

科學叢書

自然界與人生

下冊

閻王 振蔚 玉華 譯

中華書局印行

民國二十八年十一月印刷
民國二十八年十一月發行

科學叢書 自然界與人生 (全二冊)



原著者

D. C. Andrade

譯者

閻振玉
王蔚華

發行者

中華書局有限公司
代表人 路錫三

印刷者

上海澳門路
美商永寧有限公司

總發行處

昆明

中華書局發行所

分發行處

各埠

中華書局

(郵運匯費另加)

(一二四〇九)

自然界與人生

下冊目錄

第三編 工作的力

第一章 電世界.....	1
電對於人們的服務 大自然中的電 動物電 摩擦所生的電：導體和絕緣體 電的吸引力 電學儀器	
第二章 電流電.....	44
電流的熱效應 電流的磁效應 電流計 電流的化學效應：電池 電阻 電壓：電單位 電力的供給 摩擦電和電流電是同樣性質的電	
第三章 磁.....	86
指南極和指北極 磁性吸力 地球的磁性 電磁感應	
第四章 光.....	128
光和視覺 透鏡 反射 色	
第五章 無機化學.....	177
化學學科의各種分支 化學中天平的用途 元素	

和化合物 酸、鹽基和鹽 酸類的製造 純金屬
和合金

第六章 有機化學:烴類和醣類235

有機化合物的特點 碳和它的性質 石油和石蠟
系 醣:糖、澱粉和纖維素

第七章 有機化學:醇類和煤焦油270

醇和發酵 煤和它的產物:苯

自然界與人生

下 册

第三編 工作的力

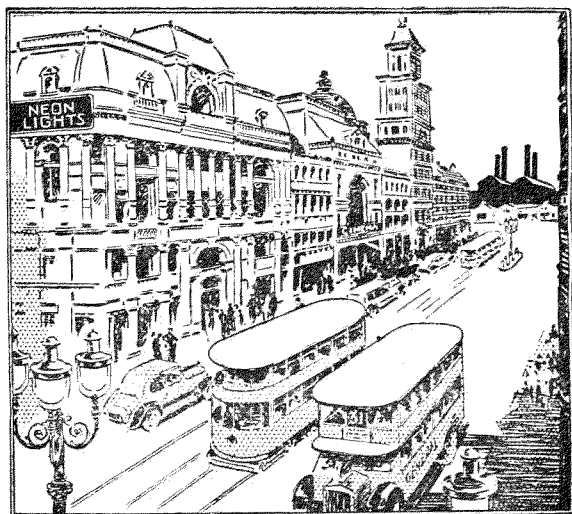
第一章 電世界

電對於人們的服務——大自然中的電——動物電——摩擦所生的電：導體和絕緣體——電的吸引力——電學儀器

電對於人們的服務 電是能當中的一種，人們把它轉變成好多形式來代替他們服役。凡是住在城市中的人們，在許多方面，沒有一個人不想到電的服務。在街道上看見的電車，便是利用電來轉動車輪；公共汽車裏汽油蒸氣和空氣的混合物，也是藉着電花來引火。在晚上，街道上有各種的電燈，和一類用細長玻璃管所製成各種形式能發紅色光的另一種電光來做廣告。隨便在什麼地方可以看見突起比附近房屋高大的烟突叫做發電廠的大建築，使我們回想到上冊書中所說需要大鍋爐和高烟囱的蒸汽機，便是電的原動力。在冬季裏，許多人家裝着用金屬線做成的電爐，便是利用電把它燒得紅熱來增加室內空氣的溫度。在夏天，利用電轉動的電風扇，使室內空氣流通，令人感覺十二分的爽快。在某

種房屋裏我們可以看見利用電轉動的縫紉機；在另一種房屋裏，真空除塵器（代替掃地的器具）也是用電來開動。事實上，無論是需要光，或熱，或輪和軸的轉動，我們都是利用電來代替我們工作。

這許多利用電的工作都是我們容易遇到的，除此而外，還有很多除了我們蓄意去尋覓，便不容易看到的一類利用電的工作。我們跑進任何工廠裏面，我們可以看見這工廠的機器雖然不能說是全部，可是至少可以說有一大半是利用電來開動。除了這些而外，在工業上另外還有一種關於化學

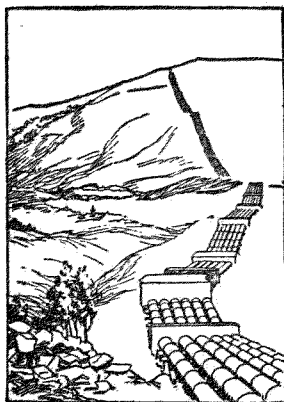


第1圖 用在每日生活中的電。圖中遠遠的黑房子便是發電廠。

部分應用電的方法。在上冊中，我們已經看見電怎樣把水分做氫氣和氧氣兩種氣體。這種工作，可說是利用電流以發生化學變化的一個最簡單的例子。差不多所有的鍍金術——用某種金屬塗在另一種金屬板上使成美觀或牢固的保護層的一種方法的統稱——都是由電做成。鍍銀的茶匙（通常叫做電鍍匙，可以使我們想到鍍金是利用電的），鍍鎳的腳踏車裝具，鍍鉻的鈕子或門上的捏手，都可以使我們想到這些工作是由電所完成。關於這一類電所做的工作，在下章中，還要更詳細的談到。

利用電的化學效應，還有很多其他的用法——例如，從天然的化合物中分析出某種金屬。雖然金屬中有一兩種像黃金有時候天生成塊狀或粒狀的純粹金屬，非常光亮，不必再行冶鍊；可是，大多數的金屬，都是和別種物質化合在一起，成為像石塊樣的化合物。當你初看見這種石塊的時候，你決不會想到它們是光輝的金屬和一種氣體或是光輝的金屬和硫磺所構成。例如，自然界中所產生的鋁，就不是單獨存在的金屬；許多陶土，便是含着大量的鋁和氧的化合物。你所看到製成器皿的鋁，都是把一種叫做鐵鋁氧石（裏面含着水的氧和鋁）分解而來。惟一的分解方法，便是利用電來完成。第2圖是英國蘇格蘭甘洛斯來維(Kinlochleven)地方把水引入水輪機來轉動發電機以從鐵鋁氧石中把鋁析出

的大水管。照這樣看，電的化學效應，真是異常重要呵。



第2圖 甘洛來維地方引水入輪機以轉動製鋁的發電機的水管。

在本書後面，我們還可以知道電流可以利用來做電磁鐵；像第一編中第61頁所說的磁力起重機便是利用電的特性來做工業用途的一個很好的例子。

在工廠中利用電的熱效應，在家庭中利用的電火爐，都是極有價值。還有很多種類的電爐可以用來熔解金屬和其他很多的工作。

假如兩根炭棒或兩根金屬棒，接聯在有電流的兩根電線的尖端，先使兩根炭棒或金屬棒的兩端接觸着，經過幾分鐘，然後把兩端分開約距離半英寸，立刻便發現叫做電弧的光亮火焰，在兩端中間繼續的燒着。從前這種電弧都是用來

供給光亮，不過現在已經用別種電燈代替了。電弧除了異常光亮之外，同時發出很強的熱量，所以用於特種電爐。這種電弧還有一個特殊的性質，便是所發的熱都在弧的周圍，在工業上成爲一種特別的利益。例如，把一片金屬薄片連在一根荷電的電線上，電線的他端接上一根炭棒，如把炭棒的一端放近金屬薄片，它們間便會立刻發生電弧。靠近炭棒尖端的熱量是異常的巨大，能使金屬薄片隨着熔解，若把炭棒尖端沿一直線徐徐向前移動，金屬薄片便和被利刃所割一樣，很平滑的分成兩片。

利用同樣的方法，把炭棒的尖端放在兩邊相接的兩塊金屬板上，從它們間所生電弧的熱量，便會把兩片金屬板熔合成一片；在必要時，還可以把另外的金屬熔入在這兩塊金屬板的接縫處。這種方法，通常叫做電接焊。接焊的意思，便是利用高熱把兩塊金屬板先熔解了沿邊，然後接合一起，待冷後成爲一塊金屬板，或者可以說把兩塊金屬板熔合成一塊。還有一種電接焊的方法，是把要接合的兩塊金屬板聯在電線的一端，電線的另一端上，不接炭棒而接上一根同樣的金屬棒。金屬棒上另用一只絕緣的挾持物，便於工人把握，以免工人直接用手握着金屬棒，爲棒上的高熱所灼，或高電壓所震動。如此，將金屬棒尖端放近兩金屬板要接合的邊沿，它們間所發生的電弧的熱量，便能把金屬棒的尖端徐徐

熔解，滴在兩金屬板的邊沿，而把兩金屬板聯成一片。如此，金屬棒當然漸漸的損耗，可以另換新棒。第3圖表示着工人正在把房屋上的金屬橫樑用電接焊把它們接合。這種電接

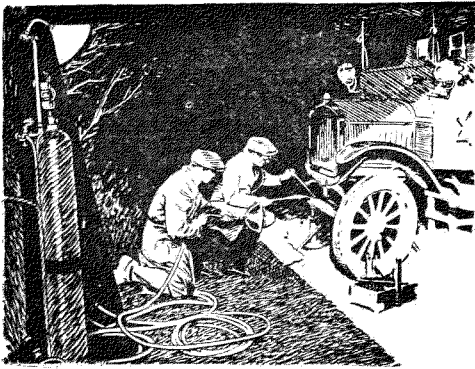


第3圖 鐵樑的電接焊。

焊的方法，在美國紐約是很為通行；用電接焊還有一種好處，是可以免去裝騎馬釘時一種不愉快的聲響。此外，還有利用電接焊以接合金屬管和金屬棒的方法。

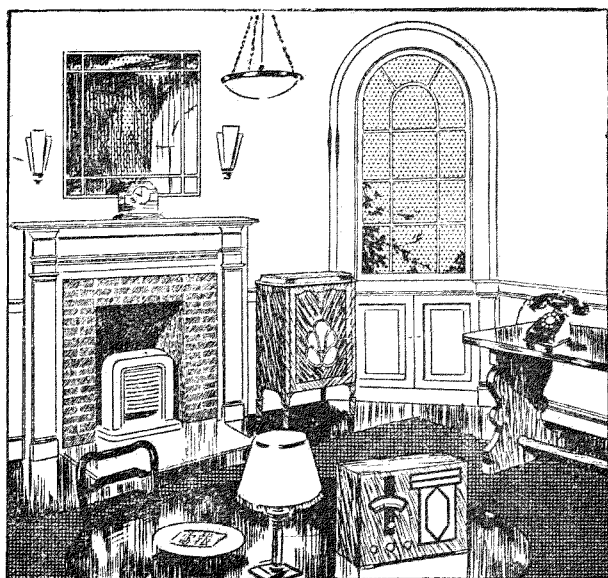
因為談到接焊，我們趁這時談一談另外的一種接焊方法。這種接焊方法雖然並不是利用電來完成；可是也有相當的重要。這方法是用一種叫做乙炔的氣體和氧氣混合着燃燒，使發生一種很熱又很細長的火焰。這火焰細得像鉛筆一樣，可以把金屬燒得很軟。第4圖表示一個工人正在用這種火焰來接合一根已斷的汽車軸。

假如我們壓着私宅門外的電鈴鑰，然後再跑進裏面，我



第4圖 用乙炔和氧的火焰接焊斷軸。

們一定可以發現宅內有一種無線電裝置，或叫做無線電收音機。從收音機中發出各種音樂，也許這音樂的來源實際上是遠在數百英里之外所發的聲音。這種裝置，也是完全根據電的作用：在發音的地方，用許多很複雜的方法把聲音變成電波向空中播送，這播送出的電波，傳播了長距離之後，再經過一種很複雜叫做收音機的器具，再轉變成為聲音。我們還有一種叫做電話機的器具，也是一再利用電的作用；從放置在桌上的一張電報單，可以使我們聯想到電報又是應用電的方法。從海洋中所發出的無線電報，可以和任何想交通信息的地方互換意見，因此保全了不少海洋中人們的性命。此外還有很多種的電灶和電熨斗，也是利用電的熱效應，以得到熱能。

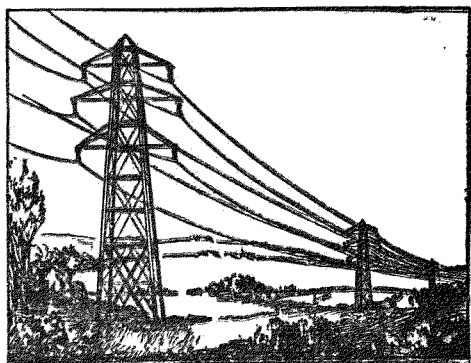


第5圖 家庭中電的利用。

假如我們跑進一所醫院裏去參觀，我們一定可以看到叫做X光的部分。X光的作用，可以攝取人們骨骼的照片，和人們身體內部各部分的組織，這在上冊第174圖中已經說明。這又是一種利用電的發明了。還有很多種類特殊的電燈，利用這些電燈中所發出的光，可以醫治疾病。這正和有一種電學儀器能發生一種特殊電流來幫着人們忍受身體上的痛苦一樣。還有一種電的重要應用，在醫學上很為重要，等到講到動物電的一節，再為詳細說明。在那兒，我們談到

一種心臟檢驗的圖線，便是用檢驗器檢查心臟震動次數的一種記錄。

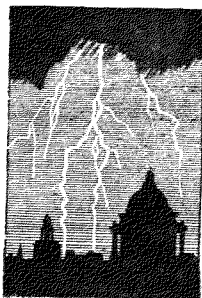
有聲電影又是電爲人們服役的一種很好的例子。事實上，你可以很有趣的化費一星期的時間去默想，去察看各種電的利用和它許多分支的應用。不管你是在休息着或遊戲着，在健康或疾病的時期，在家居着或旅行着；假如你是住在城市中的話，你一定要靠着許多利用電學定律所創造的許多或大或小的方法和器具。即使是在鄉村，利用電的地方也是很多。像英格蘭地方，現在已經滿佈着電線網，電線都架在叫做高架電線架的很高建築上，以便把電輸送到全境爲電燈及開動各種機器之用。電話和無線電現在已經傳佈得很廣，在上世紀之末，電燈僅是一種富人的奢侈品；可是



