最初是會明白二比一，三比二，和五比四等的簡單音比的，最後便會明白現在音樂上用得最多而最繁雜的音比了。賽林是一種因風而鳴的樂器，音樂的奏成，由於風或空氣吹過牠的小孔而成。但是所有的事實，都可用賽林來證明，並且在賽林是真實的事實，在所有因風而鳴的樂器都是真實的，在絃樂器也是一樣真實的。雖然他們兩種情形所發生的聲浪，方法不同，但是所有這種神妙的定律，關於他們的音比的，畢竟相同。

提琴和他的弦的妙用 弦樂器在音樂上是極寶貴的，并且這種緊張的弦，不論怎樣動起來，總是饒有趣味的，已有人將牠詳細研究過。假使我們觀察一把西洋胡琴而留心牠的用法，我們就可以知道一條弦上有三件事情發生，因此就可以決定弦振動的度數。

第一，我們注意發低音的弦，比較發高音的弦粗些。這個理由，就是因為照定律，重弦的振動次數比輕弦的振動次數低些。弦的重量或質量 M 的一部分是看物質的密度，一部分也看牠的粗細而定規的。第二，我們注意到奏西洋胡琴的，將弦弄得緊些或鬆些，也大有關係。

當牠調節那樂器的音調時，牠要轉動那樂器上端的栓子，來配好那弦上應有的寬緊。弦若愈緊，牠的振動便愈快，而牠的調門也就愈高。假使我們增加牠的緊張到四倍，弦的振動便比平時增加二倍；假使緊張增加到九倍，弦的振動便比平時增加三倍。四是二的平方，九是三的平方。這就是各種情形中的一個定律。

最後我們注意到，有人奏西洋胡琴的時候，他不住的移動他左手的指頭，並且用力按在弦上。這不過是一

種變更弦的長度最便利的方法，因為當他用指按住弦的某點時，恰和弦祇有到某點那麼長短一樣。

不同的樂器上所發的不同的音調，我們仍可以注意着，當牠彈高音時，牠的手指漸漸向下移動，使那弦漸漸縮短。弦若愈短，則音調愈高。

還有一個深有趣味的問題，我們沒有加以討論過。假定鋼琴上的C音，如我們所已做過的，算作二十四。

此外我們再取一個風琴，一個西洋胡琴，一個口發的音，和各種樂器所發的音，同時使他們在二十四這一個音調上發聲，他們的聲音卻大不相同。無論何人都可以一聽便知，某音是由西洋胡琴發出的，某音是由鋼琴發出的。

簡單聲浪的音樂和混合聲浪的音樂，我們個個人都能分別朋友們說話的聲音，分別這個西洋胡琴的聲音和那個西洋胡琴的聲音，通常也是容易的，聰明的人更能分別這個鋼琴的聲音和別個鋼琴的聲音；雖然他們的音調各種情形都相同，卻是他們總有不同的地方，我們如果能找出這不同的地方在那裏，那就是一件很有趣味的樂事。

我們先說，有許多種樂器，他們所發的音，沒有什麼不同的地方，會被人找出來。例如音叉 Tuning-fork，的確祇發出一種相同的音調，並不像價錢便宜和價錢貴的西洋胡琴，發出來的音調有分別。仔細研究起來，我們就發現出他們所以不同的緣故。原來音叉的聲浪完全是單純的；但是在西洋胡琴，或口音，或鋼琴，或風琴上，他們所發的聲浪就不這樣，假使我們的眼能看見，就可以知道他們是和海裏滾滾如山的大波濤一樣，這大波濤上又有小波浪，小波浪上更有皺起的極小波紋。

因為這種和一根線那樣一高一低作波浪式的簡單聲浪，和各種小波浪大波浪混成的聲浪的不同，就叫我們的聽官，感受着一種大分別。音樂上所寶貴的聲音，是由混合的聲浪構成的。這種大的波浪，叫做「原音」(Fundamental note or tone)，那些和大波浪一起進行的小波浪，叫做「協音或副音」(Overtone or harmonics)。爲何各種不同的樂器發生各種不同的聲音，副音對於學習聲學的人，和學習音樂的人，都是一樣的有趣味的。甚至他們所發的原音雖然一樣，因協音的數目，和他們相關的高低，可以叫彼此樂器間所發的聲音不同，也可以叫這個人發的口音和別個人的不同。這是副音的性質。這個意思便是我們所聽見的音樂，幾乎都不是單音，都是許多音聯合起來的。他們確實是些和音，不過是因為最低的原音就比他們響亮得多，所以我們難以注意到。然而他們竟可以把西洋胡琴的聲音和鋼琴的聲音，這個朋友的聲音和別個朋友的聲音分別開來，他們確實是存在的。

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，我們能够用一種樂器，和他種含有不同的副音的樂器合奏而成。無論所用什麼樂器，我們總要牠的副音多，并且要他們豐潤而和諧。這事在西洋胡琴和人類的聲音裏，尤其最真實的。

我們大家都曉得，許多年以前所做的西洋胡琴，價值要幾千圓，而一方面別種西洋胡琴，價值幾塊錢；因為雖然拉的人一樣，所用的弓一樣，所用的弦也是一樣，但是在這兩件東西中，一則發音洪亮豐潤，成爲可愛的樂音；一則發音衰弱，成爲乾枯的噪音，幾乎要沒有人說牠是音樂。

古代異樣提琴的奧妙 這些完全祇是一個副音的問題。同一的方法，同一的弦，同一隻手，同一的弓拉奏，房子也沒有變更，音調也是一樣，但是所發的聲音，則有可愛和可厭兩種不同的情形。

這種不同與西洋胡琴本體有關係，這是現在所曉得的。弦振動時，不但自己發生大的主波，並且發生許多小波浪。要聲音發得可愛的奧秘，在於弦振動時，弦的附近也有些東西振動，並且這些東西，有選出入聽官所最愛聽的能力的；像這樣，音調纔能洪亮豐潤。古代的異樣西洋胡琴，牠本體的前面和背面的大小，形狀，曲度，和厚薄，恰恰到一個適當的地步，他們都能够和弦一樣，發同一的音調，而成共鳴 *Resonate*。他們能互相襄助，而不互相反對，這便是他們的奧妙。

聲音的行爲

我們時常說起聲的顏色 *Color of the voice*；或者說，唱歌的人用了一種很白的聲調，意思就是指明這種聲音裏而顏色含得很少。唱歌的人不用他的共鳴器 *Resonator*，加顏色到他所發的聲調裏去，僅僅靠着聲帶 *Vocal cord* 的發聲是沒有變化的。有些時候，我們說到言語的聲調，或由樂器發生的聲調，要說他們是冷靜的，或是熱誠的；有些時候，我們要拿牠來和我們對於別的物體的感覺作比較，例如我們說某音是粗的，是糙的，或是平滑的。

我們必須時常記住，這和純粹的大聲音是完全不相同的。要說話或唱歌的聲音，粗糙而無噪音是可能的，

又如一羣小孩子談得很響，或唱得很響，然而他們的聲調仍舊是柔和而平滑，溫暖而有味的。像這種比較上的名稱，是很有趣的，因為他們能使我們比較我們的感覺，使我們的感覺漸漸互相接近。

現在我們再進一步，更加留心將在前面所說過的副音問題加以研究。我們祇須拿一條弦緊張在一塊能發聲的板上，就能够很好的研究牠了，那樣設置，實際上恰和西洋胡琴祇有一根弦一樣。大家都知道，西洋胡琴可以用手指撥彈，或用弓拉奏的，但是大家已都知道，用弓拉奏而發生的聲音，和用手指撥彈所發生的聲音是大不相同的。

這和聲音的長短，沒有什麼關係，因為聰明的西洋胡琴大家，雖然能够用弓拉奏，發生一種極短的聲音來，所有音調的高低，大小，長短都和撥彈的一樣，但是他們的性質是完全不同的。我們已經知道，這種異點必定是由於副音不同的關係，事實上果然如此。

我們的聽官告訴我們知道，用弓拉奏所發的聲音，比撥彈所發的聲音，更為洪亮可愛，其故因為用了拉奏，能叫琴弦全體分作若干小段振動。這種分段振動，會發生副音，以致所發的聲音洪亮。所以我們從此處觀察，得知弦有兩種不同的行動，隨着牠那兩種不同的振動方法而變化。當鋼琴或西洋胡琴的弦被擊奏或撥奏時，就有一種所謂自由振動發生。這種弦若是被擾亂片刻，而擾亂牠的物件便移開時，那弦便自由振動，時間長短不定——在鋼琴上振動的時候長些，在西洋胡琴上振動的時間短些。

調整鋼琴的手術

就鋼琴舉例說起來，鋼絲的作用是不變的，不論如何的方法，總是要使牠的副音能够豐

富，雖然副音是屬於自由震動的。共鳴器對於特別的音調，會發生感應振動（Sympathetic vibration），而幫助那個聲音洪大的，在奇象中冊二三四頁我們曾經讀過。但是共鳴器的問題而外，弦線方面也有些大異點。我們知道音的高低，要看弦線的張力而定，這就是樂師調節鋼琴時手術之一；音的高低，牠也要弦線的質量和牠的長短而定。

所以很明顯的，同樣的音可以從一根長而細的弦上和短而粗的弦上發生，這是可以確實辦到的；或者兩種弦上可以發生同樣的原音，但是說到副音問題，那就大有不同了。我們覺得，雖然兩弦所發的原音相同，但從長而細的弦上所發生的音，比較從短而粗的弦上所發生的音要美麗圓潤得多。

個個人都知道好鋼琴所發的低音，和價賤的鋼琴所發同音調的低音，如何完全不同。其中最要緊的一個異點，便是好的鋼琴發生低音的弦，是用長絲的，這也就是牠位置佔得多的緣故。

爲什麼好的鋼琴奏出的音樂比不好的鋼琴好，但是兩個形體一般的鋼琴，他們低音的性質也許是不同的，我們將那兩個鋼琴打開來看，我們就查出在較好的鋼琴裏面，較長的鋼絲是和短鋼絲的位置交叉成角的，所以會有較大的長度。這就是增加副弦的意思，現在的最賤價的鋼琴是沒有副弦的。加副弦的目的，便是增加弦的長度，增加弦的長度，便是構成低音的最好方法，因爲長而細的弦所發的副音，較短而粗的弦來得多。

當弦線振動而發生副音的時候，有一種什麼情形發現是很難切實說出的。我們知道，第一步是向兩個擺動，次則從弦線的頂上分爲若干小節——例如原長的二分之一，或四分之一等等——這些小節也各自擺動，各

節擺動的速度，依該節的長度而定；這就是怎樣發生副音的情形。這件事實給我們一種理想，就是爲什麼在一種很短很粗的東西，如普叉之類，我們不能得着副音，而在一條緊張的，長而細的弦線，我們就能得着許多副音。

提琴的弦能歡笑或哀哭 當弦線用弓拉奏時，牠便各方的振動起來，但是這種情形，祇有弓拉過弦線時才會振動，弓一拉過，震動立刻便停止了。這種弦線，僅在弓強迫牠振動時纔振動，所以這種振動叫做「強迫振動」(Forced vibration)，和自由振動有個區別的。假使我們能夠觀察到強迫振動的確有什麼情形發生的，強迫振動便確是世界上最奇妙的事情。

西洋胡琴大家和一位不善奏西洋胡琴的人，雖然他們用同一個西洋胡琴拉奏，其間的分別卻很大。神妙之處全在這位西洋胡琴大家的一張弓裏面。當他拉奏一個簡單的長音時，雖然所發的是個單音，卻是包含着許多音在內；當他拿弓在弦間往近拉奏時，他能夠叫牠發出悲苦或歡樂的聲音。

這事是因爲弦線感受強迫振動，極其敏捷，所以有這個結果。弓對於弦線所生的變化極微，幾乎沒有一個人能夠把他們描寫出來，斷言出來，或者說出他們的原委來，或者說明他們是怎麼組成的，這種微小的變化卻能將聲色完全改變。其理由自然是由於弦線由一種特異的方法振動，因此特異的振動方法，對於那特別音調的本身，就發生一套特異的副音，這種聲音除非那弦線振動停止，決不會變更的。優等西洋胡琴的長處，就是牠本身對於弦線行爲的反應非常靈敏，恰和弦線對於弓行爲的反應一樣。

你自己能在鋼琴上做的 一個實驗 有一個很有趣的實驗，個個人都能夠就一具好鋼琴上做的。照普通

的規矩，當我們弄鋼琴上的一個音調時，沒有別的音調有機會發音的，因為琴壓 Dampers 安置在他們上面，所以他們靜而無聲。當我們將一音鍵按下時，我們便把琴壓舉起了。

再讓我們將以下幾個音調——如低音 C 和高音 C 和牠以上的 E G 及變 B 等——按下，不要打擊牠，僅僅的把琴壓升起，像那樣，如果弦一振動，這幾個音調便能自由發聲。當我們已將上述的手續預備好時，我們再打擊低音 C 以下的 C 鍵，且由牠去，莫管牠。假如這個鋼琴是很好的，我們現在可以聽見一種柔美的聲音，這聲音是由我們所預先按下的五音調合成的，但是我們對於這五個音鍵並沒有加以打擊。到底已有一樣東西打擊他們了，這個東西的解釋是很有趣味的。

這個解釋的第一步，就是我們所打擊的低而長的弦，不僅全體振動，發生了牠自己特別的音調，卻也分爲數段的振動者，每段的長度相當於我們以前所按下的五個音調。當這個音鍵依平常的法子打擊時，這些副音，只有有經驗的耳朵才能分別，但是在我們的實驗裏，我們卻將他們突現出來了，因為我們已使我們所打擊的音鍵自由響着，不叫牠只發一個簡單的大聲。

我們奏鋼琴時爲什麼有些東西會了東的響着 上面那樣的做法，並沒有叫一切都停止。這是何故呢？

因爲構成副音的空氣波浪，又各個衝擊到和牠有關的琴弦上去了，所以那琴弦便發生同感振動。別的琴弦因爲不能夠作那種特別速度的振動，所以不發生什麼影響；但是同感振動的意思，就是波浪依某種速度進行，能够和牠同樣的物體振動。這就是爲什麼當我們奏鋼琴時，有些東西會了東響着的理由。這種同感振動的例

子，可以幫助我們了解其鳴器的行動，也可以幫助我們了解爲什麼良工斯特刺第發里亞斯（Stradivari）所做的西洋胡琴和下等工人所做的西洋胡琴有許多不同的地方。第一，我們知道有許多物件是能共鳴的，有些是不能共鳴的。一個鐘或者一個錶，當將牠由棉花裏面移到堅硬的木頭上時，牠所發的「的答」聲便大不相同；又當我們要聽一種好音義的聲音時，我們不把牠直接拿在空氣中，只把牠的柄裝在一個穩固而堅實的物體裏面。我們又知道西洋胡琴的弦線聲音，若是沒有琴的本體，便要發生微弱的聲音，鋼琴的琴弦，若是在琴匣外面發聲，便要低微得令人詫異；動物的聲帶也是如此，他們自己所發的聲音是極微而很難聽的。

音調的聲音在一瓶水上面的行爲 但是這個斷乎不是叫我們去設想，這一個共鳴器的好處，恰和別一個的共鳴器一樣的。反一面說，各種特別的共鳴器，如有牠相應的特別的振動速度——如就我們所見的鋼琴弦線的同感振動說起來，這種振動就是能發生同感的。假使我們取一個長的器具，把水裝到一定的高度，而後攻擊音叉，令牠發聲，並且把牠放在那裝水的器具的嘴上，我們便覺得那聲音特別的洪亮。假使我們將那器具裏面的水傾出些，或加入些，再拿音叉放到牠的嘴上邊去，那聲音和原來的聲音，幾乎沒有分別，或者只有很少的分別。

用這種方法，我們可以製造成由許多共鳴器，依次排列而組成的各種樂器來。假使我們拿些小火燄放在這些共鳴器的口邊，和牠相當的另一個共鳴器振動時，火燄搖動，便會搖動，而且只在那個時候搖動。因此我們雖然不能用聽官將副音分別出來，卻是可以有特別用意的法子，將副音找出來。這叫做共鳴器的調音法。

最初研究這事的人，是法國的偉人赫爾姆霍斯 Helmholtz。

雖然赫爾姆霍斯能知道其鳴器的調音法，但是這方法實在在他以前就已有過的，至於我們雖然天天調奏着其鳴器，卻不知道怎樣對準他們。別的樂器也許是奇妙的，但是西洋胡琴尤為特別，在高明的樂師手內奏起來，幾乎能够使牠有人性，牠的聲音真可以超勝一切樂器，這個理由沒有別的，便是因為我們還沒有發明別的樂器，能够和牠一樣的調奏其鳴器。宇宙間的事物，都不能無中生有的，所以其鳴器也不能創造出什麼東西來。牠只能叫已有的更加顯著罷了。

人類奇妙的聲帶 在我們以前用鋼琴做的實驗裏面，我們起首所聽得的柔音，確是從我們所打擊的那根弦線上發來的；所以人類說話或唱歌時，牠聲音內的副音，也必定要從聲帶上發生。可怪的聲帶振動，所生的豐富副音，是由於尤其可怪的短聲帶發生的。唱低音的人的聲帶——不精確的說牠長約一英寸——所發的副音數目，可以和幾吋長的西洋胡琴琴弦，或數呎長的鋼琴的弦線所發的副音相比而不上下。聲帶的振動是一種強迫振動，這種事實我們當然要記住，我們更知道，兩樣要是東西相等的，強迫振動比較自由振動的副音要多些。沒有一樣樂器，能奏出的音樂，及得到喉音那樣的奇妙絕倫的。

胸腔，口腔，以及鼻子，乃是喉音的其鳴器，這種其鳴器和別的不同，能够時刻變更，而其變更卻很適當。發低音的主要其鳴器是胸腔，牠的功用就是增加低的副音。當胸腔膨脹時，牠的功用最好，所以唱歌的人，當肺內空氣充滿時，所發生的其鳴的低音，比較肺內空氣幾盡排出的時候為多。

大歌曲家對於語言的奇異能力，但是各種聲調的特性，就是唱出曲中主音的，而又節制喉音的特性，和節制牠對於我們心理上發生的影響的，都因較高的副音而定。這種較高副音的發生，由於上部共鳴器的感動，牠的形式變更甚廣，我們能夠時刻節制牠。從實用這一點上觀察起來，叫我們的共鳴器發音，是最重要的。一件事實，因為牠給我們一種特別的能力，發出各種不同的全音來。所以最低等人類的語言，實際上說起來都是由僕音組成的——我們可以說，他們若不是噴嚏，祇是些「的答」的聲音，由鼻出氣所發的嘶聲，和咳嗽的聲音罷了——而高等人類的語言，以主音為多，他們二者間的不同，就是因為有共鳴器的定律，和我們能任意叫我們的共鳴器發聲的原故。

優良的歌者，不單注意最高的語音，對於一切語音無不發音中肯。至於惡劣的歌者，的確時常弄錯語言中的主音，叫他們的聲音幾乎變成一律的。像這種樣子，便叫我們不能懂得他唱的是什麼字句，他也把主音變化的價值都喪失了。

造成優良歌者的幾件事情 優良的歌者，不在乎僅僅的多利用變化，在說話時主音發得特別比一般人純粹清晰，他尤須要叫他的共鳴器時刻發聲，將他的音調弄得時而冷靜，時而熱烈。

爲了這個目的，他就隨意利用一切東西，來叫他的共鳴器發聲。口的闊度，唇，舌，以及咽喉各部的正確位置等，都是修正上部共鳴器的發音的，也是一個大歌者可以自由處置的。

並不是除了緊張的弦線以外，便沒有法子能發生副音了。管的振動也是一樣能發生副音的，如風琴管，笛

簧，和大笛等都是。這幾種樂器的性質相差很遠，他們的不同就是因爲副音有分別的緣故。以上每種樂器管內的空氣柱，不僅是從上端到下端成一完全單獨的振動，卻也發生分段振動的，因爲分段振動，所以就發生副音。因爲好奇心的緣故，我們可以研究像板這樣東西的行爲。若干年前，有人將一塊板架住了牠的中心，用西洋胡琴弓拉過牠的邊，使牠振動，而加以仔細的研究。若是拿些細沙平均散佈在板上，當板振動後，我們便見細沙就疎疎密密的布成有定式的花紋，和聲音所生的花紋一樣。這些花紋，將隨着環境而變更，例如因弓的拉法不同，牠也要變更他們的式樣。