第6圖 滿佈英格蘭全境送電組織的一部。這種線的系統通常叫做電線網。

現在已極其普遍了。

大自然中的電 前面所講的電，都是人工所造成的。不過電和氣候，也有極大的關係，這可說是由自然的法則中，生成大量的電。最顯而易見的是夏季的打雷。耀目的閃光不過是很大的電花，震耳的雷聲是放電時空氣震動的聲音。每次閃光所發的雷聲往往比閃光遲到耳鼓，因為從電光所發



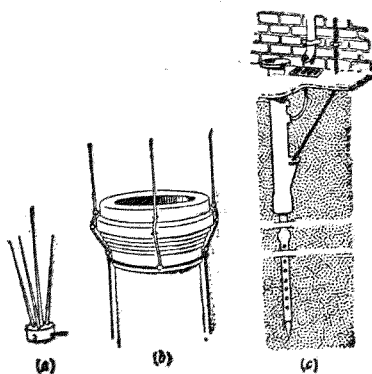
第7圖 閃光

出的光傳達到眼睛，差不多真在瞬息*之間，而聲音的傳達每秒只能行1100英尺。因此，如我們看見很亮的閃光，在五秒鐘後才聽得雷聲；這就是說電花一定在一英里以外。

閃電往往能從天空的雲上移到像大樹和大建築一類高出物之上，並分佈在它們周圍。因為這個理由，在雷雨的時候，我們切切不能立在大樹之下，尤其是單獨生長的大樹，

*光以每秒186,000英里之快速率傳佈，所以它行過數英里所需的時間是很短，並且除了用極特殊的方法和極準確的儀器之外，很不容易知道。

更容易有觸電的危險；假使樹一觸電，立在樹下的人，小則受傷，大則有性命之憂*。高大的建築物，尤其是像教堂的螺絲頂或尖屋頂，和塔的尖頂等，要保護它不被雷擊，通常用一種避雷針。避雷針可以分做三部，第一部是金屬線，通常是用銅製的扁形線，從房屋的屋頂，沿牆壁通至地下。第二部



第8圖 避雷針。(a)及(b)不同形式的尖頂，(c)底部。

*假使你遇到雷雨的時候就依照下列次序以選擇你的逃避地點。下面所列的逃避地點，比任何地點來得穩妥。

1. 大鋼骨水泥建築物。
2. 有避雷針的住宅或建築物。
3. 無避雷針的大建築物。
4. 無避雷針的小房屋。

如在室內，應遠避火爐和金屬物體。 如在郊外應避開：

1. 孤獨的小屋；
2. 單獨的大樹；
3. 鐵絲籬；
4. 山頂或廣場。

樹林懸岩之足或山洞都是較安全的避雷處。

是銅線地下部分，線端上接上一根銅管或銅片，埋在土中。第三部是銅絲頂端接着針狀尖端或一束針狀端，矗出在屋頂之上。因為這針的頂尖很像羽毛，所以通常叫做冠羽。有了這種裝置，閃電便從這針通到地下，免得把房屋擊燬。

在後面我們還可以看到怎樣用很簡單的方法發生較短的電花；例如，用某種物體互相摩擦的等等方法。閃電經過了人們很長期的研究之後，方才知道和用簡單方法所發生的電花，是同樣的事件。在1752年，佛蘭克林（Benjamin Franklin）做了一個很有名的實驗，證明大氣中的電和用兩個物體摩擦時所生的電，完全是一件事物。他的紙鳶是以兩根尖銳的鐵梗和一塊絲織手帕所做成。藉他兒子的幫助，當



第9圖 佛蘭克林和他的風箏。

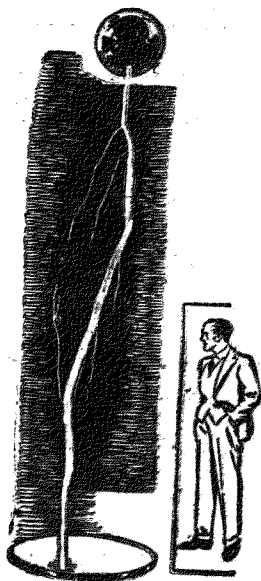
陣雲從頭頂天空飄過的時候，把紙鳶放在天空。在紙鳶線的下端繫上一片鎖匙，鎖匙上再繫上一根絲線，使他兒子執着。我們知道電不能從絲上通過，繫上絲線，便是使童子不致觸電。在紙鳶升到天空的時候，他在鎖匙上發現和用兩物體摩擦而得的同樣電花。由此，他指示我們，普通的電也可從天空雲裏引得。當然，他的紙鳶很小，只能從雲上引下一小部分的電：還有大部分的電仍舊遺留在陣雲上，待它的分量慢慢的自己增加起來，結果在空中引成聲聞數里，光照極大的火花，這就是我們常看見的閃電和常聽見的雷聲了。

雖然在佛蘭克林的時代，實驗室中只可發生很小很短的火花；可是，現在日見進步，在數萬伏特(volt)之下，可以發生12英尺或更長的火花，這可說是和閃電差不多一樣的偉大了。

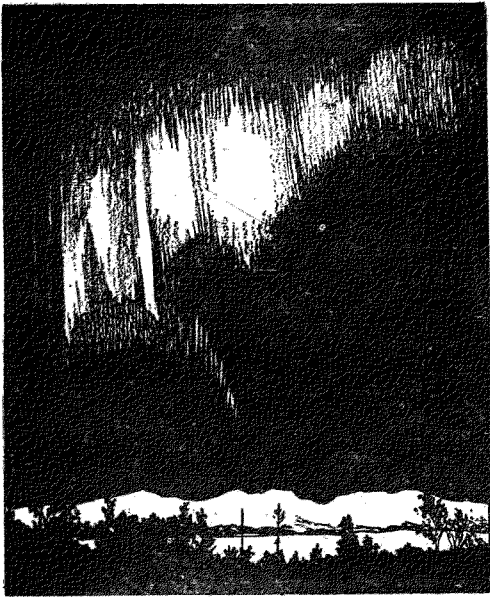
另一個和空中的電相關的一個有趣現象，便是北極光(aurora borealis)*。在靠近溫帶的地方，像英格蘭，便很不容易看到這種現象；不過在挪威或其他靠北極的地帶，便可常常看見這種現象。地球南極附近，也可以看見同樣的現象，不過附近南極的居民很少，所以南極光便未能那樣引起人們的注意。南極光和北極光都是一種不很熾熱的光，生成在很高的天空，有很多的形式和顏色：有時像圓弧式，有時像

*Aurora borealis 是拉丁字，它的意思是“北方的亮光”。

帶狀，有時像帷幔，有時像放射光；普遍形狀的時候，大概是白色、黃色；若是光線很強很亮，也許成爲別種像紅或綠色。這種自然發生的光，差不多都在五十英里的高空，四週圍着很稀薄的空氣，所以壓力是很小。這種現象事實上和電光完全一樣，它們的性質與發紅光的一種年紅燈（氖光）很爲相像。年紅燈通常是從細玻璃管發光，把管彎曲成所需要的形式，做晚間的廣告。在這兩種情狀中，都是因爲電在



第10圖 在試驗材料強弱時所發生之長火花。右側的人是繪來比較長短，實際上任何人不能立得這樣靠近。



第11圖 北極光

低壓力時從一種氣體中通過。在年紅燈中，玻璃管中所裝的氣體叫做氖(neon)是很易負荷電流的一種氣體。

閃電和極光不過是大自然中所含電作用的一種最顯著的現象。證明大自然中的電，除此之外，科學家還可利用很靈敏的儀器來測驗；並且所得結果是證明大自然中的電和普通的電，很明顯的屬於一種。

動物電 任何人都知道，在某種情況之下，觸電是很平

和的，可是有時觸着電便喪失了性命；這都是由當時情形來決定。例如用兩手握住普通兩伏特的蓄電池的兩極，並不覺得有觸電的現象，可是假如把蓄電池的兩極用電線接聯，再把兩電線的兩端放在感覺敏銳的舌上，使兩端異常接近，我們便會感覺到一種很銳利的震動和酸的味覺。在這小小的試驗中，如用兩伏特的蓄電池是決無危險。許多無線電所用的高電壓電池，有時用手握着，便可感覺到震動，不過這也沒有危險（電壓不超過 100 伏特的電池都可用這方法來試驗），超過 240 伏特的電路，便是非常危險，在美國常用高電壓的電刑來代替槍殺處死犯人。

自然界中有一種魚可以發生很高電壓的電擊。最有名的一種可說是電鱔魚，這種電鱔魚生在南非洲北部的小溪內。這種魚差不多有三、四英尺長，和人們的大腿差不多粗細。任何水中動物走近這種魚的時候，它便給予一個很大的



第 12 圖 電鱔魚

電擊，使別種動物喪失性命；人觸着它的時候，也會感覺着十分不愉快。據有名的旅行家兼科學家洪包特(Humboldt)報告，在產生這種電鱔地方的印度土人，很喜吃這種魚。在他們捕捉電鱔以前，先把馬匹驅入小河中，等電鱔把所有

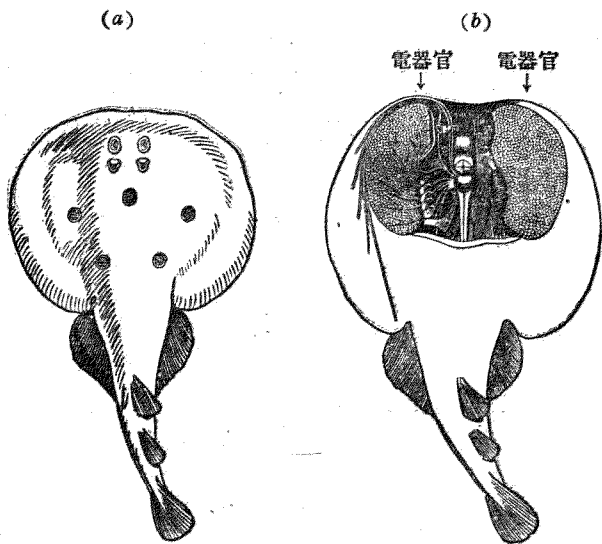
身體上的電都用來擊着馬匹，然後用手捕捉便沒有危險了。還有一種電魚叫電琵琶鯊(electric ray)*或電鰩。在英國馬拉哥(Monaco)地方的水族館中，有一只電鰩養在特製的缸中。遊客只要出小小的代價，便可把手放在缸中，領略電擊的愉快滋味。鰩魚的電擊，比電鱧微弱得多；還有別種電鰩，電擊的力量格外微弱。

偉大的法拉第(Faraday)水族館中的電鱧做了很多的電學試驗，並發現魚類身體上所發的電，和科學家在實驗室中所用的電是同樣的性質；換一句話說，就是同樣是普通的電。人們談到動物電的時候，好像以為是一種特殊的電；這見解事實上是一種大大的錯誤，它和用普通方法所發生的電原來是完全一樣。

電鱧的身體上有一種特殊的器官，這種特殊器官在身體中占着很大的地位，有許多片狀的肌肉，專司發電。電鰩的電器官中含有特殊的肌肉，如第13圖所示的剖面。還有一種電魚的發電器官是身體中很小的電池。只有魚類的電能顯示電擊，其他動物雖然身體中有能發電的，可是分量都是很小的，除非用極精緻靈敏的儀器，不容易檢查出來。例如，人們把兩手放在兩只小鹽水杯中，再從鹽水中通出兩根電

*這兒的 ray 並不作光線解說，是一種長尾扁身魚的名稱。法國人喜歡吃它們的翅叫做“raie au beurre noir”。

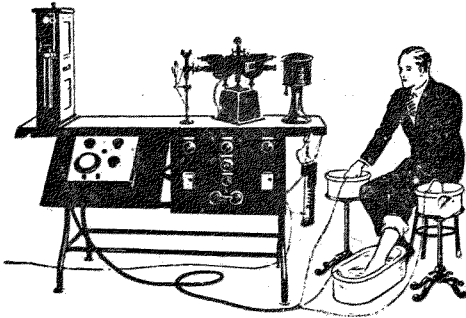
線，接在很敏銳的電流器上，我們便可以發現電流器上有很微弱的電流通過，並且這種電流全是隨着心房震動而昇降。



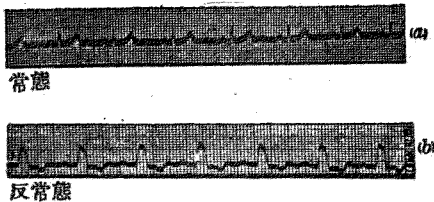
第13圖 (a)電鰩。(b)電鰩被割去一部分以顯示它身體中的電器官。

這儀器中電流昇降的情形，可以利用照相術的幫助，畫成叫做心臟檢驗表的曲線。從這種曲線，便可指示震動的上落。心臟健全的人們和有心臟病的人們，所得的曲線形式，完全不同。因此，從人們身體中所發生的電，便可決定心臟健康的情形。所以醫生對心臟要特殊注意的，對心臟檢驗器有很重要的用途。從這種現象，可以使我們常常記得在動物體