現在我們可以明白，細沙在板上振動最甚的部分的，將移開而堆積於振動最小的部分。於是各方面看來，我們就可以在板上振動最弱的地方，找出幾條確實的線來，在這些線上，細沙是堆積着的。這些積沙的地點叫做『節點』Nodes，牠是拉丁字，意思是節 Knot。但是節的重要，不是僅僅因爲我們在板的振動中發現這種事實。當我們仔細研究一根緊張的弦線時，我們也發現弦線的振動中，有些地方振動得最少，這些地方都是節點。我們知道弦線是時常全體作單純的振動的，但是除此以外，牠也分段振動而發生副音的，這些分段的地方，都在節點與節點的中間。最簡單最普通的副音，無論在那一種弦線上，就是恰比原音高一級的第八音調。我們已經研究過弦線振動的規則，就是短弦的振動常要快些。所以當某副音是某原音的第八音時，牠的弦線振動，一定祇有原來長度的一半。弦線的長度減半，就是弦線每秒鐘的振動數目增加一倍的意思，所以恰成第八音。於是我們應該在弦線的二分之一要有一節點，事實上果然如此。此外每逢有什麼副音發生，這節

總是有。當緊張的弦線振動時，在一種特別情形之下，我們確實能夠看見這些的節點。至於很高的副音，當然那音有要分爲許多小段振動着，這些小段的長短，恰恰適宜於那個高調的副音；在理想上如此，在事實上也是如此。副線愈高，那弦線分段振動的數目便愈多，而每段的往復運動範圍也愈小。

我們知道，聲音的大小是要看空氣波浪振動的寬狹或振幅 *Amplitude* 而定的，振幅的大小，就要看造成空氣波浪的物體的搖動寬狹而定了。所以在這種情形裏，我們應該要想，弦線愈短，則弦線分段振動的振幅愈小，所發的副音也必定因爲聲音愈高而愈小；事實上所發生的恰是如此。無論怎樣，我們的心裏總不要思想弄混了，以爲有些空氣的分子，或有些弦線的部分，可以同時分成兩處的。我們當然知道，這種事實是斷不能夠發生的。所以當弦線振動發生原音和副音時，牠沒有像我們所想像的事情，只有我們所見的結果。牠沒有一部分能夠同時分成兩處的，不過弦線的實在運動更是廣大而複雜罷了，所以由這種運動所生的空氣波浪也是如此。

當我們想像許多樂器許多聲音聚在一起奏響時，所發生的聲浪的混雜，一定是極其難於領會的。傳到聽官的聲浪，也一定是各種聲浪間的一個非常混雜的東西。研究聲浪很有趣方法，在留聲機器裏可以得到，關於留聲機器的事情，我們已在本書的別一章裏讀到，牠起初不過是一種玩具罷了。但是我們可以叫留聲機器，將樂隊所奏的各種的聲音，或簡單，或複雜，或是音樂或是噪音一概記錄下來，而蠟片上用留聲機針所造成的符號，也可以用顯微鏡來研究，或者竟可以把它攝了影，更充分的放大起來。

當我們說 O O 便不見當我們說 E E 便跳躍的火燄。這是一種轉變聲音爲一種可見的東西，而加以研究的方法。我們曾看見火燄置於其鳴器的口邊時，其鳴器振動，火燄便會搖動。我們能使火燄對於聲音的感應更加靈敏；但是我們不能說火燄聽得着聲音，不過是聲浪的性質能够影響牠就是了。

丁鐸爾教授 Professor Tyndall 發明了主音燄 Vowel flame。這種火燄當沒東西擾牠時，大約有二呎高，有幾個聲音能够叫牠變成很低，幾乎使人看不見；又有一種特別的聲音停止時，火燄便能復跳出來。牠所以叫做元音燄的緣故，是因為牠能將甲元音和乙主音分別告訴出來。這種火燄對於高音的感應特別靈敏，所以對於由高副音組成的主音所生的影響，比較對於含有低副音的主音所生的影響容易。

主音中音調最高的是聲音。無論什麼人，若是用同音調說出諸主音，牠便可以知道雖是他們的音調一樣，然而毫無疑義的，E 音是總要比較高些。這個理由，就是因為雖然說諸主音時所發的原音都相同，然而 E 音的副音比較要算最高。現在假使我們在低處向母音燄說 E E，那燄便變得很小；若是向牠高處說 E E，那火燄便變得幾乎看不見了。但當我們說 E E 的聲音停止時，那火燄便重新躍出。

人們能够看着聲音和火玩弄。感應靈敏的火燄，可以供精細的科學目的之用。我們已曾見過這種火燄，可以示知那種共鳴器會因那種聲音而振動。這種實驗可應用於聲學的研究，尤其可以應用於主音的研究，主音的數目，比祇懂一種語言的人所想像的要多得很多。當我們學習法文的時候，我們便知道法文的主音怎樣不同，所以世界上各種語言中的主音是極多的。這些主音都是爲了副音的關係，我們可以向一種儀器內說話

來試驗他們，叫他們對於火燄發生影響，因而我們就研究火燄在各種不同的情形裏的形狀怎樣。實際上說起來，我們能够看聲和火玩弄着！這種火燄的形式，和同一的聲音在留聲機器的蠟板上所造成的符號，是有極相同的地方的。

當水浪衝擊到堤防邊，轉折回頭，與第二浪相遇時，這兩個浪將衝突而互相干涉。有些時候，兩個浪頂會聚在一起而造成一很高的浪頂；有些時候，一個浪的浪頂，會和別個浪的浪底相遇，兩者就有互相侵消的傾向。像這種此浪對於彼浪的影響，叫做「干涉」Interference，世間所有各種波浪都是這樣的——如水波，聲浪，以及橈成光的以太浪都是。

投石入池我們能學得什麼 若以海和堤防為不便利，我們能够用投兩塊石頭到池裏的小巧法子來研究干涉的現象，而觀察由甲石所生的波浪對於由乙石所生的波浪的關係。

聲浪的干涉，能發生最有趣的結果。牠的意思，就是假如我們用兩個高低相近而不相同的兩音，聚在一塊兒發聲，他們的聲浪將互相干涉，而我們就可得到升沈（*rise and fall*）的現象；聲音似乎是在跳動，或一升一沈的樣兒。當那兩音互相襄助的時候，聲音便更加洪亮；當他們互相消煞時，聲音便微弱。這種升沈是很不快樂的。

我們所說的乖音，牠的一部分阻礙，就是因為各種聲調所發生的聲浪有互相干涉的緣故，所以我們會感覺着升沈和悸動的現象。但是各種人的嗜好不同，對於乖音竟有人以為是很好的，原來乖音要是用得適當，在音樂裏是很寶貴的，因為牠能將和音感動我們耳朵的效果，增加得非常的多。

光是什麼做成的

我們看得見這本書，是因為有一樣東西從紙上反射到我們的眼睜裏來；這樣東西，宇宙間到處都有的，牠是使我們知曉大宇宙的唯一媒介物。牠的名字叫做「光」。牠是能力的種種形式中的一種，世界上的東西再也沒有比牠還重要還有趣的。

我們知道光是由於我們的眼睜能看見牠。假如我們是瞎子，那末雖然外邊有發光的物體存在，可以發出光來，我們就不會當牠是光了。這句話似乎很迷惑，然而却是可信的。我們說有聲音，乃是指有樣東西給人聽見了，當然是用耳朵的；說有光乃是具有樣東西給人看見了，當然是用眼睛的。如果耳目的能力有限制，他們對於世上事物，就容易受欺詐了。

我們所稱為光的這樣東西，倘若我們的眼睜不受限制，都能看見，那麼就可以知道牠有許多式樣。這些式樣，有些是螞蟻能夠看見的。第一步我們須先明瞭，不要將我們身外的光和視覺所看見的東西弄混了。普通的說法，光這個名詞，只用來代表我們能看得見的東西，因此，我們可把一部分光的事實置之不問。但是我們所能看見的光，并非光的全部，所以現在有許多關於這事的著作家，就不用「光」這個名詞，他們以為說「輻射能力」Radiant energy 要比較好些；因為輻射能力這個名詞，能包括牠所應包含的東西，不論是我們看得見的，或看不見的。這裏我們仍用光這個名詞，祇要我們能明瞭，我們并非用牠來專指我們所能看得見的光的。我們廣

義的。用牠，當然不會有什麼害處。能見的光，和輻射能力，本是同種的東西，不過他們有遞速不同的波浪，我們不能看見罷了。我們不能看見的光，我們可以因熱而覺着牠，這種熱，我們就叫做輻射熱 Radiant heat。

輻射熱是以以太 Ether 裏面一種波浪構成的。以太是很奇怪的媒介物，到處都有的，雖然我們不能看見牠，實際上是我們視覺的本原，因為光浪是在以太裏構成的。所以光和輻射熱的定律，就成了一個定律。

光的研究雖已很久了，但是到二十世紀纔決定牠是以太中的浪構成的，並非在別的東西裏面構成的。我們還須知道，現在雖承認光浪說 Waves theory of light 是對的，但是另外還有一種學說，以為光是由許多微小顆粒在空間內流動而成的。

我們知道光是行動的，但這又是我們易於忘卻的一件事情。假如我們在一個明亮的天氣，走到戶外去，或者在一個有穩定的光線射入的房裏；或者就一種簡單的情形說，就在這裏讀這段書的時候，我們似乎說覺得有一件我們叫做光的東西，會使紙張發亮，會留在那裏不動。可是實際上卻并非如此。

六秒鐘行一百萬哩的光 無論那地方的光都是行動的，並且光是世界上行動最快的東西。光是從天空中傳來而入我們的窗內的，或者是從燈光發出的這種光射在這張紙上，更由紙上反射到我們的眼睛內。我們或者可以設想牠和兩點一樣，只是速度很大。

第一項討論的事實，是有些運動的東西會發光。這種運動已用多種法子試驗過，牠的速度亦已經被人找出來。牠的速度的確和輻射熱的運動一樣的，也是和電浪的運動一樣的，因為光正是一種電浪。牠的速度，大

約是每秒鐘十八萬六千哩，或者說光行一百萬哩尚不及六秒鐘。我們所能找出來的光的速度都是如此，總沒有更動；而且所有的光都是如此，真可算宇宙間最高的速度了。

我們所知道的運動種類很多，而光的運動卻就像一樣東西從甲地移到乙地；或者說牠卻是一種浪的行動，正好和波浪作比較。當我們投石於池時，水的波紋，就沿水面發出，可是水本身卻沒有移動過。

牛頓對於光的大誤解 自從最初有人研究光學以來，牛頓是這種研究的大人物，他就是發現地心吸力定

律 Law of Gravitation 和運動定律 Law of motion 的大科學家。假使沒有牛頓，我們到現在恐怕還是

一無所知。但是牛頓對於光的錯誤，在智識的歷史方面說起來，卻是一件很有趣的事實，並且他作成的錯誤，實在是最不幸的。據他的評論，光不是由浪構成，乃由極微小質點在空中放射而成的。研究這一類光的問題，幾乎沒有人能及牛頓；但大學問家卻也要錯誤，而且當他錯誤時，影響真是很大，這是我們應該知道的。牛頓曾發現許多關於光的事情，比他的前輩們還多，因此自然而然的他的意見佔有很大的權力。

倘若如牛頓所說，光是由一種如雨如雹的微粒，在空間向各方向迅速飛行而成的，那麼這些小小的飛球，必定要衝擊到所遇的東西上。現在關於光最新發明的事實，是光有壓力的。但是這並非證明光是由兩點的顆粒構成的，乃是說，雖然光是由浪構成，光行時雖沒有物質移動，這種浪卻仍有壓力的。

能研究事實還沒有發現的名人 上述的事實，若是牛頓能够知道，他將何等的得意快樂！這種壓力，不僅對於我們看得見的光是可靠的，對於別種浪，就是我們不能看見的輻射光浪，也都是可靠的；這種壓力的正常名

詞，叫做「輻射壓力」(Radiation pressure)。

一位有名的蘇格蘭人，名字叫做馬克斯維耳 (Clerk-Maxwell)，許多年前，他便說光是具有壓力的，他並且說明壓力應該是多少。他的說法完全是由於他的想像能力，也是因為他對於光浪的性質能澈底明瞭。本世紀內的學者，已經各自獨立證明光是具有壓力的了，並且這力也是恰和馬克斯維耳所預言的一致。

當做精密正確的實驗時，將一很輕的物體，用一極細的石英絲吊起，這樣雖是最輕的接觸，也就可以振動，那物體由此我們發現當光線射在那物體上時，那物體果然被推動了；這推動的力，可以量出來的，恰恰證明恰和馬克斯維耳所預言的數目一致。看這個實驗，實在是很奇妙的，雖然我們知道并無東西打擊那懸掛的物體，但是看起來好像是有手指或噴水壺在那裏推動牠一樣，這種現象，完全由於力在以太內的運動。輻射壓力這個名詞，我們應當記住；因為差不多以後每年，我們將要聽見人愈加多討論牠。

發現宇宙神祕的一個窗口 光是宇宙間一件偉大的事實；無論牠到什麼地方，都有一種推力，所以牠是自然界的一件偉大事實。這種推力的工作，幾乎和地吸 (Gravitation) 有同一的普遍現象，但是他們的方向恰相反，一為推，一為吸。大概這種壓力的意義和結果，在將來宇宙間都是很重要的，因此我們不禁要替發現地吸的人設想，假使他已知道輻射壓力這種事實了，不知他將以為如何。

牛頓最有名的實驗，和歷年的最有名的實驗一樣，都是很簡單的，并不費什麼貴重的器具。牛頓的工作不過是閉了他的窗門，將窗門上穿一孔，讓光線從此孔穿入暗室內，再拿一具三稜鏡 (Prism)——就是一片有三

邊的玻璃——來，觀察光線通過三稜鏡的時候，有什麼變動。他發現白色的日光，經過三稜鏡後，被分為數種顏色。他又將窗上的孔改為縫，仍舊讓光線通過三稜鏡，牠發現白色的光，分成了一條有各種顏色的帶，這些顏色和虹一樣。這種顏色帶現在叫做「光帶」Spectrum，因此許多的宇宙神祕，就表現於科學家之前了。

分光而構成虹的兩點 這個實驗，證明了一件總想不到總不相信的事情，就是普通白色的光，竟是一個各種顏色的混合品，而且那些顏色是和虹內所有的顏色一樣的。虹的本身也是由白色的光構成的，因為白色的日光，從天空中無限的兩點間反射出來，就分成了各種顏色。這些兩點恰和牛頓的三稜鏡的功用一樣，並且理由亦相同。這種光的混合性的大發明，可視為這一部分科學的真紀元。

牛頓對於這事情自然是很留神的；他明白什麼現象發生了，並且明白這種現象如何發生。他見常光經過三稜鏡時，光便被屈折的。我們很知道光線如何能屈折。光的進行，當沒有阻礙時，是絕對的成直線的，無論進行到多少遠總是如此，但是當牠由空氣裏到水裏，或者由水裏到空氣裏，或者由空氣裏到玻璃裏，或者由玻璃到空氣裏，或者在別的情形時，光線便被屈折了；所以光線從三稜鏡裏出來，會成各種不同的角度。

倘若那樣，那麼原來光線是穿過小孔射在對面的牆上的，當牠經過三稜鏡後，這穿過小孔的光線，必不能射到牆上原來的地方了，因為牠進行的路程，已為三稜鏡所改變。但是正因為白色光不是一件簡單的東西，牠是一條虹內各種顏色的混合品，所以許多別的情形又發生了。

分開日光內各種顏色的小玻璃片 光線因為各種顏色光線的曲折不同，所以可以互相分別。如牛頓所

發現的，紅色光線是曲折最小，紫色光線是曲折最大。光線入三稜鏡時是混合的，出三稜鏡時，結果便各自依類分開了，紅色光線由牠本來無三稜鏡時的路和所發生的曲折最小，紫色光線的曲折最大，其餘數種顏色光線的曲折，依次分配在二者之間。

牛頓不但發現了這種事實，牠並且發明了正確的定律，明示這些光的顏色，不是光射到或透過什麼東西的結果，乃是各種特別光線的天性如此。假如一樣東西是紅的，那因為牠祇將紅色光線反射到我們的眼睛裏。如他所說的：『有些光線祇推出一種紅的光線，並不推出別的；有些祇是黃的而不是別的；有些祇是綠的而不是別的；其餘以此類推。』他又觀察出來，關於這些光線的曲折，有一絕對的定律，就是同顏色的光，屈折的度數總是同的，與光的來源沒有關係。牛頓這一個簡單的定律，已經引起了許多的結果，就是只記載他們的大綱，也可以成功一本鉅作。地球上許多地方，都有大實驗家，在那裏苦心孤詣的，專用日光來重做牛頓的實驗，並不做別的事情。

小小顏色帶內的大神奇 我們已經知道所找出的顏色帶叫做光帶，光帶裏的各樣東西都已研究過，討論過，注意過，並且還描寫過和測量過，我們已能分析光帶，和我們在玻璃器具內分析化學的混合品一樣。這種科目叫做『光帶分析』Spectrum analysis。

光帶分析不僅用之於日光，亦能應用於從月球和火星所發來的光，以及從各種行星上所發來的光；甚至牠已經被應用於由恆星發來的光，和由彗星及星雲所發來的光。我們已經研究過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。用各種方法，我們能夠看見光帶中不能見的部分，如紫色以上和紅色以下的諸光線。紫色以上的光，我們可以用攝影法得到牠，紅色以下的光，可以因熱的運送知道牠。光帶我們在上面第十五頁星的顏色一課中已經讀過了。

在光帶的各部分中，我們能找出幾條黑線。牛頓不曾留意這些東西，但是他們比光帶本身更加重要，更加有趣。這種黑線裏面的每一條，都可以告訴我們，這光線是從那一種礦物質發來的。這種實驗稱牛頓的實驗而起，於是我們可以知道太陽裏那幾種原子是發光的。

一片玻璃能告訴我們諸星是由什麼物質構成的。用三稜鏡的分析光帶，告訴我們太陽和諸星，以及諸天體，是由什麼原質構成的。這種實驗，證明火星的空氣裏有養氣和水分；又可以襄助我們分別各種原質；可以從別的物质裏找出極少量的物質，這種物質我們沒有別的法子可以檢出的；甚至可以告訴我們諸星或是向我們行動的，或是背我們行動的，以及他們行動的速度是怎樣。光浪說不到十九世紀，已有人說起了；當我們讀這本書裏的聲學時，我們應該知道光和聲的相同點，引起了一位英格蘭的大科學家湯姆孫楊博士 Dr. Thomson Young 的疑問，他說，是不是牛頓的光子說是對的，光是不是須和聲一樣由浪構成的？楊因此發明了一個奇異的實驗，就是在有一種情形之下，光與光相加，將發生黑暗，因為這光線的光浪與彼光線的光浪干涉而相消的緣故，和聲浪互相干涉所發生的現象一樣，也和我們所見的水浪從防浪堤湧回時一樣。自從光浪干涉的事實發現後，關於光之成因的學說，除光浪說外，再也不能有第二說了。

現在我們不僅要證明光浪說，並且要述光與聲的有趣的異點。

爲什麼一條光線不能傳出來充滿一室？假如我們將一條光線穿過一孔，當牠行動時，牠的確是向外傳開的，但是牠總不會和聲一樣。聲會平均的向所有的方向傳開，正像屋中央點的蠟燭所放出來的光。光線總只是一個狹條，不向旁邊散開，所以光不能像聲的那樣散開充滿於屋內。這究竟是什麼緣故呢？這個解答乃是由光線同旁邊所發出的浪，幾乎爲了互相干涉，盡行消滅的緣故。這樣，可知除非光是真正由浪構成的，否則這種干涉而相消的事實是難以解釋的。這個發現，是一位法國人做成的。此後馬克斯維耳就在大不列顛繼續着研究光學，結果不好，於是證明光永久是電浪行經以太面成的。

現在我們要研究一些光浪的性質。第一步，我們須記住光浪和聲浪到底完全不同的，恰和無線電報的浪一樣，光浪是在以太內行動，是以太所構成的。普通的物體，如空氣，水，或玻璃等，地球上都是有的，對於光總不免有些影響，甚至有許多別的物體，更可以叫牠完全停止。但是無論光在什麼地方，或者射過水內，或者在空間裏從甲星行到乙星，那裏并無物體，光浪總是在以太內，并不在其餘的東西裏的。

以太，有時叫做「傳光的以太」，是各地都有的，與物體的有無並沒有關係，光是在以太內傳到我們的眼裏的，牠經過空氣，正和牠完全沒有經過一樣。以太的浪可以因物體而生曲折，例如我們看見光穿過玻璃，亦能因物體而反射，例如我們在鏡內能看見光，也能被物體所吸收；例如光照在黑色的平面上，他們也時常會遲遲的穿過物體；可是光浪總是常在以太裏的。

夜間我們怎能看見太陽光，但是上面所說和物體對於光浪的全部影響，還是相差很遠；因為光浪雖然是一種以太浪，還是要有物體發動他們，除了物體之外，沒有別的東西能發動他們的。世界上所有一切的光，都是由發光的物體而來。Lumen 是拉丁文的光字，所以英文的發光體，便叫做 Luminous。