中，時時不斷的有微弱電流在流動不停。



第14圖 用電檢查心房震動的心臟檢驗器。



第15圖 從心臟檢驗器所畫的兩曲線。(a)健康心臟 (b)不健康的心臟 區別很為清楚。

事實上，肌肉一方面有伸縮的能力，一方面也能發電。人們身體上和許多動物身體上的普通肌肉，做工的能力很好，可是發電的能力却很弱。在另一方面說，電魚身體上的肌肉，對於做移動身體的工作，無甚能力；而對於發電，却異常適合。它們肌肉的發展，是偏向於發電方面的機能，而缺

少所謂機械方面的利益。

把適當的電流，施用於適當的部分，不論是活着或是已死的身體，肌肉都會發生緊縮。所以有些人因為懶惰或傷損而使肌肉失去正常能力的，可以用電療來治愈。醫生或他的助手通常能利用電使病人的肌肉收縮；如此經過多次電手術以後，失去伸縮能力的肌肉，便能重行恢復。這是很清楚的，從欲明瞭身體工作的觀點來看，學習電學也是很為重要呵！

現在我們關於電學所學得的是些什麼呢？不但人們所製造的電，可以供給很多種類日常的需要；還有自然界所製造的電，能影響天氣變化的電；從動物身體所產生的電，都是同樣性質的電。不但如此，近代科學中利用一組試驗和討論（在這本小冊子中不能詳細說明的）已經證明電是固然可以供給我們所知道如有火焰的弧光和通常無焰電燈等一類的燈光；並且能造成自然界中所有固體、液體、氣體等物體的微粒。

要幫助了解電所顯示的各種不同規律，我們可以先察看一下水的狀態。性質完全同樣的水，從它當時不同的環境，可以生出很多不同的狀態和印象。它可以成為寬濶的河流、熱帶的雨水、柔和陣雨、濃密的迷霧、如鏡的水池或高瀉的瀑布等不同樣現象，可是它的本質總離不了是水。同樣的

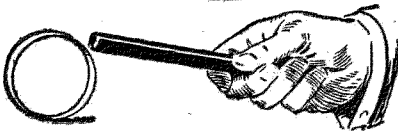
情形，一樣是電，如電的總量和電在流動時的情況，因為當時的情形不同，也就生成各種不同的效應。所以我們可以說電是萬物的終極。現在，這是顯而易見的事實，我們是很值得多花費一些時間，多經過一些麻煩，來學習着電的性質。

摩擦所生的電：導體和絕緣體 近代電的一個最顯著的狀態，便是所謂電流的問題。例如，我們把電燈開關轉動着來開電燈的時候，我們說電是像水流樣從燈泡中流過；或者我們把蓄電池用電線和玩具馬達聯接的時候，我們說電流通過馬達。簡單的發電方法，是把某一種物質和別種物質互相摩擦。電是怎樣產生和怎樣利用，在上世紀的初期，才經發明。不過古代希臘人，在耶穌降生前幾百年，就已經知道琥珀*和羊毛織品猛烈的摩擦便能吸引像羽毛、頭髮和一類很輕的物體。在希臘文字中，琥珀便叫電(electron)，於是凡物體經過摩擦而發生吸引很輕物體的性質便叫做帶電物體。這名稱是英國女皇伊利沙白(Queen Elizabeth)的醫生

*琥珀是黃色硬質松香的化石，從生長着幾千百年以上的樹木中所取得。它在很多的海邊地帶可以覓得；尤其是現代從波羅的海(Baltic Sea)的海邊很容易覓到。現在有許多琥珀的香烟嘴，是一種人工的做造品，並不是真正的琥珀。像這種人工琥珀的香烟嘴，有些若經過很猛烈的摩擦也會生電，可是不如真琥珀的那麼好。

名叫吉爾布特 (Gilbert) 所訂，他對於電和磁的發現是很爲不少。從那時起，我們一直到現在還是相沿着用這個名稱。因爲這種電是從物體的互相摩擦所生。所以我們叫它做“摩擦電”。

在第一編中，有幾個試驗曾經用着火漆棒，這火漆棒是比較容易覓到，並且經過摩擦的作用和琥珀完全一樣。我們知道火漆一經摩擦，也會吸引小紙片或掛在絲上的小木髓球（用很輕的絲，不是縫紉用的絲線）。還有一個顯示吸引力最好的方法是利用九英寸長半英寸闊紙條所做成的紙環，假如這紙環是做得很靈巧，並且是易於滾動；把它放在平滑的桌面上，便會跟隨着摩擦過的火漆棒滾動。現在用硬



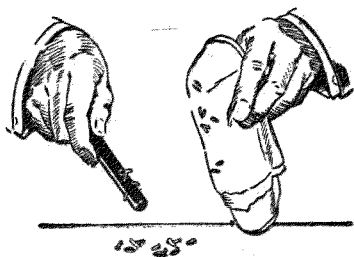
第16圖 紙環。

橡皮、火漆、玻璃*、銅、鐵等物質所做成的棒，和羊毛織品來互相摩擦，做許多個試驗，我們可以更進一步的學習關於電的重要性質。

第一個試驗便是要檢查這些棒上是否有吸引碎紙屑等

*最好用上等的火石玻璃或鉛玻璃，不能用做普通實驗室中試管或玻璃棒等用的鈉玻璃。

的性質以決定是否已經生電。要知道這些，我們可以次第的用硬橡皮、火漆和玻璃棒與羊毛織品互相摩擦；我們不但看見每一種物質所做成的棒能吸引紙屑，頭髮和其他輕物體，並且連羊毛織品上和各種棒直接摩擦到的部分也能够吸引輕的物體。在摩擦開始以前，棒和布都應該預先放在火焰附近或火爐附近經過若干時的烘乾，尤其是在潮濕的天氣，這手續更不能省却。所以要把這些物件烘乾，因為潮濕時便不能得着很好的結果，這原因在後面還要詳細的談到。烘乾硬橡皮和火漆棒的時候，溫度不能過高，否則它們便容易變

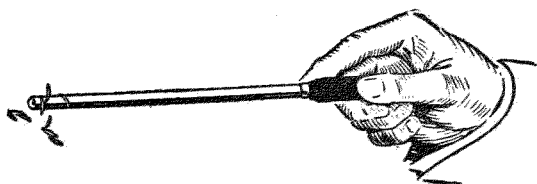


第17圖 硬橡皮和法蘭絨所生的吸引力。

軟；並且一不留心，又很容易着火。玻璃棒是沒有這種用得着顧慮的事件，只要手指能忍受，溫度略高一點，並沒有關係。

假如現在用一根金屬棒或金屬管，如直徑半英寸的金屬黃銅管，和羊毛布摩擦，結果並不覺得能產生什麼吸引輕

物的力量。假使不用赤手握著，另將金屬管或金屬棒上包上幾層乾絲巾，然後握著絲巾；或把金屬棒上裝上一只硬橡皮做的柄，更為妥當（裝硬橡皮柄的方法，可以把金屬棒的一端插入硬橡皮棒上所打的孔內，或把金屬棒套入硬橡皮管內）。金屬棒經過這樣的裝置以後，再經摩擦，不但棒上會



第18圖 用裝硬橡皮柄的金屬棒摩擦後所生的吸力。

發生吸引輕物的力量，便是用來和棒互相摩擦的羊毛布也有同樣的力量發生，不過沒有火漆棒所發生的力量那麼大了。從實驗知道，一切的物體經過摩擦後，都會有這種吸引輕物的力量，不過有些物體要加上一只硬橡皮柄或包上幾層絲織品以便握手，才能顯示着這種現象。這是什麼原因呢？

這問題指引着我們把一切物質分做兩大類；在說明分類法以前，我們現在還得做一個小小的試驗，做更進一步的證明。把金屬棒用兩根絲帶水平的懸掛着，如絲帶是新買的，可以預先洗去上面的漿，等晒乾後才能應用。在金屬棒一端的下面，放上一些羽毛或紙屑。另以火漆棒和毛織布摩

擦，待生電後，將火漆棒輕輕接觸着金屬棒的另一端；這樣可使火漆棒上所生電的一部分移至金屬棒上。頃刻之間，金屬棒另一端的紙屑便立被吸引。不過假使我們用另一根火漆棒或乾燥的玻璃棒來代替金屬棒；另以生電的火漆棒依照上述手續與水平懸着的火漆棒或玻璃棒相接觸，這平掛着的火漆棒或玻璃棒便不會像金屬棒樣能吸引紙屑。從這實驗，我們的結論是電在金屬棒上可以任意流動，但在火漆棒或玻璃棒上便固定停止不動。

何以赤手握着的金屬棒不能生電，而一裝上硬橡皮柄便會因摩擦生電呢？事實上，在兩種情況之下，金屬棒上經摩擦後是一樣的生電；不過赤手握着的，所生的電都從我們身體上逃去；同時裝着硬橡皮柄，電不能從硬橡皮上流動，所以能停止在金屬棒上，顯示着吸引輕物的力量。何以硬橡皮棒和玻璃棒，以赤手握着的便會生電呢？這簡單的因為所生的電不能從火漆棒或玻璃棒上流動到手上。所謂兩大類的物體便是有一類物體上電能通過，還有一類物體上不能通電。一切的金屬都屬於能通電的一類，玻璃、硬橡皮、火漆、絲，都屬於不能通電的一類。能通電的一類物體叫做導體，不能通電的一類物體叫做非導體或絕緣體。凡是物體經過一類裝置使上面的電不能逃出範圍的叫做絕緣。一個黃銅球上裝着一個硬橡皮的座子便是使黃銅球絕緣。人們身體中大部

分是水，所以是一個導體。

通常的水是導體。除非天氣十二分乾燥，大氣中的水蒸氣總在玻璃上成爲很薄的一層水膜，這樣玻璃便不是很好的絕緣體了。這便是你在做摩擦生電的試驗以前，何以要把玻璃棒放在火焰上烘乾的原因。法蘭絨在普通天氣也帶着一些水分，所以在事前也必得小心地烘過。當你把玻璃棒或法蘭絨放在火焰近處的時候，你所見昇向空中的一層白霧便是含濕氣的證明。

現在誰都知道電流（在第二章中詳細講到）都以銅絲負着，這就是因爲銅絲是很好的導體。假如負有電流的兩根銅絲交叉着使互相接觸，或把負有電流的銅絲燒成兩個線圈使接觸着；這銅絲中的電便會改變着原來應流過的方向而從接觸的部分歧入另一根銅絲。因此，在科學上用以通電流的銅絲，都包上一層絕緣體。包銅絲的絕緣體可以用棉紗來做；因爲棉紗是很好的絕緣體，不過還不是最好的；其他可以用絲、印度橡皮或容易摺疊的絕緣體使銅絲絕緣。在近代的機器，電線可以很便利的用絕緣物質包裹；不過，古代的電學試驗者都是將通電的銅絲用器具蓋着使不露在外面，這是多麼費事而又是可厭煩的工作呵！美國科學家亨利（Joseph Henry，生於1797年死於1878年）對於電學的發明很多，其中有一件是電報。他對於電報線的絕緣，費去一

月的時光把布包在電線上以便把包着的線繞在鐵塊上來做電磁鐵，這事情在現在看起來，不是太笨拙嗎？他實際工作的情形，在下章中詳為談說。

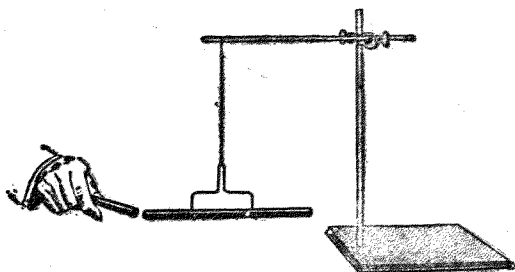
流通的電流可以用一層薄的絕緣體來阻止流動的事實，在電學機器中常常遇到：這意義是說我們可以使電流的流通隨我們的意思來支配，運用自如。沒有一件事物的傳遞再能像電流這樣可以很容易的隨我們支配了。假如把通到電動機的兩根電線中的一根很平的割斷，斷頭處只要插入一塊雲母片，甚而至於插入一張薄紙，電動機便會立刻停止：因為紙和雲母都是很好的絕緣體，電流不能從這些物質上通過。假如我們把一片紙或一片薄鋼板，放在通水、通蒸汽或通壓縮氣體至大機器的管子剖面上，任何牢固的紙或鋼板都會被壓破。要停止通至火車機車管子中的蒸汽流動，一定要很牢固的阻礙物才能停止它，可是電車上車輪的行動只要用任何一片絕緣體的薄片裹在通電流至電車的小輪上，便立刻會停止了。便是一方紙片，只要沒有裂痕或破碎，已經可以做這種工作而有餘。

我們要發生着一種摩擦電的時候，我們一定要有一個很好的絕緣體；因為從摩擦所發生的電，分量上是很少，否則便很容易漏去。在流動的電中，我們便可用不着這樣好的絕緣體；因為大量的電流，即使漏去一些，比較上沒有多大

關係。貯酒的瓶上有一條小小裂痕或小小的漏孔便成爲我們嚴重的問題；可是很大的水管上有這樣一條小小的裂痕，對於我們的給水，便覺得沒有什麼大影響了。

電的吸引力 在第一編中，我們曾經說到怎樣把一塊平面玻璃裝軸在錶面玻璃上的方法（第一編第41圖）。還有一個支持着物體，使物體能自由轉動的方法，在科學上應用的地方很多，便是用一根很細的絲或線把物體懸掛着。在很多簡單試驗中我們使用着這個方法。因爲我們把懸掛着的物體絕緣，所以用來懸掛的線，要避免用金屬絲，而用很細並未經紡織過的絲纖維。縫紉用的絲線是太粗，時常容易發生一種有礙於轉動的扭力。

如我們要懸起一根棒，我們用繫上兩根鈎子的線，便可以把棒水平的懸掛。現在，我們用一根火漆棒和舊乾絲手帕摩擦，然後依照上述懸掛的方法，把火漆棒水平的懸在兩根



第19圖 電的斥力

鈎子上，使火漆棒兩端平衡，並且可以自由轉動。假如我們再摩擦另一根火漆棒，並且放近第一根火漆棒被摩擦的一端，那根懸掛着的火漆棒，便會被這棒所推動。這種被推動的現象，我們通常叫兩火漆棒相斥。