蠟燭光是發光的氣體構成的；電燈泡內的細絲是發光的固體構成的；太陽、星球，以及各種能自發光的物體，都是由發光的物質構成的。但是我們所見的東西，并非都是發光體，因為我們須因光而得見那些物體，他們只能反光罷了。譬如我們看月球，牠不是一個發光體，我們所以能看見牠，是因為牠能反射發光體太陽的光；我們所以能看見這頁書，也是因為牠能反射由發光體太陽發來的光，或他種發光體所發來的光。

我們必須想想，所有由原子構成的物體，都是深埋於以太之中，或者各方面都是被以太包圍住的。現在再想想，水裏有一尾魚，在動牠的尾。假使我們看着牠，我們當然會看見波紋——那就是說，魚尾運動在水中所生的波浪。無論何處的物體——如太陽，或者燭內的氣體，或者別的東西——都好像被以太的海圍住似的。所以假如物體內的原子，和魚尾一樣的運動起來，那麼因原子運動而發生的以太浪，當然是和因魚尾運動而發生的水浪一樣了；這是無論什麼時候，無論什麼地方，發光體發光的真確情形。

運動的球發聲牠那運動的原子發光 物體是由原子構成，這說法是對的。原子的本體便是光的根源。我們可以使一個鐵球搖動或擺動，在空氣內生出浪來，成了我們所稱的聲；但是球的全體運動總不能生出光來。然而假使我們將球燒熱，可以完全不必去運動牠，牠的原子卻會自己起變動，依着他們自己的方法運動，發生以

大浪，我們就稱這種浪爲光。若是這球不十分加熱，這種特別的浪將成我們所呼的紅光；但是若將這球加熱更甚，便發生我們所呼的白熱，因爲這時候球裏的原子發生混合的浪，已成了我們所說的白光。

雖然也可以說原子都能發光，但是那種光當細心考驗時——如牛頓之用三稜鏡檢驗日光——可以的確的告訴我們，牠是由鐵造成的。假如這球的品質不純粹，除了鐵的原子外，還有他種原質的原子的，這些原子也就要各自發生特別的浪，幫助全部的光；並且當這種光被分析後，我們就能夠決定這裏是有鎂的原子，有鈣的原子，和知道有鐵的原子一樣。

我們能驗知幾百萬哩外恆星內的鐵質。不論我們在室內研究燒熱的鐵絲上所發的光，或研究幾百年前離開恆星的光，我們總能得着一樣的結果。老實的說，我們不過是驗知一呎外鐵絲內鐵的原子，或者驗知極遠極遠的星內鐵的原子罷了。可是我們卻一定能夠知道，那星所發的光，是由某種某種原子，並非別種原子發生的；或者說，在幾百年前，由那星發出，現在已達到我們這地方的光，也是從某種某種原子那裏來的。那星球或者早已碎爲塵土而消滅了。我們總不能說，我們所看見的星，現在果然是在那裏；我們只能照我們所知的最近時候來說牠，例如說大約四百年半以前，牠一定是在那裏的。

各種不同的物質發出牠特有的光。化學家知道，每種不同的原子，和其餘的原子是絕對不同的，他們各能自發一種特別的光。這是一件非常的事實。但是當他們發光時，我們就來研究這種種原子所發的光，卻是很有趣味的。這些不同種的光，叫做各種原子或原質的光帶。所以有鐵光帶 A spectrum of iron 養光帶

A spectrum of oxygen 等等。

我們必須討論這些光帶，這樣會照着發光的原子的熱度而變遷；所以這種研究是特別重要的，不僅因為牠教我們許多事物的化學，連星都包括在內，也因為牠是一種檢查原質的重要實驗。

倘若同樣東西，看起來好像是一個原質，但是我們一點也不知道牠，我們看看牠有沒有和別種不同的特別光帶。倘若牠的光帶和我們所已知的各種光帶都不同，那麼我們就可以知道，牠是一種和我們已知的原子不同的原子構成的——就是說牠必定是一種新原質。不過我們時常覺得有些東西所發的光，只是告訴我們是兩種已知原質的混合物。

奇怪的能力常在空氣裏造成光 第二件重大的事實我們應記住的，就是無中不能生有。光不是一樣物體，因為物體是拿得着，切得斷的，可是牠到底是一個實在物體；牠是一種能力的形式，時常穿着空氣，由發光原質的原子那裏噴射出來。這些原子的運動，我們定須想像是極速的，爲了這種運動，才發生一種輻射，我們名之爲「熱」才發生一種相同的輻射，我們名之爲「光」。但是原子無時不運動，就無時不耗費着力；倘是只耗費而沒有補充，到時候恐怕要有破產的危險了。

我們如果記得這構成光的事實，是要有所消耗的，那末我們要想從一個物體得到光力，我們就必須加入一種別的能力。我們通電力到金屬的絲裏去，我們才能得着光；我們利用燭的炭養二氣的化學能力，我們才能得着光；我們能燃燒輕養二氣，發生多量的熱力，使一塊石灰的熱度很高，我們才能得着石灰光 *Lime-light*。

但是能力沒有來源，總是得不着的。宇宙間各種發光的原子，是在漸漸變低他們的溫度，這種降低的度數，和因放光放熱而失去的能力成比例，除非再有一種新能力來加入，久後牠必定要變得又冷又黑。銑 Radium 就是這樣的一個好例子，牠從牠自身內發出輻射熱和各種光，牠必須將牠的原子破裂，變成能力較少的簡單原子。

若沒有太陽光何故地球定要滅亡 光不能無源而發生，我們已經知道了，但是天空中的大發光體，不久要取去，要變冷，正和一根紅的火柴頭一樣，我們尤其要明白的。我們一注意到我們自己的太陽，我們就覺得這事有特別的重要。我們地球上的熱和光，都是從太陽裏來的。牠的光線射到我們世界上來的意思，是爲了人類的健康，生命和快樂。但是太陽是在日漸變冷着，到牠變冷了時，地球上的生命當然都要死去，就是別的行星上，依靠太陽的生命，也都要同一的滅亡。光的造成，就是力的消費；太陽是在消費着力，力只消費而沒有補充，太陽當然要變冷了。

所以太陽總有一天變得冷而黑暗和天空中其他的無數星球一樣，就是各種明亮的星球，也難於免去這樣的事。

奇妙的鍵盤

給我們光和色的看不見的波浪 光是由以太中的波浪組成的，並且我們知道牠的構成和聲浪大不相同。

聲浪是一種一推一曳的波浪，在聲浪進行的線上移動；光浪的運動，卻橫向着和光所進行的路成直角。普通光浪或是上下運動或是向兩側運動，但是我們可以明白知道，所有光的波浪，祇有向上下向兩側運動的兩種，再沒有第三種的。在一縷光內，除卻呈一種特別角度進行的光線以外，其餘的光線都可以分開來的。

這種事實的確可以辦到。當光穿過一種似乎很透明的結晶體時，除那一種有一定運動方向的光線得通過外，其餘只好一概折回。

這種可注意的事實，有一個極不佳的名稱，叫做「極光作用」Polarization。就是天空的光多少也有些極光作用，因為光浪向各方的分量，並不是相等的緣故。假使我們就紙上繪一張星形圖畫，畫許多線穿過牠的中心點，於是那星在紙上一一起一落的移動，就和一條光線的運動一樣，並且這許多線可以代表構成光浪的無數數的方面。

現在我們可以明白，假使有一件東西和這個星一樣，向一定的方向進行，若遇成一定角度的長縫，必發生障礙；譬如說那長縫是自上而下直列的，則諸浪之中，除卻向上下移動的浪可以通過長縫外，其餘的都不能通過去，而通過的浪就成極光。人的眼光不能分別其中的異點，但是用一種別的法子可以證明出異點來。我們不要以為果然有像這種實質有的長縫存在，要知道這種說法，不過是告訴我們，當光成極光時有這麼一回事發現罷了。

普通從天空來的光，多少總有些成極光的，但是光線行經冰島方解石——一稱冰蘭石——Iceland spar的晶體而成極光的，是一個最好例子，我們眼睛看起來，並沒有什麼特異之點；可是牠雖然似乎是很透明的，除了

和牠的特別角度恰合的波浪外，其餘的波浪，卻一概不得透過的。波浪的定律，在許多方面都是相同的，但是一朝發現了聲浪和光浪兩種波浪運動的方向不同外，我們就知道極光這一件事，是光浪的特點。這種往來推曳構成聲音的波浪，不能有分極的現象發生的。

透明而不透光的物體 當光成極光時，祇有在一定的情形之下，才能通過透明的物體。例如光線已經透過了一塊冰蘭石的晶體，牠必定可以通過預放在第一塊冰蘭石同一直線上的另一塊冰蘭石晶體；但是若將第二塊晶體稍微移斜，那麼通過第一塊晶體的光就不能通過第二塊晶體了。

這種情形，就和一個長人經過狹門一樣，他既然可以走過一個狹門，自然他也可以走過許多和這門相等的相連的門；但是假如他走到一個門邊，那門口不是向上下直開的，倒是向左右橫開的，他就不能走過那門了。這個例子可給我們一種關於光線分極何以不能通過透明晶體的理想。

我們知道，在聲學內有所謂高低的一律。就鋼琴說起來，有許多不同的音調，從低音到高音排成了一種有規則的行列。我們也知道聲的高低，由於每秒鐘內聲浪數目的多少，譬如甲音每秒鐘的聲浪數目比乙音多一倍，甲音就比乙音高一倍。

構成聲的波浪和構成光的波浪 鋼琴通常都是由七個音程 Octave 組成的，有時更加上三個音調，不必再很大的向兩方面擴張出去，而令所發的聲出乎我們聽覺所能感受的範圍以外。因為有了十一組音程，雖然是敏捷的聽官，也不能感受什麼了。我們記得牢這事是好的，因為牠很容易懂得，並且是能夠幫助我們領會

許多關於光和顏色的事實。如果光是由以太浪構成的，那麼這種浪的數目，不論牠如何變動，一定也能和聲浪一樣的，使人可以捉摸，於是我們便可以叫光也有高低，和聲音所有的一樣。雖然，每秒鐘內，由光發生的波浪數目，比聲浪的數目多到幾十萬倍，然而他們都有高低，卻是相同的。聲浪的數目彼此多寡相差很多，自然和聲浪數目的情形一樣——甚至那個數目為這個數目的二倍，所以我們可以說，甲種光比乙種光高一倍。這種高低情形，自然可以向兩方面擴充，事實上也的確如此，但是饒有趣味的一件事，就是聽官雖然大約能聽到十一組音程，而目光所能看見的，大約祇有一組的光程。