假如我們把摩擦過的玻璃棒的一端，放近懸掛着的火漆棒被摩擦的一端；這兩根棒便會互相引近。摩擦過的玻璃棒和摩擦過的火漆棒，會互相吸引。

我們可以再用品種不同的物質來做這試驗；如用硬橡皮棒或硫黃棒等（硫黃棒的做法，可以把硫黃融化倒入試管中，等冷卻後凝固，然後便成硫黃棒了）。從試驗的結果，我們知道硬橡皮和硫黃與火漆有相同的性質。假如用琥珀棒來試驗，如用真正的琥珀香烟嘴等，試出的性質，也和火漆是一樣。

還有一個問題：是兩根摩擦過的玻璃棒是怎樣的作用？如把一根玻璃棒照上法懸着，在第二根玻璃棒放近的時候，它們也是互相推斥。

所以從上述相吸和相斥的現象，我們說電有兩種，一種叫做玻璃電，一種叫做火漆電。它們又可以叫做陽電和陰電；陽電又叫做正電，陰電又叫做負電。至於玻璃所以稱做陽電或正電，並沒有什麼理由可說，不過因為習慣是這樣叫；就是你要把火漆電叫做陽電或正電，玻璃電叫做陰電或

負電，也沒有什麼不可。這命名的最重要的一點，不過是表示這兩種電是完全不同罷了。

那末，吸引的規則究竟是什麼呢？便是正電和正電互相排斥，負電和負電互相排斥；但是正電却和負電互相吸引。假使我們把這規則說得更短一些，便是同性質的電互相排斥，不同性質的電互相吸引。在第三章中，我們發現磁性也有同樣的規則。

讓我們再把硬橡皮棒和絲手帕互相摩擦，摩擦後把硬橡皮棒照上法懸起，然後把絲手帕放近；它們間便會發現動力。又如我們把這塊摩擦過的絲手帕放近另外一根和另外一塊絲手帕摩擦過的玻璃棒，它們間又會發現一種相斥的力量。從這個試驗，我們又可以得到另一條規則；便是互相摩擦着的兩種物質，如一種物質上所發生的是正電，他物質上發生的一定是負電。並且我們還可以證明，這發生的兩種電，分量上是一樣多少；所發的正電恰好和所發的負電相消；這就是說，假使把它們放在一塊，便互相消去，外表上看不出什麼電的現象。這就和我們把平地上掘上一個小洞一樣：掘出一堆土的總分量一定和洞中所缺少土的分量，恰好兩兩相等。假如把掘出的土放在小洞內，正好能把洞填得和地面一樣的水平。

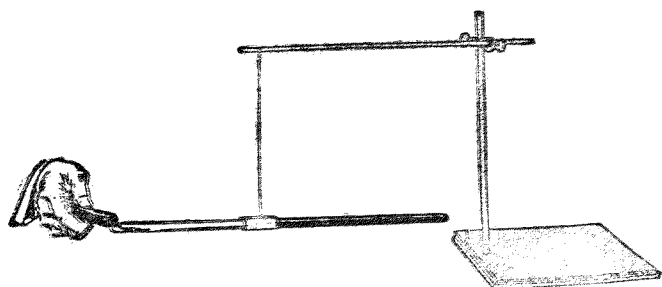
在把兩物體互相摩擦的時候，我們並不能使它們有電

發生出來，等我們把兩物體分開，才可見顯示着一帶正電一帶負電；在它們緊合在一塊兒的時候，這正負電的分量恰好是互相消去。因此我們一定要想到通常不帶電的物體當中，一定包含着正負相等的兩種電荷；假如這分量電荷中，有一部分的負電逃失，必定多餘過量正電，所以這物體便顯示着正電的存在了。

讓我們再進一步的考察一下電的吸引。我們已經知道無論是硬橡皮棒或玻璃棒，假如和絲手帕一摩擦，便能吸引很小並沒有帶電的紙屑。讓我們用不帶電的物體來做一個懸掛的實驗：先懸掛起像木、火漆或玻璃等物質的棒；不過無論如何，我們切切不要先把這些要懸掛的物體經過摩擦。其次我們摩擦一根火漆棒，放近這懸掛着的棒，來試驗它們間的效應。這結果是，無論所懸掛的是什麼物質做成的棒，無論摩擦着然後放近的棒是什麼物質所做成，它們間總會發生吸力。所以無論是正電或負電都可以吸引着不帶電的物體。

我們還可另外用一個試驗來證明這種相吸的規則。如第 20 圖用兩根一樣粗細一樣長短的玻璃棒和硬橡皮棒，當中用一根黃銅管聯接着，然後用絲線掛在架子上。假如這兩根棒在事前都沒有摩擦過，若我們另外摩擦一根硬橡皮棒放近任何棒的一端，它們間一定會有一樣的吸力。其次把

懸掛的一組棒取下，都把它加以摩擦（用兩塊絲手帕來摩擦），然後重行懸掛。經過這樣的手續以後，我們發現如把另



第20圖 表示電的相斥和相吸。

一摩擦過的硬橡皮棒放近，它和懸掛着的玻璃棒會發生吸力，同時和懸掛着的硬橡皮棒便發生斥力；若另用一根經過摩擦的玻璃棒來試，它和懸掛着的玻璃棒發生斥力，而和懸掛着的硬橡皮棒反發生吸力。

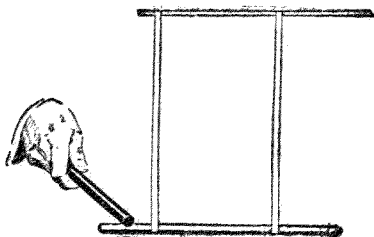
何以一個荷電的物體總是吸着不荷電的物體呢？我們可以把不帶電的物體中當做有相當量的正負電混在一起。假定有一根帶着正電的棒放到這物體的附近，這棒上的電荷便會吸引着物體上的負電，同時和物體上的正電發生推斥，所以靠近帶正電棒部分的物體成爲荷負電，因此發生吸引。假如你用一根荷負電的棒來試，你便會發現物體近棒的部分帶着正電，一樣的發生吸引作用。物體所帶的電通常叫

做自由電荷，都是集在物體的表面上。

如將一件未帶電荷的物體放近一根荷正電的棒，靠近棒的物體部分一定帶着負電；可是如再把物體取去，物體上的電荷便立刻失去。例如，某船甲板上男女的人數恰巧相同，假如這船航近一個有男性電影明星的碼頭，便可引起女人的喜愛和男人的厭惡。於是船上的女人都要跑近靠碼頭的甲板，船上的男人一定跑向另邊甲板。等到船離了碼頭遠去，船上的男女又重新混合如舊了。又假如碼頭上有男人喜愛而女人不喜愛的女電影明星，正好得着相反的情形。不過，無論在何種情況之下，船上一定有過剩的男人或女人：這僅僅是因為外界吸引力所引起的暫時分離，等到外界的吸引力一經除去，這種分離也跟着消滅了。不帶電物體有時因為放近一根帶電的物體而帶着電荷，通常叫做感應電荷。如不僅是把帶電荷的棒放在靠近，並且使棒和物體直接接觸，物體上便帶着真正的電荷，這真正電荷便是棒上電荷的一部。棒上的原有電荷的一部分，事實上是離了棒而流到不帶電荷的物體上面了。現在我們可以依據這種計劃來做幾個簡單的實驗。

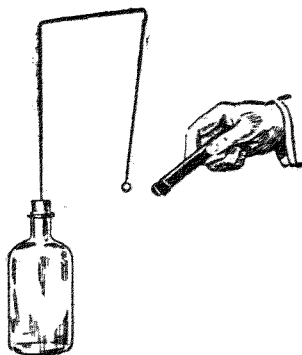
把一根圓頭的金屬棒用兩根絲帶懸掛着，如第 21 圖所示。如要試出金屬棒是否已經帶電，只要用碎紙屑便可試出。假如我們用一根摩擦得很好的硬橡皮棒放近金屬棒的

一端，但不使它們接觸，金屬棒的兩端便都能吸引碎紙屑，但金屬棒的中段却一些沒有帶電的現象。這試驗的意義便是表示電荷都是集中在棒的兩端。



第21圖 靜感應

還有一個簡單的實驗可以試出真正電荷和感應電荷的分別。這試驗可以把小木髓球懸掛在很長的絲線上；把絲線的另一頭接在插在木塞上的一根金屬絲上，如第22圖所



第22圖 小木髓球

示。假如把帶着電荷的硬橡皮棒放近木髓球，它便會吸引着木髓球。這是因為木髓球近硬橡皮棒的部分發生和硬橡皮棒相反的電荷，所以會發生吸引作用。可是一等木髓球觸着硬橡皮棒，硬橡皮棒上的一部分電荷傳到木髓球上，於是木髓球便突然發生一種斥力。在這當兒，假使把摩擦過的玻璃棒放近木髓球，因為木髓球上有了真正的電荷，它們間的吸引力格外的大。你如用一根帶電的硬橡皮棒和紙碎屑來試驗，你可以得完全同樣的結果：便是碎紙屑起初被硬橡皮棒所吸引，忽又被推斥。不過這試驗很難做得滿意，因為碎紙屑和硬橡皮棒接觸的時間很短，往往不能從硬橡皮棒上多分電荷，以顯示相斥的力量。依據這個原理，可以做成一個很有趣的玩具。用一個圓香烟罐的罐蓋，當中放着一些小木髓，然後再用纖維質或玻璃把四面封好。假如把罐蓋摩擦着，當中的小木髓便會很猛烈的在跳動不停。許多人看見這種玩意，只知道有趣而不明瞭其中的理由，可是你便能十分明瞭了。

有許多的遊戲可以利用靜電吸引的現象來做。通常的橡皮氣球隨使用手掌（假如你的手是不十分潮濕）或法蘭絨把它摩擦一下便可生電。已經帶電的橡皮氣球因為靜電吸引的關係可使黏着牆壁，固定不動。這現象的原因當然是因為感應電；氣球的球面積很大，而和牆壁接觸的部分甚

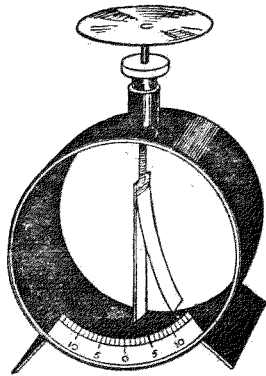
小，所以從接觸點傳到牆壁上的電，拿全部面積的電比較起來，是非常的小。因此氣球附在牆壁上甚而至於可經過好幾分鐘，並不會落下。或者把帶電的氣球用很長的細線懸起，也會看出靜電的吸引和推斥。

用一片棕黃色紙，在火爐上或火前烘乾，然後把紙貼在牆上，再用刷衣服的毛刷刷上幾下；這紙因為電吸引力的關係，便會貼在牆上，不會落下。並且假使室內是十二分黑暗，在取去這貼在牆上的紙片，紙片和牆壁間甚而至於發生火花。頭髮很好的人們，在乾燥的冬天脫去羊毛帽子的時候，往往聽到一種坼裂的聲音；這也是因為羊毛受着摩擦所以發生靜電；若是在暗室中察看，同樣的可以看見很小的藍色火焰。

電學儀器 現在我們可以談一談一種叫做驗電器的儀器。這種驗電器是十二分敏銳，雖然很少量的電荷也檢驗得出。驗電器本身為約二英寸長的金屬棒，一端裝着約有半英寸徑的平盤，在另一端接着一塊約半英寸寬的金屬片，和一片很薄的金葉*，如第 23 圖所示。金屬棒是裝在一只兩面有玻璃的箱中，棒和箱壁接觸的部分是用純硬橡皮或火漆

*金葉的剪斷，並不是容易的事情。最好把金葉放在兩張薄紙之間，然後用鋒利的剪刀把它們一齊剪破，鋁葉較為價賤，且易於把握，可用以代替金葉。

等良絕緣體所製成的栓塞聯着。粗製的驗電器簡直可以把連金葉的金屬棒插在通常貯藥的玻璃瓶內，把瓶頸上用清



第23圖 驗電器。

潔的火漆封着。驗電器無論如何簡單，最好在金屬棒上端裝上一只圓平金屬片，作用可以格外靈敏。

假如我們把電荷傳到驗電器的金屬棒之上，於是這電荷便分佈在金屬片和金葉上。因為它們都帶着同樣的電荷，所以互相推斥，結果金葉張開遠離着金屬片。假如把帶電的棒放近驗電器上端的盤，但並不使接觸，金葉立刻張開；但帶電棒一經取去，金葉照舊閉合。這種現象可以很清楚的顯示着感應電的作用。不過，假如帶電金屬棒一和驗電器的圓盤接觸，棒上的電大部傳入驗電器，便永久的遺留在金葉上使金葉永久張開了。如此，我們說驗電器已經帶着電

荷。若驗電器的絕緣性是十分好，金葉的張開，至少可以維持到一小時的時間；如時間過於長久，金葉上所帶的電荷便會慢慢的漏去。

這種形式簡單的儀器，在近代是十分重要。有許多重要現象，如X光的作用，能在空氣中發生許多帶正負電而又不可目見的微粒；通常是不易察覺，可是驗電器因為電荷漏去，便可檢驗這些帶電微粒的是否存在。假如驗電器上原來帶着正電，當然便從空氣中吸引着荷負電的微粒，漸漸消去驗電器上的電荷。假如是帶着負電，便從空氣中吸引正電微粒，也得着同樣結果。用驗電器還可以檢查出從本生燈焰燃燒時空氣中生成的正負電微粒的存在。假如把本生燈焰移近帶電的驗電器，我們立刻便可看見金葉的閉合。假如你要自信着你用來做試驗的硬橡皮或別種物質的棒是沒有帶電，只要把這棒放在本生火焰上一英尺餘的地位，便很足够了。這方法是很有效驗，尤其是在很冷很乾燥的天氣，普通物體很容易暫時帶電，因此在做試驗時引起很多的意外困難。火焰的放電效應也可以從把火焰移近因電吸力關係而貼在牆壁上的棕黃色紙或帶電氣球而顯示：紙片或氣球因為火焰的移近，便立刻落下。如你把火焰上部的空氣吹向橡皮氣球或紙片，所發生的效應可以格外的顯著。

這種產生不可見的帶電微粒的現象，在近代科學中是

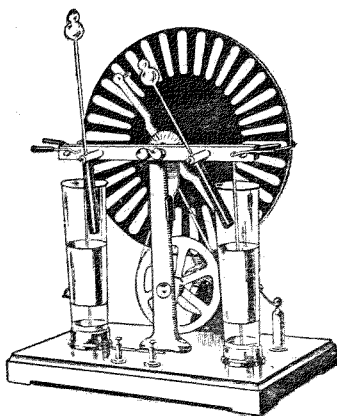
十二分的重要。無線電收音機中高熱的燈絲便是用來發生這種帶電的微粒。你可以用一只驗電器來檢驗這高熱燈絲的電效應。假如你把另一根電線的一端伸在真空管的板極之上，他端與一蓄電池及一節流器* 串聯，並且將節流器的電阻變動，至電線紅熱為止。這時候驗電器的金葉便立刻閉合。X 光和鐳放射也使空氣發生感電現象，假如用驗電器來檢驗，也是異常明顯。鐳是異常珍貴的物質（每公分重——約合一英兩的二十八分之一——的鐳，價高至一萬金鎊），它的價值，全在能放射一種射線。這種射線使空氣感電的能力是異常強大。肉眼不能見着，像微塵那樣的一粒鐳，假如放在驗電器的附近，便能立刻引起驗電器的放電。在醫院中，鐳的用途很大；若偶然遇到微量的鐳被拋棄或遺失在垃圾或灰燼中間的時候，尋覓起來可說是異常便利。只要把灰燼或垃圾一鏟一鏟的起到驗電器的附近，一等到這鏟中垃圾或灰燼含着所遺失的鐳移近驗電器的時候，金葉便立刻閉合了。

所以，驗電器雖然是簡單到極點，同時却是一種很重要而有用的電學儀器。這種簡單儀器，不但是僅僅用來試驗鐳放射，X 光和高溫燈絲，並且可以利用發明許多關於電的試驗，像夏季的打雷便是其中的一種。當然，做特殊工作的驗

*節流器的原理和構造均詳下章。

電器構造得比較更精緻靈敏，不像我們所說的那樣簡單；不過它所做的工作是完全一樣，也無非是根據着相吸相斥的原理。

把一根硬橡皮棒摩擦所發生的電量是異常微細，所以造成一種機器，利用柄的轉動繼續發電，並且把發的電集中起來。這機器實際工作的程序，須要更詳盡的說明；不是本書的簡單範圍所能包括；可是，在原理方面來說，仍是離不了我們已經說明過的靜電感應的一條定律。這種機器是韋赫斯特（Wimshurst）所發明，所以通常便以他的名字叫這種機器，第24圖便是韋氏靜電發電機。急速的轉動可以發生大量的電荷；閃一樣的電花和雷一樣的聲音在兩金屬



第24圖 靜電發電機。

球間發生。即使發電機是很小，往往能發生三、四英寸長的電花。假使在一極的球上聯上一只絕緣的金屬板或絕緣金屬棒，便可以顯示很有力量的吸引力和推斥力；同時還可以發生其他各種現象，在下章中，再行詳說。

避雷針最重要的一個事實可以很便利的用這種機器來證明。我們把發電機兩極上的金屬球拉開，至電花恰巧不能跳過的距離為止，並注意這最短的距離的長短。其次，把金屬球的螺旋拆下，另用一根尖銳的針或其他有尖頭的金屬物，以金屬線縛在裝球的金屬棒上。經過這種裝置以後，我們發現這機器並不能發生很長的電花，假如發電機是放在黑暗的地方，在針尖的四週，可以看到一簇藍色的火星。這種現象告訴我們電在針端比較在平坦的球上逃得格外的迅速。假如用一根通常棉紗線包裹的電線縛在一只球上，在黑暗中我們可以看見棉紗纖維的尖端上有不少的藍色火星。

現在我們可以稍進一步的談一談閃電的現象了。在陣雨雲中看見很黑的帶着電的雲，通常可以任意帶正負電荷（帶正電荷的時候較多）。假如天上有一片帶負電荷的雲，附近又有一片帶正電荷的雲，結果兩片愈吸愈近，這雲和雲之間，便和發電機兩金屬球之間一樣，發生很大的火花。現在，假定有一片帶正電荷的雲很靠近地面，如第25圖所示。地

面上一定被感應而發生負電荷，這樣雲和地面的當中，便會發生火花，有閃電通過。假如在地面上有一個尖端，地面上



第25圖 帶電的雲和它在地上及房屋上所生的感應電。

因感應發生的電便從尖端上很快的逃散；因此不致積蓄大量的電，形成一種很大的放電作用，使發生火花。這種針尖，通常都裝在避雷針的頂上。這樣，即使針端上電的逃去是不十分快速，雖然也可以發生火花，事實上這多量的電還可以從金屬線通到地下，不致因放電而毀壞房屋。一棵孤獨的高樹也有同樣的作用，不過樹幹上沒有金屬線可以通電，電從樹幹通向地下，結果使樹幹受到毀壞。同時在高樹幹附近的事物，也許會受到電擊的影響，這就是何以雷雨時不能避在大樹下的原因。

從摩擦所發生的電荷，因為它的性質看起來沒有多少

興趣，所以人們對於它不像電流電那樣熟悉。可是，就我們已經知道的，它對於科學和自然界都是異常的重要呵。在下一章中，我們可以看到這種從摩擦發生的正電和電流電是很近的有連帶的關係。

第二章 電流電

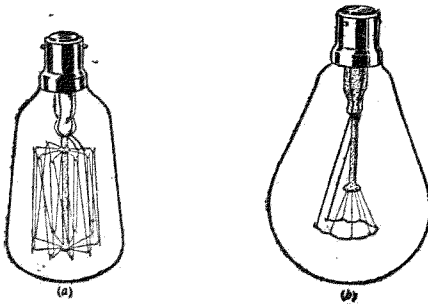
電流的熱效應——電流的磁效應——電流計——電流的化學效應：
電池——電阻——電壓：電單位——電力的供給——摩擦電和電流電
是同樣性質的電

電流的熱效應 假如我們取一只蓄電池，或在本章後半所說到的各種電池，把兩極上通上一根電線（金屬的電線，我們已經知道是最好的導體），我們說電線中是有電流通過。可是，在這電線中。我們並不看見有什麼事物在流動，同時線的本身*也沒有現着什麼變化。例如，我們用很光輝的銅線來聯接，無論電流流過多少時間，這銅線仍舊是一樣大小一樣光輝的銅線，並未發現絲毫的變化。所以電流通過銅線，銅線並未被用却。那末，我們怎樣能知道銅線中有沒有電流通過呢？或者換一種問法說，有電流流過的電線和沒有電流通過的電線有什麼分別呢？

現在，讓我們先想一想在日常生活中所用電流發生出來的幾種效應。電流通過電燈，電燈便會發光。通常用的電燈，不過是很細的絲裝在玻璃泡中。有一種燈泡是真空泡；

*除非電流很大的時候，電線變成紅熱。我們應注意普通大小（如30安培時）電池的兩極決不能和總電阻不滿 $\frac{1}{3}$ 歐姆的儀器或電線相聯接；否則電流太大，易燒損電池。

燈泡中的空氣全被抽去，所以裏面是空無所有；還有一種是裝氣燈泡，裏面沒有空氣，可是裝滿着一種特殊的氣體以代

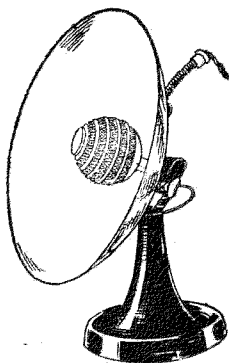


第26圖 電燈：(a)真空電燈；(b)裝氣電燈。

替空氣。所以抽去空氣或裝入別種氣體是因為裏面很熱的燈絲一遇到空氣便能燒掉。泡內燈絲的兩端接到泡底上的兩塊銅片，這兩塊銅片的中間用絕緣體隔着，並且在把燈泡放到燈頭中的時候，正好各壓着兩根和電線聯着的兩根彈簧。在電鑰關閉的時候*，電流通過很細的燈絲，使燈絲熱至紅熱，或熱至白熱；於是發出亮光。所以，電燈可說是用電流使發生熱量的一個例子。同時，我們應該明白，隨使用什麼方法，只要能把燈絲或別種金屬絲熱到同樣的高溫度，同樣的也會發出光來。例如，白熱的鐵條，假使放在暗室裏面，同樣的可以發出很光亮的光輝。

*電鑰關閉，便是電路關閉；電路關閉，便是電流可以通過；如此電燈便能發光。這關閉的意義，正和普通相反。

電射熱器也是利用電流通過使電線發熱的一個例子，和電燈不同的地方，不過是金屬線較粗，電流通過時不及電燈那樣熱罷了。通常電流通過電射熱器的電絲，差不多只把



第27圖 電射熱器。

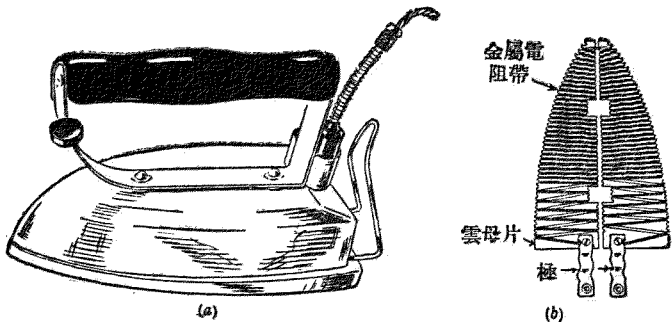
絲熱至暗紅。射熱器中的電絲，通常都捲成線圈，裝在絕緣的架子上面。正和電燈因發熱而發光一樣，電射熱器是為發光而也發出很多的熱。熱和光當中的關係可以說是正好成爲一個正比，便是：燈絲愈熱，燈光愈大；所以，在電燈中，我們只要熱度不至於把燈絲熔解或燒掉，在可能範圍內，燈絲是愈熱愈好。即使最好的燈泡，用在發光的能，差不多只相當於總能的百分之十，其餘的能，都是消耗在熱上面*。在電

*所謂消耗，是因為我們在電燈中並不用到熱能。在電射熱器中，我們所需要的便是熱了。

射熱器當中，因為我們並不要它發光，所以我們把裏面的溫度控制得比電燈溫度底得多，因而不能發生白熱，只能發生很弱的暗紅熱。我們已經說過，燈絲是關閉在玻璃泡中，以防空氣的接觸，因為空氣中的氧氣和高溫度金屬絲是很容易發生作用，把它損壞。不過，現在已經有很多適宜於做電射熱器電絲的合金，可以熱至暗紅的溫度，而和空氣不發生一點作用。

電熨斗又是一個電熱的普通例子。熨斗中有一根很長的金屬帶，繞在絕緣性很好的雲母片上；經過金屬帶的電流使熨斗全部的溫度增高。

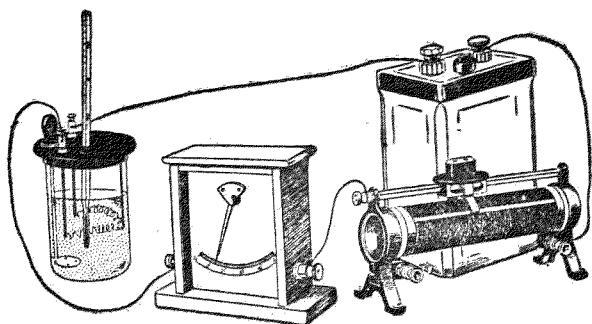
我們已經看見，電流在電線中流過時有一種效應是能發熱。可是，接在電池兩極並通過別種電學器具的電線並沒有發生紅熱，並且這電線也不能把電流通到電燈當中。這種



第28圖 電熨斗：(a)外形；(b)內部發熱的金屬帶。

現象是不是表示有些時候電流能發生熱能，而有時候是不能呢？不，這不過是說在有些情形之下，熱效能是很小，所發的熱量，往往用手指都感覺不到。我們可以很便利的用一個試驗方法來證明接在電池上通過電流的電線的確能產生熱量。讓我們取一根塗着絕緣油漆的金屬線，繞成很多的圈子，再塗上油漆。將這油漆過的線圈放在水杯中，線圈當中插上一根溫度計；然後再把線圈的兩端通到電池的兩極。經過不多時以後，從溫度計上；便可以看得出水的溫度是在慢慢的升高。

通常用在手電筒裏的小電燈泡叫做電珠；電珠裏面的燈絲是非常細小，小得只要筒內乾電池所發生的電流便可以使它熱至白熱，發出強光。



第29圖 顯示從電流發生的熱量。左邊在杯中的線圈被電池發生的電流所熱。電流並經過一只節流器和一只安培計以便度量着大小。

所以電流的一個普通效應是可以使被流過的金屬線產生熱量。假如把兩根電線放在靠近一處；一根電線中使電流通着，還有一根電線中無電流通過；無論這通過的電流是怎樣的微細，這兩根電線的溫度一定不同；不過有時電流過於微細，往往使通過電流的一根線溫度昇得很小，使我們難於辨別和測量罷了。