一個自然而然的要發生的問題就是：光的那一種事實，會和聲音的高低相關的？答案便是顏色的奇妙。

我們所稱為顏色的各種光 光的顏色就是牠的高低，我們從光帶——在前已經讀過——依了次序觀

察光的顏色，從紅色一直到藍色，和留心聽鋼琴所發的一個音程相當。我們知道，在聲音這件事情裏面，雖然有些音調是由同一速度的聲浪構成的，但是有許多卻不是僅由一個音調構成的。音叉所發生的聲音只有一個簡單音調，可是西洋胡琴，鋼琴的弦，或者人類的喉音，卻有一個高低不同混合而成的音調。

像這種法子一樣，光也可以由一種高低相等的波浪構成，或者也可以由高低不同的混合波浪構成。各種顏色的不同，由於構成那各種光的波浪的高低有異，而我們的眼睛，就拿某種光和某種顏色相像，或不相像的話來斷定他們。

我們記好，顏色是聲的高低，恰和我們說光的高低是聲音的顏色一樣的。

當我們觀察光帶時，我們知道各種不同的顏色，雖然漸由甲種過渡到乙種，但是我們仍然能將某種顏色分別開來，并且我們能說出他們的名色和數目來。但是我們應該明白，這種顏色，乃由我們心理的特別感應以為如此而發生的，到底顏色的本來，是以每秒鐘波浪數目的多寡而定。并且在我們的視覺範圍以內，所生波浪的數目，在每秒鐘內各各不一，倘若各種波浪的速度所發生的各種的光，我們都能看見，那麼我們便可以看見許多特種顏色了。所以雖然我們所見的顏色種類這麼少，其實有無數的百千萬種顏色存在着。

構成紅色光的長波浪和構成紫色光的短波浪。波浪形體的大小，恰和波浪的數目一樣，也是每秒鐘有變化的。波浪形體大小的特別名詞，叫做「波長」(Wave-length)，按照規則，波長愈長，則每秒鐘內波浪的數目愈少，波長愈短，則每秒鐘內波浪的數目愈多。所以我們在光內所能見的一種最黯的顏色——幾乎不易看見的紅色——每秒鐘內所有的波光數目最少，而光長卻最長；換一方面說，如紫色，牠的波浪最快而波長最短。

我們當然不可以將每秒鐘內波浪的數目，和光的進行速度弄混了。譬如一個生有長腿的成年人，和一個生有矮腿的小孩子比肩而行，他們的速度可以是恰恰相同的，不過小孩子的三步，祇抵得成年人的一步罷了。所以和這種例子一樣，所有各種光的進行速度都是相等的，不過紫色光的波浪等於小孩子的矮腿快步，而紅色光的波浪卻等於成年人的長腿慢步就是了。

為什麼照相器能看見眼睛所不能看見的物體。光的波長的研究，是一件非常有趣味的事體，因為我們能看見這樣小的東西，自然有些奇妙的。光浪的波長，直小到這步田地，就是幾萬個光浪也可以相連着橫列在一

吋的小小長度內。當我們想用顯微鏡來看這麼極小的物體的時候，我們就可以知道光的浪長這一個問題是很重要的。光的浪長愈短，則兩波浪的接觸愈近，我們可以在較短浪長所成的光中，觀察出他們的分別來。但是有時波浪太相接近，當我們在稍長的浪長所成的光中觀察時，就不能將他們分別清楚，只覺得他們是合為一體了。所以我們所看見的東西，不論是藉着較長浪長構成的黃色光，或藉着較短浪長構成的藍色光，總是有分別的。

困難的地方，就是我們的眼時，對於浪長較長的光線易於感應，因此就不利於觀察極小的物體。 照相片對於光線的感應恰和這種情形相反。牠對於浪長較短的波浪，比較對於浪長較長的波浪易受影響。所以當我們的目光無能為力的時候，照相片在一定的範圍內，倒可以和顯微鏡用在一處，在紫色光中看見那些沒有別的法子可以看見的極小的東西。

奇妙的變琴光線的奇異影響 大家都是知道愛克司光線 X-Rays 的，發明家是變琴教授 Professor Röntgen，所以牠又常叫做「變琴光線」Röntgen rays。變琴自己稱牠為愛克司光線，因為愛克司 X 這個字母，在代數學上常用來代表未知數的，變琴不知道這種光線的波浪是什麼，所以牠這樣稱牠。雖然不能決定，但是大概還可以說，這種光線確是一種尖銳的高調，或者比紫色光還要高上好幾倍。

我們現在還沒有知道構成愛克司光線的波浪數目每秒鐘有多少，並且也不知道他們的浪長是幾何。據說有許多人能够不清楚的看見變琴光線。可是以為所有的變琴光線都是一樣的，那就是一個大謬誤了——

因為各種變翠光線確是大不相同的，或者他們的不同處，正如紅色光和紫色光的不同相似，就是他們不同的理由，或者也恰恰相同。

起初愛克司光線不過是一種奇怪的東西，後來因為牠能射過身體的各部分，各部分的影子顯現出來給醫生一種很有價值的指導，所以就變得很有用處；再後來，發現愛克司光線對於生活的動物，以及我們人類，會發生一種留痕的奇怪影響。我們研究了這種事實，當然我們對於這種光線的研究，覺得很為重要——我們要在他們中找出各種可能的種類，研究出他們對於人身所生的各種影響。

我們知道，紅色光線以下有輻射熱的光線。這些輻射熱的光線，也彼此大不相同，恰和能見的光線的不同一樣；有一位美國研究輻射熱的學者，對於輻射熱曾有奇異的發現。這些光線不能被人看見，不過當光線不能被人看著時，可以用一種別的法子來研究牠。例如我們可以由於他們所發生的熱力來加以研究；所以這位科學家就發明了一種極精密的器具，這器具便是寒暑表，不過他這表比了日常應用中最好的寒暑表還要精密得許多。他用着這個寒暑表，他就能將熱波浪 Heat waves 研究得很詳細，他也指出，這些熱的波浪是彼此不同的，也可以列成一條很長的光帶，恰和我們所能看見的光的光帶一樣。

這種光帶，當然是別一種光帶的連續光帶。并且這種光帶裏面，也含有許多線和段落，正和能見的光的光帶內的黑線和段落相當。

給我們光和電的無形波浪的鍵盤 這種以太內的波浪所組成的奇妙鍵盤，還是要擴張到熱光線以下。

那在熱光線以下的波浪比較的要大些，遲緩些。因為這種波浪都是電浪，所以我們可以由他們的電氣性質而知道他們。那些綠電話和電報的線在以太內而行的波浪，和不用電線的無線電報的電浪都是。祇須在那鍵盤上而下移動，就可以由可見的光，一直達到構成電流的波浪，這於我們非常重要非常有用處。

這種意思，就是光和電的相似，正和從鋼琴中部及底部所發的聲音相似一樣。我們可以應用聲音這名詞，來描寫光和電，因為他們實在是一樣的。所以我們可以說，電浪實是一種視而不見的光浪，但是這種說法不能算作頂好的。形容他們的頂好方法，就是說明光的電氣論，或光的電磁論。這個理論的意義只是說光就是一種電。所有以太內的波浪，進行速度相同的便為相同的一類，所以形容他們的最好法兒，就是用着電這個名詞。

刺激我們眼睛的光浪和刺激我們皮膚的電浪 我們身體內的視官，有感受這些電浪中一部分刺激的能力；這些電浪我們給他們一個名字叫做「光」。光的確也是一種電。別的一種較長而每秒鐘內發生較少的電浪，影響於我們的，卻另有一種不同的方法。這些電浪並不刺激我們的視官，卻能够刺激我們的皮膚，有時我們竟因為受刺激而跳躍。

電浪，連光浪在內，都由直線進行，所有他們的速度都是已知的。光的強度 Intensity of light 在離發光波漸遠便要迅速的降低，恰和聲音，地吸，或磁石的吸力各情形一樣。牠的規律是距離增加二倍，強度便減至原有的四分之一；三倍距離，強度便減至原有的九分之一，餘以此類推。換一句話說，光的強度和其餘的那些物事的強度一樣，和距離的平方成反比。

在輻射熱的情形中，有些物體會讓光穿過，有些物體會將光吸收了，又有許多物體會將光從他們的表面上反射出來。各種物體對於光各具有這些不同的行為，他們間不同之點，還沒有一個人能夠完全知道。我們能夠大略知道一些。

光因為變成熱而失去 當光被吸收了時，並沒有消滅，因為我們知道物質是永不會消滅的。宇宙間所發生的各種現象，或在外面，或在人身內，並不是消滅的，祇是轉變的；就這種情形說起來，便是光轉變為熱的一番事實。那是一種唯一的法子，可用來解釋我們日常習見熟察的事實——如物體受日光曬後變熱；黑暗的物體尤其這樣。我們也知道，當物體讓光通過時，光浪行過物體裏面的以太是有問題的；例如光透過玻璃片這件事，因為無論一種物體透明到什麼田地，總不能讓射在牠身上的光完全通過。玻璃片也是如此，無論那玻璃片怎樣磨得平滑，終不能讓光完全通過，我們眼珠前面的美麗部分也是如此。

為什麼我們能在火車的窗上看見我們的面孔 證明這些東西不十分透明，是很容易的，因為當火車在山洞內時，我們若用着適當的方法，便可見有我們的小影從窗間玻璃上反射出來，或者當我們同一個人相對時，用同一的方法，我們也可以看見有我們的小影從那人的眼珠表面上反射出來。這些反射現象的意義，是表明光會被折回而射到我們眼裏來的，所以可知那物體不是十分透明的。

我們雖然不知道，何以某種物體能反射，某種物體不能反射，我們卻仍舊可以研究反射的定律。這些定律不單對於光是很對的，就是對於輻射熱和聲音也是對的；玩過檯球和小彈子戲的人，和將以皮球向牆壁打擊的

人，個個都知道些反射的定律。

我們知道，當我們將球直向牆壁拋擊時，他便直向我們反射；若是我們將球斜擊時，球便斜的向前進行，牠折回的斜度，恰和拋去的斜度相等。倘若球在彈子檯上輕輕地成功一個角度，碰着檯邊，牠將由同等的角度折回。那球向檯邊進行的角叫做「射入角」Angle of incidence，而彈子球，光，以及他種和這些一樣情形的定律，就是射入角等於反射角。