電流的磁效應 讓我們再談一個電流所能發生重要效應。我們取一根通常叫做“軟鐵*”的棒，由這棒不能吸引鐵屑的事實，來證明它並不是一根磁鐵。其次，我們把這軟鐵棒上面繞上很多圈數的絕緣銅絲†，然後把銅絲的兩端聯接在電池的兩極。在電流通過的時候，鐵棒變成一根很強的磁鐵：它能吸引鐵屑，並能吸起和它一樣大小的鐵棒。但一等把電線拆斷，鐵棒便立刻失去磁性。有一種特殊性質的鐵棒，在電線割斷以後，還可以保留很弱的磁性，可以吸引少量鐵屑；不過這種剩餘磁性（通常叫的名稱）或遺留的磁性比較通着電流時所發生的磁性是微弱得多。假如用鋼鐵

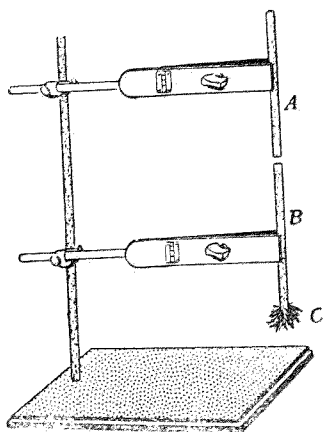
*所謂軟鐵是沒有炭雜在裏面的純鐵。

†所用的軟鐵棒約三英寸長， $\frac{5}{16}$ 英寸徑。棒上用第二十二號S.W.G.（“標準線度量”用來測量電線直徑的名稱）並裹着絕緣紗線的銅絲繞上500圈。電路中最好插上一隻節流器來節制着通過銅絲的電流，並且加一隻安培針，來度量通過電流的大小（參閱第33圖及37圖）。

棒來做，這種剩餘磁性便達到相當的強大，所以我們可以用這種方法，來做成一根永久磁鐵。

把許多電線聯在一起，使電流從當中流過，這便叫做電路。若把電路中拆斷一段，使當中沒有電流通過，通常叫做“開電路”。照這樣的方法來說，我們可以說在電路閉着的時候，軟鐵成爲一塊磁鐵；一等電路開着全部或差不多全部的磁性，便立見消失。

假如我們取一根通常的鋼鐵磁鐵（這種磁鐵因爲永久有磁性，所以叫做永久磁鐵）放近軟鐵，軟鐵便變成磁鐵。例如，我們把一根軟鐵棒夾持着使下端正可和紙上所放的



第30圖 磁鐵(A)放近軟鐵棒(B)，可使軟鐵棒變成磁鐵而吸着鐵粉(C)。

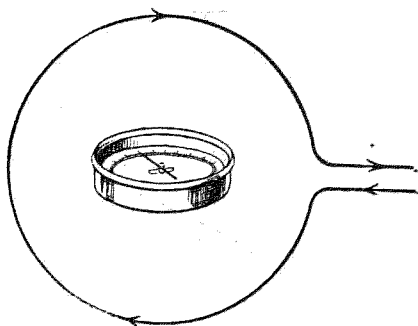
鐵屑接觸；在這根軟鐵棒之上，再夾上一根永久磁棒，如第30圖所示，這軟鐵棒便變成磁鐵，能吸引鐵粉。這種情形，我們說永久磁鐵的磁性使軟鐵棒磁化。我們已經說過當電流從電線中流過的時候，對於軟鐵的影響和永久磁鐵是一樣。這好像電流使它附近地方發生磁性，正好和永久磁鐵在附近地方發生磁性是完全一樣。

有一個很好的方法可以顯示在電流的附近的確是發生一種磁力。這方法便是利用一根和指南針相仿而裝軸着能自由轉動的靈敏小磁鐵放在電流附近來試驗。任何磁力達到這磁鐵上時，便能使這磁鐵轉動而停止於另一新的方向，這事實可以很顯明的看到。現在，假如我們在和前面所用的鐵棒差不多大小的黃銅管或木質棒上繞上很多圈數的銅絲，並把銅絲兩端接到電池的兩極，我們發現這線圈的作用和永久磁鐵一樣，也可以使另一能轉動的磁鐵轉動（不過在做這實驗時，要把磁鐵格外放近）。由此，我們的結論是電流流過時，同時有磁力發生。假如我們把一根軟鐵棒插進黃銅管內，電流所發生的磁力，便會把插進的鐵棒變成磁鐵；這樣，對於裝軸磁鐵的作用比單獨的電流力量大得多。

並且，我們知道電流所發生的磁力，在線圈附近格外強大。所以一定要把電線繞成線圈，才會顯示這種作用。我們可以把電池的兩極用一根銅線聯起，然後把銅線放近一只

裝軸磁鐵，使電線恰好和裝軸磁鐵原來的方向一樣，並使電線從裝軸磁鐵的上部*通過。如此，裝軸磁針便向一定方向轉動。如保持電線之原有地位，不使移動；將電線拆除，而接在相反的兩磁極上，使在裝軸磁針上流過的電流恰與前相反，磁針轉動的方向，亦恰與前相反。如不更換電線的裝置，但把電線移至裝軸磁針的下部，磁針的轉動又與前相反。

用一根平行於磁針的電線來決定磁針轉動的方向，第一要看電線中電流的方向，第二要有電線的地位是在磁針的上面或是下面。假如把電線放在上面，電流方向向左，和把電線放磁針下面，電流方向向右所引起的磁針偏向相同。因為在這種情形以下，我們把磁力的方向接着轉過兩次，所



第31圖 磁針上下兩面相反的電流方向使磁針向同一方向偏轉。

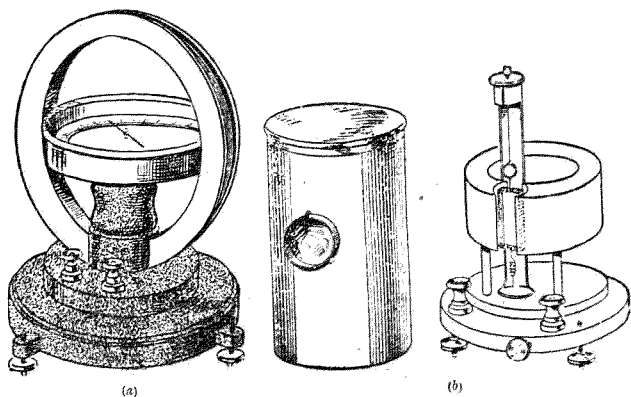
*最好在電路中插上一只節流器和安培計，以防電流太大。普通以4安培的電流所得的結果為最好。

以裝軸磁針所轉動的方向是仍舊不變。現在我們可以探究一下第31圖中磁針偏向的情形。在磁針上面電線中的電流是從左向右流動。同時磁針下面電線中的電流是從右向左。上下兩線中的電流所生的磁力方向都是使磁針向同一方向偏轉；因此一個線圈比一根單線對於裝軸磁針的作用比較強大。假如我們用很多圈數的線圈，當然比一圈線圈的力量格外來得大。

有一個簡單的規則，可以幫助我們決定磁針應該轉動的方向。凡是用電線把電池的正負極相聯，通常我們說電線中的電流是從正極流向負極。假定你依着電流的方向向前游泳，面對着磁針（即仰泳時磁針在身體之上，俯泳的時候磁針却在身體的下面），磁針的北極一定向左邊偏向，同時南極當然向右手偏向。

電流計 現在我們可以談一談度量電流大小的儀器。這儀器叫做電流計。一根小磁針裝軸在畫有刻度的硬紙片中心。在磁針上，裝着一根很輕的指針，一端恰巧在刻度上面。磁針和紙片通常都裝在一隻玻璃匣中，以防意外的震動。玻璃匣固定在金屬或鐵環的中央，金屬環的面與地面垂直，外匡繞着很多圈的絕緣線圈，線圈的兩端固定在座子上面。這種儀器的座子下面通常裝着螺旋腳，以便安放平正（第32圖a）。這儀器放在桌上的時候，應使磁針兩端恰指在

環的中部。如環上線圈中有電流通過（把電池兩極接在儀器的兩極上），磁針一定偏轉一個角度。如角度偏向是兩

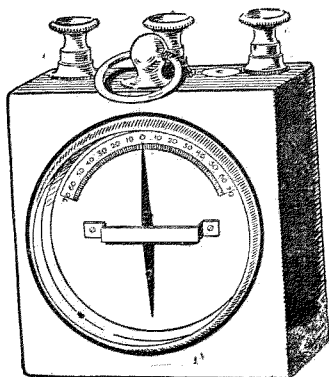


第32圖 電流計：(a)磁轉電流計；(b)圈轉電流計。把很強磁性的磁鐵變成環狀，線圈懸在兩磁極的空隙中。左傍是罩在儀器上以免外力震動的匣子。

倍，並不是表示電流也是兩倍：事實上兩倍的電流偏轉的角度並不到兩倍。電流和偏向角的關係，可以用一條定律來說明。不過要說明這定律，需要比本書讀者有更高的數學程度，方夠應用，所以現在不得不暫為擱置。有許多電流計並不刻着度數而直接刻着電流單位；像這樣的一種，每格的距離一定是大小不等。

根據上述原理以構造度量電流的儀器，有很多不同的種類。有一種最精確的電流計，磁針是用一根很輕很細的線

或絲懸着而並不用裝軸，因為懸在線上的磁針比較裝軸的磁針格外靈活容易轉動。有一種儀器的線圈和磁鐵都裝在



第33圖 電話修理人的簡單電流計。

一個小箱子裏，只看見一根指針。這種指針所指的，通常是電流的大小而不是角度的大小，所以標度上寫着一安培、二安培等電流單位。電流可以安培做單位度量，和長短用尺度量、輕重用磅度量是一樣。直接標着電流單位的儀器叫做安培計。還有一種很簡單的儀器，只用一根磁針來顯示電路上有無電流通過。這種儀器修理電話的工人用得最多。

有許多安培計是用一個很小的線圈懸在很強磁鐵兩極的中間，如第 32 圖 b 所示。在電流通過小線圈的時候，我們現在已經知道，線圈的本身便和一根磁鐵的作用一樣，於是

被強磁鐵所轉動，結果使懸掛小線圈的細線扭轉。通過線圈的電流愈大，扭轉懸線的扭力愈大，線圈的轉動角度也愈多。線圈轉動的總度數可以用下列方法來測量：把一只約有五分鎊幣大小、重量很輕的鏡子懸在懸掛線圈的線上。另外用一條光線射在鏡上，假使鏡子一有轉動，光線也一定跟着轉動。這種轉動可以用一條玻璃來顯示，使從鏡中反射的光線恰巧射到玻璃片上，一方面看起來異常清晰，一方面由光線所射過的距離，也可以度量偏角的多少，正好和指針的作用是一樣*。

電流的化學效應：電池 在第一編中，我們已經知道若把電池的正負兩極用兩根電線接着，在兩線的兩端各各接上一片鉑片，將鉑片浸在水杯中，杯中的水，在電流通過的時候，便分解成爲氫氧兩種氣體。假如現在我們把電路中插上一根電流計，我們便發現電路中確有電流通過。又假如我們把電路中多用上幾只電池（例如我們先用六只乾電池，然後再試以三只或四只電池），我們可以發現有兩件事實同時發生：第一件是氣體的發生比較快速，第二是電流較大。這試驗告訴我們電流能把水分解，電流越大，被電流所分解

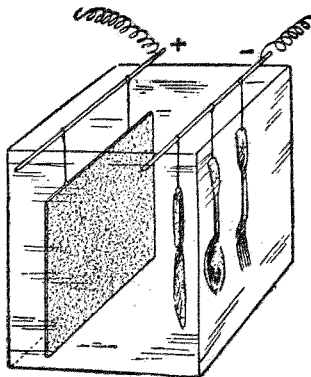
*事實上光線比指針還要便利正確，因爲如線圈轉過 5° ，指針也不過轉過 5° ；而光線却要轉過兩倍的角度 10° ，這原理是根據光線的反射定律，在第四章中，我們便要討論到這種定律。

的水量也是越多。把水分析為組成水的兩種氣體成份，或叫做水的分解，是電流另一效應的好例子，便是化學效應。隨便什麼時間，只要有電流通過液體，便可發生一種化學變化。有某幾種液體，像油類，便不能通電：叫做絕緣體。假如把兩塊金屬片放在油杯中，接到電池的兩極和一只電流計，電流計的指針却絲毫不能移動。杯中的油類也絕對沒有變化。所以化學效應和電流是同時發生，假如沒有電流，便沒有化學效應。

很澄清的液體當中，有時會含有溶解着金屬的化合物，如在第一編所說過的藍色硫酸銅溶液，一方面非常澄清，一方面又溶解着金屬的化合物。用肉眼來觀察，這種溶液當中，並看不出什麼含有金屬的標記。這些溶液，因為裏面所含化合物的不同，有時帶着色彩，有時明淨無色，可是並看不出有什麼物質浮沉在裏面。在這些溶液中，假如放上兩塊金屬片，並且令電流從片上面通過；這通過的電流便會把溶液中的金屬從溶液中分解出來，附在一塊金屬片上。這種化學效應叫做電鍍。在第一章中已經說過，凡是要把金屬物上鍍金、鍍銀、鍍銅、鍍鎳、鍍鉻，以及鍍上別種金屬，都可以利用這方法來做。例如，所有腳踏車上鍍鎳的部分，都是電流的化學效應的結果呵。