眼睛和幻燈能改變光的行徑。光另外也有一種幅射熱和聲音都有的現象，叫做「屈折」Refraction。我們必須將這個名詞的意義和反射分辨清楚，反射是彎曲回來 Bending back 的意思；但是屈折的意思是分散回來 Breaking back 而言。當光從一物體經過到他物體時，時常分散開或者屈折着，而這種屈折也是有定律的。屈折這事極其重要，因為有些東西，我們只有靠着屈折纔能看見。我們眼睛的前部，真是一個奇妙的機器，會將射入我們眼中的光線屈折着，使他們集於眼中後部的網膜上，這樣就成了很清楚的物像，於是我們能夠看見東西。各種眼鏡也是爲了這種同樣的目的而設的。其他如顯微鏡，望遠鏡，幻鏡等的用法，都是利用這個屈折光線的能力。

各種不同的物體，具有各種不同的屈折光線的能力。例如金剛石，使經過牠體內的光線改變途徑，遠勝於水，這便是何以金剛石成爲這樣光輝的緣故。

但是各種光線的本質，能感受屈折的能力，也各自不同；屈折這事是牛頓偉大實驗的關鍵。他的三稜鏡，不

過要使經過他的光線發生屈折，他的實驗成功了，就因為各種光線，在一定的的方法中，各有一定程度的自己屈折。光帶的發生，也完全是由光線屈折的可能。

爲什麼我們永不會看見諸星的真正位置 假使我們要問，爲什麼光線由一物體到他物體會發生屈折，我們可以得到一個不易的解釋。就是光浪的速度穿過一種不同的物質時，就要有一些變更，而且不同的光浪，還有不同的結果。簡單的規則，便是物質的密度愈大，光線的通過便愈慢。

當光線從真空傳到空氣內時，牠的曲折和牠速度的變更是很微的。因爲有了空氣作成的屈折，所以我們看天上諸星，總得不到他們真正的位置，只能在真正位置旁邊一些看見他們。我們當太陽已降至地平線下時，仍能看見牠，也因為光線在空氣中屈折的緣故。當光線由空氣入水中的時候，光線更加屈折，這些事實的解釋，便是因爲光浪在水中進行，比在空氣中稍緩，因爲水的密度比空氣大。

我們已經見過白色光怎樣因屈折而分爲顏色光。但是反射這種方法也能發生顏色的，而且宇宙間的顏



圓中是冰島方解石所顯出來的兩重折光，使會後靜上的字母在前看去有兩重的形影。如果把這石放得斜成一個什麼角度，牠就會變得不能看到牠的背後去了。你只要看石的兩端不透明的地方，他可明白。

色，實際上都由反射得來。日光確實有牠自己榮耀的顏色，我們雖然說牠是白色，其實是略帶些黃色的；其他發光體如火燄，也有他們自己的顏色，因為他們所發生的光裏面，含有多量的紅色或黃色或綠色的光線。但是除此以外，各地球以及地球上的物體，雖然他們不是發光體，他們也有顏色的；他們這些顏色，就是由射在他們身上的光反射出來的。

我們可以說，他們這些反射，是有選擇性 *selective* 的。白色的物體沒有選擇性；牠所以白的緣故，也是因為牠沒有選擇性，牠只將射於牠身上的光浪完全反射出來。不發光的物體，牠不能有所創造，不過祇能將射到牠身上的光線反射出來罷了。假如我們用紅色光射到牠身上去，牠便成紅色；假如我們拿混合的白色光射到牠身上去，牠便成白色。這就是發光體和不發光體間的一大區別。

我們想一想，光這個東西是何等的大，何等繁雜呵。譬如聲也是由液浪構成的，牠和光雖有共同的定律，可是就牠自己說起來，比較的總是要算簡單了。因為聲是物質內的波浪所構成的，所以研究牠的時候，可以不必要追尋到物質的範圍以外去就夠了。光則不然，牠是由以太內的波浪所構成的，物質只是製造牠的工具；牠能被物質反射，被物質屈折，而物質也夠選擇牠的不同部分，用不同的方法加以屈折，加以反射，加以吸收。甚至透明的物體，如有顏色的玻璃，雖然牠能容別的光線通過，卻多少總要吸收幾種光線；所以不但我們在以太中的事物知道得很少，就是不論什麼時候，講到以太和平常物質的關係，我們也就要遇着許多問題。

所有這些問題，都是還要等待解決的，他們必成爲將來的科學。

此外另有一大部分關於光的研究，要是詳細寫起來，恐怕會成功若干厚冊的著作。他們所說的，還不過是光線，和他們屈折的定律。這一部分的研究，需要多量的數事，所以稱牠爲「數學的光學」Mathematical optics。這個题目的研究，也是無窮盡的，並且是很重要的，因爲牠是用顯微鏡，望遠鏡，以及別的各種不同的光學儀器的基本。

現在我們當然應該更加研究我們自己這個時代的大發明，那就是光確是電性的，牠的真義，除非我們將所有的電浪一起都研究過，才能真正懂得。我們所研究的各種光的事實，都是電的事實，而我們所研究的各種電的事實，就可以輔助光的研究。在大不列顛，除了發現充滿宇宙間的光是一種電性和磁性外，再沒有比較更著名的大發現了。

宇宙的大神秘

電和磁的奇異 琥珀的希臘名字是電子 Electron，早已有人發現琥珀受了摩擦後，便能吸引很輕的物體；這種電子，或琥珀的狀態，便叫做「電」Electricity。因爲這種電是由摩擦而生的，所以有時叫做「摩擦電」Frictional electricity。此後人又找得許多別的物體，經了摩擦，也會有同樣的性質的；大家研究這些奇怪的事實，覺得很有趣。再後來些，又發現如有些化學的混合物，排成所謂電池的樣子，就有些東西沿線而行，這東西便叫做「電流」Electric current。

這一部分電的研究，曾有人用心研究過，因為這種沿線而行的電流，可以用來幹許多事情，牠可以隨時被用來叫鈴發響；一部分的線可用來發光；或者將電流的能力變為運動力，而行駛電車火車等。

電流不必一定須由電池或電瓶發生，但是無論牠是怎樣構成的，牠總可以供給各種目的的用處。我們能由這種沿線而行的電流送信，又能用這種方法說話。最近我們知道，電線不是必需的，沒有電線也可以送信的，並且說話也可以不必用電線的，我們就有了無線電報和無線電話。另有一件東西叫做磁，起初也是很簡單，和電的最初一樣。有幾種鐵類能夠吸引鐵或鋼；一片鐵有這種性質的，便叫做磁鐵 *Magnetic* 或磁石 *Magnet*；一片鐵要是和磁石接觸了，便能變成一塊磁鐵。

我們取一塊長的鐵，把牠變得有磁性，我們便可以叫牠做磁針。倘然將這磁針懸在空中，我們可以看出，有一端常向地球的北極 *North pole*，而他端常向地球的南極 *South pole*。

無論牠的意義怎樣，牠是很便利而有用的，因為由磁石做成的指南針是人類旅行必攜的東西，雖然一個星也看不見時，牠始終會告訴我們北邊的方向，恰和我們知道了琥珀便發現許多新事物一樣，我們明白了一塊馬蹄磁鐵，也就知道許多奇怪的事實。我們從羅盤上的磁針講起，牠的行動，完全是為了地球自己是一個大磁石，所以磁針的一端指着地球的一極，而他端指着他極，恰和我們捏在手中的小馬蹄磁鐵，能使鐵屑聚在牠的二極一樣。或者有人要問：地球怎樣能夠和一块馬蹄磁鐵一樣呢？但是我們不要被這種磁鐵的形式誤會了。馬蹄磁鐵也不過是一條鐵，一端和地球的北極相同，他端和地球的南極相同，不過因為便利起見，變成馬蹄式。

罷了。

我們又知道地球的磁性，並不是恰恰在白南極到北極的那根直線上的。磁的北極，雖離地的北極不遠，卻不就在地的北極；而磁的南極，雖近地的南極，也不恰在地的南極那裏。所以羅盤針并不直指着地的北極，只指着近北極的磁的北極。

日球中的磁如何變更地球上的天氣 現在雖然磁已成爲科學上的奇象，使我們知道地球也是一個大磁石，可以稱得一個大進步，可是這還不夠。我們關於磁的智識，已經進步到能够使太陽裏的磁，和地球上的磁一樣，供我們的研究，恰和我們關於電的知識，已進步到知道牠在世界上各處都存在的一樣。

許久時以前，便已知道太陽裏發生的事情，和地球上的氣候，一定是有關係的。太陽裏的黑點，和地球上的磁針有些關係，也是已經知道了。現在又發現太陽的黑點，是因爲磁在太陽內活動的線故而生的。將太陽黑點發來的光線，用光帶分析的方法，如前第十七頁所說的，仔細研究後，找出了幾種現象，使我們知道這是由於磁的影響。這件事可以幫助我們了解，爲什麼太陽黑點和地球上磁針的擾動彼此各有關係。因此我們對於磁的見解，漸漸擴大了，對於牠最近的發現，尤其特別有趣，因爲牠是藉着我們剛剛學過的光和光的壓力的，也是藉着地球是一個大磁石的事實的。這最近的發現，就是北光 *Aurora Borealis*，在第十五頁我們已經讀過了。現在我們仍舊研究磁和電所能作成的事情罷。

以太浪構成的電流 我們知道光是以太浪構成的；我們也知道這種同樣的浪，在我們所能見的光浪以上

或以下，仍然存在，構成了一個很大的統系。我們更知道所有這些波浪，確實的都是一種電流；並且他們行動的速度相同，而有同一的公律。他們在以太內行動。我們必須清楚的知道，所有的電流都是在以太內行動的。他們是一種以太浪，不論他們在空氣中不藉電線，或通常依電線而有一定的方向行着，都是一樣真實的。

因知識的增加，使舊名詞而有新意義，是一件不幸運的事情，因此我們要弄不清楚了。在電學上是有這種情形的。如存在以太內的流，或浪，我們還不能十分了解他們的意義。但是這個名詞，現在完全根據了新的發現，已有了別的新意義了，我們切不可不要被牠再弄混了。在這個名詞的意義內，我們現在就可以很正當的說到電的原子，我們只不要給原子和電的新意義弄糊塗。

奇怪的發現——物事都是電構成的。現在仍應用的原子的舊意義，是化學家所知道的徵點，例如構成金、炭，或養這些東西便是。可是近來的新發明，卻說這些東西都是由別的東西構成的，這些構成物質的別的東西是能發電的，並含有電的全部性質的，所以祇可以叫他們電。像這樣的研究起來，物質便化成一種能力了。