銅是最容易電鍍的一種金屬。例如，我們若要做一個貨

幣單面的模型；先把貨幣壓入一塊石蠟裏面，使顯出一個很好的花紋或模型。其次把這模型上刷上一層可以通電的石墨；然後再把電線的一端繞在這塗着石墨的模型上。取幾個硫酸銅的結晶放在水杯中，任其溶解；在這藍色美麗的硫酸銅溶液中，浸着這模型和一块銅片。把電池的正極接到銅片上，負極接到蠟製而又塗過一層石墨的模型上。假使把這種裝置安放著經過幾天功夫，模型上便會附上一層很厚的銅。如把這模型裏面的石蠟設法取去，便可得到一隻很好的銅質模型。第 34 圖便是普通電鍍在工作進行時的情形。玻

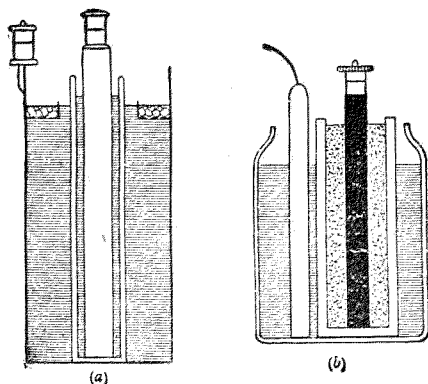


第34圖 電鍍。

璃缸中貯着含銀的化合物溶液，正在把刀、叉和茶匙做鍍銀的工作。

用這種方法，可以從金屬化合物中，把純粹的金屬分出。從鐵鋁氧石中提煉純鋁，便是用這種方法。煉鋁的方法，在第五章中詳為說明。

由此，我們知道電流可以發生某種化學效應。更足令吾人感覺驚奇的，便是這變化的逆作用，從化學變化產生電流，也是一樣的真確。這事實是用在人們發生電流的電池中。現在讓我們來考察一種形式的電池，便是現代已不很有人用的，為丹尼爾 (Daniell) 所發明的丹尼爾電池 (第35圖a)。這種電池含有一只銅圓柱體，當中貯着我們適纔說過的硫酸銅溶液；在這銅圓柱體中，另放上一只較小的未上釉的陶器圓柱筒。因為這陶器圓柱筒上有許多小孔，使硫酸銅溶液可以任意的通過。陶器圓柱筒中插有一根鋅棒，並貯



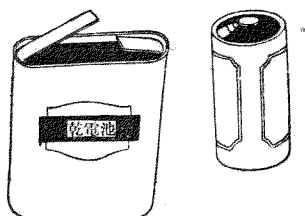
第35圖 電池：(a)丹尼爾電池；(b)勒克蘭社電池。

着稀硫酸溶液。假如用一根線把鋅棒和銅圓柱體接聯，電路中便立刻發生電流。若把電路通着經過幾天，鋅棒會便完全蝕去，同時藍色溶液也變成非常稀薄。可是，假如把銅圓柱和鋅棒當中聯接着的電線拆除，只要鋅棒純粹*，無論經過多少時間，決不會有剝蝕的現象發生。這就是說，如要電池發生電流的時候，電池中便有化學作用發生；電路一斷，電池中的化學作用便隨時停止。所以電流和化學作用是同時發生。在剛有電池的時候，人們便想着很仔細的做一只電池，使它不受剝蝕，永遠的發生電流；不過恰碰到做電池的原料總是消蝕，正和車輪用得很久便能生鏽一樣。他們希望在這種情形下得到一種永久的動作。不過，現在我們已經知道，我們不能從無中生電流。火爐所得熱，要從燃煤得來，電池中的電流也須從化學物品得來。

另有一種用在電鈴上的電池叫做勒克蘭社(Leclanché)電池(第35圖b)。當然，這也靠着化學作用，和其他式樣的電池一樣。把丹尼爾電池中所用的銅正極換上一根炭棒；負極仍舊用鋅板或鋅條做成。炭極是放在有孔的陶器圓柱筒中，

*普通丹尼爾電池中所用的不純粹鋅棒和稀硫酸中間往往有一種化學作用。這作用是由於鋅棒中其他金屬所生成。要除去這種作用，普通把鋅棒上塗上一層水銀，叫做汞齊。水銀永久附鋅棒的外層，在電流通不通的時候，便可防止鋅和稀硫酸所發生的化學作用。

四週緊緊的貯上一種二氧化錳和炭屑的混合物。把鋅極放在氯化銨的溶液中。在這兒所以要特別提起這種電池，便是因為普通電筒中的乾電池是用相仿的方法做成。要防止容易潑翻，可以把液體的氯化銨用鋸屑和甘油浸入強氯化銨



第36圖 乾電池。它們和勒克蘭社電池的製造方法是在一條線上；不過把液體用鋸屑和甘油做成厚漿。

做成的糊來代替。假如這鋸屑是不潮濕，並且是十分乾燥，這電池便不能發生作用。所謂“乾燥”的意思，便是裏面沒有多餘的水分可以流出。在電流從電池中發出的時候，電池中的鋅便隨時跟着剝蝕，等到化學作用把全部的鋅都消融以後，電池便失却發電的功效。但如電池是放着不用，無論經過多少時候，鋅總不會無緣無故剝蝕。

現在，我們已經知道電流可以發生化學作用，同時反過來化學作用又會發生電流；可是，在兩種情況以下，假如沒有電流通過的話，便不會有化學作用。在這兒，發生着一個很簡單的問題，電池的失却效用，因為裏面化學品所生的化

學作用是已經完畢，我們能不能再把電流通到已經沒有化學作用的電池中，使恢復原有的狀態，和我們新做的電池一樣，再從裏面取用電流。這答案是現在有一種很重要的電池，便是用這種原理構成。當我們把電池中的電流從一種方向用去以後，同時發生一種化學變化；我們可以用相反的電流通到電池裏面，使化學品恢復原有形態，這不是又可以使用裏面的電流嗎？利用這種原理構成的電池通常叫做蓄電池。在我們相反方向的電流通入這蓄電池的時候，我們通常叫做使蓄電池過電。這電池的作用正和我們把一根彈簧拉緊使聯着的輪子向一個方向轉動，把彈簧鬆懈的時候，輪子便會向相反方向轉動是一樣。

簡單的蓄電池是把兩塊鉛板放在硫酸的溶液裏面。在蓄電池過足電以後，它的正極便現出像巧格力糖的深棕色顏色；這時候正極變成氧化鉛（鉛和氧聯合而成的一種物質）緊緊的固着在鉛架的上面。同時負極變成像海棉樣空鬆藍灰色的鉛緊附在另一鉛架上面。等到蓄電池中的電被完全用去，便是兩極和硫酸作用以後都變成灰白色。這灰白色的物體是從化學變化所成，叫做硫酸鉛。在蓄電池再經過電，便是把電流用相反的方向通入，它的正極仍舊變成棕色，同時負極也變成青灰色。所以，蓄電池也是電流和化學變化同時發生的一個很好的例子。任何時間我們把電

過入是組成一種化合物：但在我們用電的時候，裏面的化合物又慢慢的分解。在蓄電池的電路斷着的時候，我們不從裏面取出電流，化學作用便停着不生。

有一個對於保持蓄電池很有用而從化學作用所生成的標記。蓄電池中的液體是硫酸（很濃的硫酸）和水的混合物。濃硫酸每立方公分的重量有1.84公分重，每立方公分的水只有一公分重。換一種方法來說，其實意義是一樣，硫酸的比重是1.84。比重的意義便是同體積任何物質的重量和同體積水的重量的比；或再換一句話說，比重便是物質比水重些的比數*。在過足電的電池中，硫酸的適當密度是每立方公分1.25公分重。但在放電的時候，硫酸和鉛發生聯合的作用，使硫酸溶液漸漸變稀，密度減少。在使用蓄電池的時候，假如裏面硫酸的密度只有每立方公分1.1公分重，我

*參閱第一編“冰和水的密度”。我們應注意的是比重不過是物體和水的重量比，並沒有什麼單位；因為假如我們用一立方英寸的鐵和一立方英寸水的重量相比，這和我們用一立方公分的鐵和一立方公分的水相比得到一樣的結果。因此，比重不過是兩種物質的重量比，所取的單位却沒有多少關係。不過密度便和這不同；它是指定體積中的重量，因此我們說到密度的時候，便得說出體積和重量的單位。每立方公分的水重一公分，水的密度便是每立方公分一公分重，數值雖然是一樣，實在是有一種分別。這問題可以想一想。

們便不能繼續使用。應該把它重行過電。要度量硫酸的濃度，可以利用一種浮秤*。有一種度量密度的浮秤專用以度量1.3和1.1以內的範圍。

電阻 假如我們把一只電流計和蓄電池聯接，或更好的話，用一只安培計，我們便發現這一類儀器的讀數大小，靠着電路中電線的長短決定。要證明這個事實，我們只要用一根百分之一英寸直徑的鐵絲來試驗，所用的鐵絲愈長，儀器上指針所轉的角度便愈小，或偏向愈小（通常轉過的角度叫做偏向）；換一句話說，便是電流愈小。假如用同樣物質、同樣長短的電線來做這試驗，例如用15英尺長，但粗細不同的幾根銅絲來做，如42標準線度量（S. W. G.，徑約千分之四英寸）和36標準線度量；結果，所用的線愈細，通過的電流愈小。最後，假如用同樣粗細，同樣長短，但不同金屬的線，在每一種情況之下，所通過的電流也是不同。例如，用一樣長短粗細的銅、黃銅和鐵線來做，結果，電流以銅線中的最大，黃銅線中的電流次之，鐵線中的電流最小。

至於各種線段聯接在電路中的次序，對於電流的大小，並沒有影響。不問某一線段是接在蓄電池的任何極上，或接在聯接蓄電池的其他電路上，都沒有分別。只要它們是同接在一電路上，並且蓄電池所發的電流一一從它們間通過；

*參閱第一編第95圖。

線段前後的次序，和電流的大小是毫無關係。

在某一電路中，如忽然插進另一段新線，雖然這線段是很短很細，所引起的影響不大，但却能使電流相當降落。這事實告訴我們電線對於電流是生有阻力，或叫做電阻。從我們適才所說的情形，電阻跟着電線的粗細、長短和構成電線的金屬來決定。電線越長，電線越細，裏面的阻力便越大。銅的電阻比黃銅小，黃銅的電阻却又比鐵小。若我們用另一種眼光來考察，用流過電線的電流做注意點，我們可以說銅的導性最好（即損失少量電流）其次是黃銅，再次是鐵，或銅是電流的良導體。事實上，銅的導性比任何金屬來得好；因此電力公司的總電線和許多通常電線都是用純銅做成。

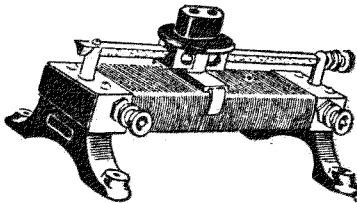
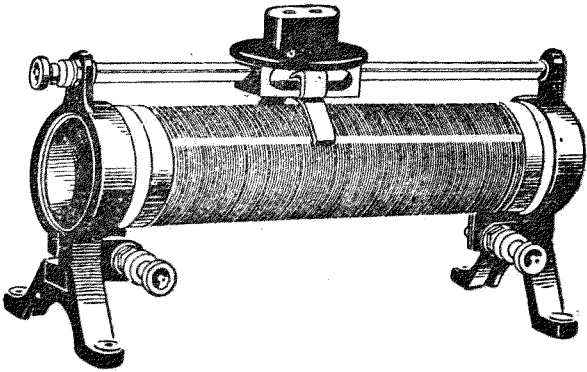
在電線中因為電阻而好像損失的電流，究竟到什麼地方去呢？電流的損失，便是能的損失；例如我們用許多電池來轉動一只電動機，假使我們在電路中插上一段電阻很大的電線，電動機所做的工作便立刻減少。我們知道，能是決不會真正的消耗損失，不過僅僅能從一種形式變做別種的形式*。在電線裏所遇到的事實是：電能雖然好像消失，却變成電線中的熱能。假如兩根電線中的電流是一樣，並且串聯在同一電路上，電阻愈大的線段，所發的熱也愈多。

電流經過電線的時候，假如我們要它的損失量降至最

*參閱第一：第四章。

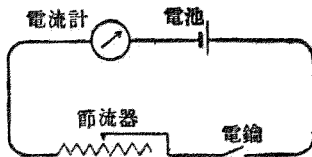
小，以便保存電能，可以多做一些有用的工作，我們便要使電流經過一個良好的導體。假如我們要利用電流發生熱量，我們便把電流通過高電阻的導體。例用電燈中的燈絲便是做得很長很細，以便上下曲折，或繞成線圈(參閱第26圖)，才能產生很大的熱量。至於電射熱器當中的電線，因為要保持牢固，所以製造得較粗，並且要用很長的高電阻金屬線。這種線是繞成很緊密的線圈，以免占有太大的空間。

因為許多的原因，最好電路中的電阻，能時時隨意變易。有這種電阻的儀器，叫做節流器。曾經做一些關於無線電收音機工作的人，對於節流器大概是都很熟悉。節流器是用很長的電線繞在絕緣的圓筒上，上面有一只可以任意滑動，並和線圈接觸的滑動器。電流的一端可以和節流器線圈的一端相聯接，他端便聯接在滑動器上。這樣，經過節流器的電流，是從線圈一端和滑動器中間的一段電線通過，因為滑動器可以任意滑動，所以電阻的大小，也便可以隨意支配了。節流器的長線，所以要繞成線圈，不過是要不占太大的空間。第37圖所示，便是通常節流器的幾種式樣。我們在舉行實驗的時候，最好要有幾種通用的節流器，那才可以隨着自己的意思以支配電路中電流的大小；並且還要有一只安培計，以便隨時察看電路中電流的大小。例如電路中的電流太大，我們可以把節流器上的滑動器移動，使電路中多增加



第37圖 節流器。

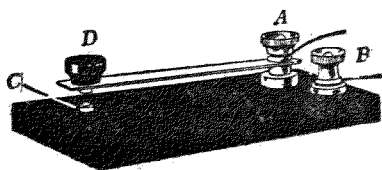
一些電阻。在電學圖中，節流器可以用第38圖中的記號代表；在圖中，還繪着電池、電流計和電鑰的記號。這是一種省。