構成原子的徵點叫做「電子」[Electron]，我們以前已經講過。電子的特色，便是他們的偉大電力；他們都帶着電。各種原子的電子都是一樣的，所有的原子都帶有分量相同的電，不多也不少。這種現象是很重要的，可怪的，因為無論什麼東西最後的分析，覺得都是一樣，而從這些相同的電子，卻可以構成許多不同的東西。但是更可注意的事情，也就此發生了。

構成太陽諸星以及各種物體的電的原子。我們已經說過，電子總帶着一定分量的電的。當我們研究電

子的速度，體積，質量，以及他們所有的性質時，我們便有一個大的發現，只要我們肯相信事實，所有電子的性質都可由他們所帶的電來解釋。所有他們的性質都是電的性質。所以我們可以用電來計算我們所知道的東西，不能沒理由的承認世間仍有第二件東西存在。所有的祇是電——祇是電的原子，並無別物；我們所能够得到的唯一的結論，便是一切物體都是由電造成的。

電的原子聚集在一塊兒時，有一定的方法，排列成一個統系，和太陽系一樣，或者和昴宿的星團一樣，造成了我們所習知的物質的原子和分子；明白了這個，我們就不必再拉扯別的東西來了。因此我們知道，最初電的得名，不過是因為琥珀的磨擦；到現在居然弄得各種物質的本體，也不過是一種簡單的電所造成，而並不是什麼別樣東西了。

兩種互相吸引的電 以前很久的時候，便覺得電有時會表現出一種現象來，叫人設想牠有兩種不同的電，這兩種不同種的電他們叫做『正電和負電』 Positive and negative。受有磁性的物體，也有大致相同的情形，牠的兩端或兩極是不同的。這兩種不同的電會互相吸引，但是兩個物體受有同樣的電的，便互相推拒。同樣的方法，一塊磁石的北極，會吸引另一磁石的南極；但是同極便相推拒，恰和同樣的電一樣。所以我們應叫羅盤針的北極爲『覓北極』 North-seeking pole，因爲牠是和地磁的北極反對的一極。

這些兩種相反的電的事實，發現得已經很久了，現在可以應用於我們新發現的物質都是電的事實上。相同的電互相推拒。我們已知道構成原子而從原子放射出的電子，都是帶着我們所稱的負電的。比較正確些

說來，可以說他們是負電的原子。因此，照着幾百年前已發明的定律，他們應該互相推拒，而他們果然是互相推拒的。

人類從磨擦琥珀得來的異象，但是假使上面的話是對的，那末諸負電會聚集得很有次序，很是融洽，而造成物質的原子，這種情形我們將何以解釋呢？要解釋，在原子內就必定是有正電存在，會用牠的力量吸引負電子聚集在一起的。這事使我們設想一個原子，竟有些和太陽系一樣，正電可比太陽，負電可比諸行星的分子。這便是我們現在知識所能知道的，對於正電目下尚難再有所申說。

這是一件很奇怪的事情，開始不過將琥珀磨擦着頑頑，結果卻發現了一個新理論，知道了物質的究竟——如琥珀，空氣，諸星，以及別的各种物體等。雖然這種現象，還沒有將電的玄妙，完全告訴我們，離開我們現在來不及講的許多實用還很遠，但是我們有了電，差不多就已得了一切事物的祕籍。假使現在要問研究地球故事的人，什麼是現在還沒有解決的一個最大問題，什麼是現在個個人都有機會發現的最大發現，他可以決定的回答說，這便是地吸的玄秘。這便是宇宙間一種普通的力量，行動於一定方法一定公律之中的。

自從二十餘歲的青年牛頓 Isaac Newton，發現了普通的地吸公律以後，許多年來，學術界上已簡單的證明了這個公律確和牛頓所主張的一樣的。而且比了牛頓的證明，更是圓滿真實。沒有東西能阻隔地吸的行動；溫度不能影響牠，化學變化不能影響牠；據我們所能知道的，無論什麼東西總沒有一件能影響牠。我們已經簡單的證明了牛頓的定律 Newton's Law 是對的，但是在這些時代中，我們要想發現地吸的原因，卻全歸失

敗了。我們不能知道比牛頓所發現的多些。我們所能說的，只是地吸的作用，必定是經過以太或在以太內的，我們只有比牛頓多些證明，能證明以太是存在的。

爲什麼相信地球的吸力是由於電力惹起的。關於地吸的理論極多，但一個頂好的理論，卻把其餘的壓倒了。最有趣味的一件事，便是最聰明最靈巧的一般學子，都相信地吸和別的東西一樣，有電的祕密的。地吸必定是一種穿過以太的電的能力。自然現在對於這件事情還沒有證明，但是人若愈學習電和以太，愈有採取這種眼光的傾向；倘若這件最聰明的設想，普遍的地吸是一件電的事實，一旦證明出來了，那麼電學的研究，將比以前更加偉大更加重要了。

假如我們細想一會兒，以太究竟是什麼，我們便能够明白，爲什麼人要相信地吸是那麼的一回事。以太，或叫做空間的以太，最初是由於運送光的應有物質而承認的。研究自然的學子，沒有一人能相信一件東西會從甲地到乙地，而甲乙兩地中間是一無所有的。一個動作，沒有東西去運送牠，和牠相離的地方便沒有動作。假如有些東西是由太陽達到地球上的，那麼太陽和地球之間就該有一樣東西存在；這樣東西便是輸送光的以太。

太陽和地球如何能互相吸引 現在另外一件關於太陽與地球間的大事實，就是他們互相吸引；沒有一個研究自然的學子，能相信他們距離很遠，其間沒有傳達吸力的物件，而他們仍能互相吸引的。所以以太即不是傳達光的必需品，也必是傳達吸力所必需的。

我們已經學習過光是以太中一種電的擾動；我們已經學習過以太中還有別種的電的擾動，他們雖不能使

我們的眼睛發生影響，但是從他們的重要方面說起來，是和光在同一系統內的。所有以太的性質，除了這種地吸的情形，我們都已明白知道他們是電性的。

但是現在我們特別的注意些。我們所知道的這些電力，在以太內都能够互相推拒和吸引的。我們已經學習過輻射壓力 *Radiation pressure*，牠告訴我們推拒的力量能够穿過以太的；但是吸引的力量，卻也能够穿過以太。當輕的物體飛向摩擦過的琥珀時，便有穿過以太的吸力發生。電和磁是一件東西的不同部分，當磁石吸引一根鋼針時，便發生一種穿過以太的吸力。

我們將學生學習自然的最大祕密。我們已經證明了兩種吸力——電的吸力和磁的吸力——都是發生於以太之中的。可是此外還有第三種吸力，化學的吸力 *Chemical attraction*，那就是一種原質的原子，會離開自己去和別一種原質的原子構成一種化合物——甚至或者發生一種偉大的猛烈性，而發光發熱。各個化學家都知道這種化學的吸力，是很有力量的，的確是一種電的吸力。牠是經過以太而發生的。

假使我們不得不相信以太是正電，負電，磁性，化學吸力，和諸般電吸所發生的地方，很明白的，我們祇須再進一步想，便可以知道還有一種別的吸力，叫做地吸，也是經過以太而行動的，也是一種電吸。我們敢預料許多人讀過這篇文字後，將要以畢生的光陰，來觀察自然的最大祕密，就是我們上面所述的地吸的祕密。

一旦將人類掌握中的驚人的權力，沒有一個人能說，到後來事理格外昌明了，地吸將以什麼新的力量，放到人類的掌握內；因為研究地吸如何行動，迨早間便是研究如何控制牠的行動，這是給我們無限的前程的。

每天我們總用別的力平衡地殼的作用，但是如何管轄控制地殼的作用，卻另是一件事，要是能夠發現出來，一定可以作為破天荒的大發現。

我們現在對於地球的故事，已經研究得不少了；我們已經知道，人類如何開始發現這個似乎平穩固定的地球，其實的是一個圓球，牠自己會轉動，並且會飛行經過空間。我們已經研究過這球怎樣和為什麼的飛行；研究過這球只是一個系統中的一個，並且這個系統祇是空間羣衆系統中的一個。

我們對於太陽和星球的研究，已經使我們明白地球在宇宙間的位置。我們已經學習地殼上的許多事物，並且我們知道這便是生活進步的明證，且不限於生活，也是心意和愛心進步的明徵。

已經顯示在我們面前的偉大故事 我們已經研究過構成地殼的材料，和遮蓋地殼各地方，我們便在牠底下生活的大氣的材料。我們已經研究過構成地球的材料，和構成太陽和諸星球的材料是一樣的。我們已經研究過許多不盡的變遷，這種變遷是時常在地殼內，地球上的生的及死的生物體內進行的，這種變遷特別的靠着水的偉大力量。最後我們已經研究過在宇宙間工作的偉大能力，他們中有些在地球上活動，因此地球上纔有了生命。我們已經研究過運動的公律和地殼的公律；我們已經研究過聲和熱和光，以及電和磁；並且我們已經研究過些最要緊的關於人的心意的事實，費了多少年的苦心，現在已經開始漸漸進步了。

可是比以上任一事實，任一結論更偉大的，卻還有一件或兩件無上的事實和結論，他們能管轄着範圍着人類有史以來的心思。原來那已經表現在我們面前的故事，是一個世界的故事，雖然有形形色色的不同，歸束起

來，究竟只是一個。我們知道我們生於一個宇宙之間，那宇宙是一個大整體，「牠的軀體是自然，牠的靈魂是上帝。」微小事物的公律，就是偉大事物的公律。此刻的真理，就是他時的真理，宇宙間無論什麼地方，無論什麼時候，無論怎樣遠隔，總沒有自相矛盾的事實的。

物質不滅的真理 我們知道宇宙間的事物都是變遷的；但是雖然件件事物都變遷，總不會有一件越出軌範，無理由而消失的。新的事實總是常常發生，總是要靠着舊的事實為根據，決沒有新的事實可以隨便發生。我們或者已學過華滋華斯 William Wordsworth 的妙論，他曾有右列的小詩，解釋人類自從有思想後的偉大事業。這首小詩，我們可以用來將我們的地球的故事結束住：

我已知道觀察大自然了；

不像無知無識的少年時了；

人類幽沉掩抑的樂聲，並不刺耳，

雖然有那偉大的力量來修整牠，

我還是時常聽得見的。

我的心裏，有許多高尚思想帶來的快樂激動着；

那就是住在落日餘霞中，

大洋裏，太空間，青天上。

和人心裏深處的一種博大精深的感覺，
那就是鼓動有思想的生物，
有目的的思想，
和有遞變的東西的運動和精神。