第38圖 代表普通電學儀器的記號。

寫圖，省得繪出儀器實際圖形的困難。代表電池的兩根線，一粗一細，粗線用以代表負極，細線用以代表正極。

在電路中，還用着一種電鑰的記號。電鑰是很小很簡單的一種器具，專門用在電路上電流的開閉，如第39圖所示。



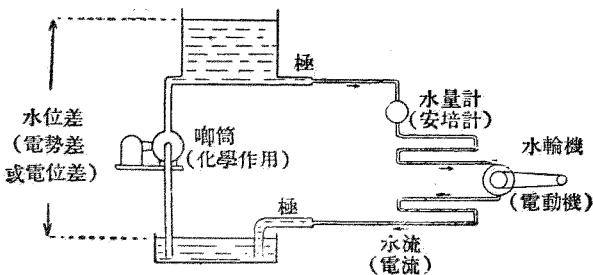
第39圖 電鑰。

電極B的下面有一條金屬片直通到很小的大頭釘C，這金屬片從硬橡皮座的下部通過，使接在B極的電流可以從銅片通到釘C。電路的一端接至A極，他端和B極聯接。如把極D壓下，使與C接觸，電鑰便成爲電路的一部分，假如把D上的壓力除去，D與C相離，電流便不通行。

電壓：電單位 假如我們默想一想比較常見的水管水流的情況，對於電路便可得着更清晰的了解。水管中的水流是發源於一只高架着的積水槽中，在水管中，我們可以插着一只水量計，它便告訴我們每分鐘裏面流過的水量。再放一只藉水流來做機械工作的水輪機。要把充分的水貯在高架的積水槽中，我們一定要用一種打水唧筒。打水唧筒可以把水打到10英尺的高度，若要再高，那就感覺困難了。

通水的水管，和通電的電線是很為相像；也能使水流發生一種阻力，管子越細越長，流過的水流便越小。事實上，水從水管中流過的時候，也和電流從電線中流過的情形是一樣，也會發生熱量，不過水流所生的熱量，除非用極大壓力把水壓過極小的水管，沒有電流所生的那樣大罷了。

水管中的水所以能流動，因為高架的積水槽和底下的水池中的水平面相差很大，在前節所述的例中，差不多相差有10英尺之多。這是很清楚的事實，假如高架水槽和地面水管所差的高度愈大，管中的水流也便越大。例如，假使把積水槽的高度提得像第40圖中高度的兩倍（只須把彎曲着的水管拉直，並不要另行加入新水管），水管中便有兩倍大的水流通過。由此，水流的大小，根據着兩件事實：第一是水平面差或水位差；第二是水管對於水流所發生的阻力。但水流的大小不過是根據着水位差來決定，當然並不是和水位差

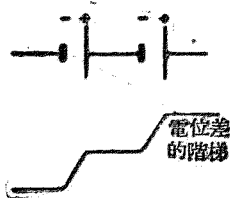


第40圖 電流和水流的比較。

是一件事情。例如，要度量水位差，我們必得用尺；但要度量水流的速度，一定要指定在水管的某部，每秒鐘流過若干加倫的水為定。

同樣，在電裏面，電流也根據兩件事情來決定：第一是整個電路中的電阻；第二是電勢差或叫做電位差。保持一定水位差的小唧筒，正好相當於電池中保持電位差的化學作用。水管中水繼續流出的時候，小唧筒才會工作；我們要繼續從電池中取用電流的時候，化學作用才會發生；這又是相似的兩點了。

例如，因為蓄電池的兩極是有不同的電勢差，假如用電線和安培計相接，我們便可量得電路中的電流。假如我們用兩只同樣的簡單電池，先把一只正極和一只負極用電線聯接，然後再把所餘的正負極用同樣的電線和同一安培計聯着，我們便可得到近於兩倍的電流*。當我們把第一電池的



第41圖 兩只電池的串聯。

*因為電池本身也有相當的阻力，所以電流達不到兩倍大。不過現在我們還可不必勞心來討論這種困難。

正極用短線和第二電池的負極相聯的時候，不啻把這兩極配在同一的電位。這時候，第二電池正極的電位，和第一電池的負極的電位差很清楚的比一只簡單電池兩極的電位差要高上一倍。用這種方法來聯接電池，便是把正負極互相聯着，通常叫做“電池的串聯”。

因為有了電位差，所以電流才會從電線中通過。所以電位有時候叫做電動力 (electro-motive force)，電動力的意思，便是使電的流動的力量。英文字常縮寫為 E. M. F. 或 e. m. f.。

現在我們可以隨即說出電動力或電位差的單位是伏特，由此，我們便很容易明瞭電機工程師有時候把電位差叫做伏特電壓的原因了。現在我們已很明瞭所謂電位、電勢、電動力或 e.m.f. 或伏特電壓，其實不過是指一件事情。電流的度量，是用安培為單位；電阻的度量，用歐姆為單位。伏特是紀念着伏打氏 (Volta)，安培是紀念安培氏 (Ampere)，歐姆是紀念歐姆氏 (Ohm)，這三位不但是電流定律的發明人，並且是世界上很偉大的科學家。

凡是知道一點電學的人們總喜歡說：「10,000伏特的巨大電流」。這說話的錯誤正和你說「用一英里的水來澆園中的花木」或「尼加拉 (Niagara) 瀑布一萬萬加倫高」是一樣。電流一定要用安培來度量。你記着下面的一句話，

也許可以幫助你記清這三種單位。「一伏特的電勢差把一安培的電流，送過一歐姆的阻力。」從這話，你便可以知道電壓、電阻和電流間的關係了。

對這些伏特和安培的意義能更進一步的探討，確是一件很為重要的事情；這不但對於科學的目的，即對於日常生活，也是應用很廣。假使我們第一有一只簡單蓄電池；第二有一只大蓄電池；第三有一只乾電池組。如兩只蓄電池的電壓各為2伏特，乾電池組的電壓為4伏特。這許多名詞對於我們似乎很覺生疏，可是讓我們先用水來做一個譬喻。假如匯着山溪水的湖水平面高出發電廠20英尺。用小唧筒來維持水平的高架水槽，假定也是比地上水桶高出20英尺。再假定用來供給玩具噴泉中水量的玻璃碗中的水平，比噴水管口高出40英尺（假定這玻璃碗是安放在屋頂上，並且有幾個小孩子繼續不斷的把水從水囊中加入）。過去我們說過水平面相差越大，所得的能便越多；不過溪水能轉動很大的水輪機，而玻璃碗中的水却不能做這樣大的工作，是一個很明顯的事實。這種矛盾現象中的祕密又是什麼呢？

這答案的要點是這樣：假如我們把水槽和通到水輪機的粗大水管相接，水平面因為水槽中的水全部漏入大水管，便立刻降低，同時小小的唧筒沒有這樣的力量再吸取多量的水來維持高架水槽中的水平；同樣，40英尺高的玻璃碗假

使和水輪機的大水管相通，裏面的水便要漏得一些也看不出；屋頂上小孩利用水囊至多能維持玩具噴水泉的水量，假如通到大水管，恐怕便是要維持一英寸的水平差，也為孩子力量所不能及了。可是湖中的水量，有許多山溪供給，因而能供給許多水輪機所需要的水流，並且維持着原有水平。

現在，我們再回過來考慮一下上面所說的兩種蓄電池。小蓄電池的能力，只能在不耗電壓的範圍之內，供給很小的電流。但較大的蓄電池却能供給較大的電流而仍舊維持2伏特的電壓。至於小乾電池組所能供給的電流，還要比小蓄電池所供給的小；假如我們把它接聯到一根阻力很小的電線中，我們可以得着較大的電流，可是只能維持一兩分鐘的時間。在無線電收音機所用的高電壓電池所以不易消耗，便是因為所供給的電流很小；同時所以要用許多電池聯成電池組，也不過是因為要得到較高的電壓。

等到經過相當的時期，即使我們平常並沒有用得過度，這些蓄電池和乾電池也都會失却效力。這是因為電池內相當於唧筒來維持兩極間電勢差的化學品，已被完全用去。我們已經知道，如是蓄電池，我們還可以用相反方向的電流通入，以便重行使用；如是乾電池只好另行掉換了。

電力的供給 在第一編中，我們曾經談到在科學中，怎麼叫做功；並且看見，如有一個力量把物體移動的時候，便

叫做工。功的總量便是等於所用的力和物體被移動的距離的相乘積；因此，如有一個112磅重的物體被力移過100英尺的距離，這工作的總量便等於11,200尺磅。假如這物體從上降下112磅，它便能做11,200尺磅的功。例如，假使這物體降落是很慢（如正在經過一只滑輪來拉起另一很重的物體），除了對於滑輪的摩擦力，耗去了一部分很小的功以外，它關於舉起重物，做11,200尺磅的功；不過假使任它自由降落，它可說是並沒有做工，不過得着較大的速率；若要它停止下降，那就要做工了。同樣的理由，從很大水管流到水輪機的水流速度是非常的大，但從水輪機流出的水，速度便非常的慢，假如水輪機沒有什麼物體要水流來轉動，流出水輪機的水流速度，便仍是很快。這便是因為水流在水輪機中，犧牲了它自己的能，同時做出許多的功。一噸水所能做的功等於用一噸和水降落的垂直距離相乘積*。

工程師時常應用到的並不是功，而是規定時間內所做的功。他對於要費去一整天時間能把2噸重的物體提高625碼高度的起重機，並不覺得滿足；可是他却要求在規定時間內能做這樣的工作。所以，使工程師發生興趣的是工作的速率；換一句話說，便是每分鐘所做的功。機器做工的速

*如我們的答案單位要用尺磅，我們必得把一噸寫成2,240磅，並且要用英尺度量垂直距離。

率通常叫做功率；假如一部機器能在一分鐘內做成33,000尺磅的功；這便叫做一匹馬力的機器。還有一種功率的單位，是用法國制度或公尺制。公尺制的功率單位是仟瓦，每仟瓦等於1.34匹馬力。在許多的通常應用上，差不多可以把一仟瓦當做 $\frac{4}{3}$ 匹馬力。一仟瓦真正的意義是等於1,000瓦。瓦的名稱是用來紀念大工程家瓦特（James Watt）的，他不但是發明着怎樣度量功率的方法，並且是發明有功於人類的蒸汽機。你可以知道一瓦只等於 $\frac{4}{3000}$ 匹馬力，雖然你或者時常聽見無線電收音機的功率用瓦來表示，可是這種單位，在工程上就覺得太小而不切實用。

湖水從水管流到水輪機所做的功等於水的重量和湖水平面高出水輪機距離的相乘積。至於每分鐘所能做的功是等於每分鐘流過水管的水的重量和高度的相乘積。管中每分鐘流過水的重量叫做水流。因此，如高度是300英尺，管中水流為每分鐘10噸，這功率便為 $\frac{22,400 \times 300}{33,000}$ 匹馬力，或約203匹馬力。我們把使水發生流動的水平面差乘着水流，便可得到功率。

同樣的原理，電學中也應用和這相同的規則。要得到電所做的功，我們可以把電勢差或電壓乘着電流*；如照通用實際的單位，以安培做電流的單位，伏特做電壓的單位，功

*此為直流。在這時候，交流對於我們，尚覺太難。

的單位便是瓦。因此，如供給的電壓是220伏特，電動機能通過的電流是5安培，這電動機的功率便約等於 $\frac{5 \times 220}{1,000}$ 仟瓦，或 $\frac{5 \times 220}{1,000} \times \frac{4}{3}$ 匹馬力或不到 $1\frac{1}{2}$ 匹馬力。

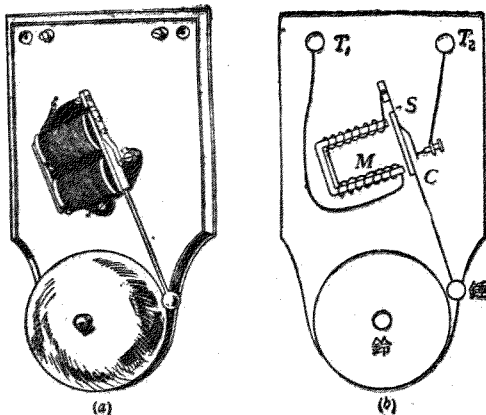
你僱用汽車的時候，你一定要依着僱用的時間來付價；這便是說，你僱用這樣多的馬力經過多少時間。電也是這樣買法，便是多少時間內的仟瓦數。每小時一仟瓦叫做一商部單位或B. T. 單位 (board of trade unit)，或簡稱一單位的電力。有了這種單位，對於計算電的購買，是非常有用。讓我們舉一個例，便很為明瞭。假定一單位的電力是一角，問一盞電燈點過一小時後，應付價多少？在電燈泡的上部，你可以覓到這燈泡所需要的功率，通常電燈都是60瓦的居多，假定這電燈便是60瓦的燈泡。一仟瓦=1,000瓦，每小時需費一角；每時60瓦的燈便等於 $\frac{60}{1000} = \frac{3}{50}$ 角。或者假定你有一只200伏特直流電的電射熱器，射熱器需4安培的電流方能發熱。於是功率為 $\frac{4 \times 200}{1000}$ 仟瓦，如此如用電一小時為 $\frac{4 \times 200}{1000} \times 1 = 0.8$ 角。

要避免這些單位的紊亂，我們可以列一張簡單的表格。有些單位在科學上雖然有時用得着，為免避麻煩，可以暫時省却。下面所列的都是人們日常生活中常遇見的單位。

電學度量	單位
電位差成 e. m. f.	伏特

電流	安培
電阻	歐姆
功率	馬力或仟瓦
功	仟瓦小時

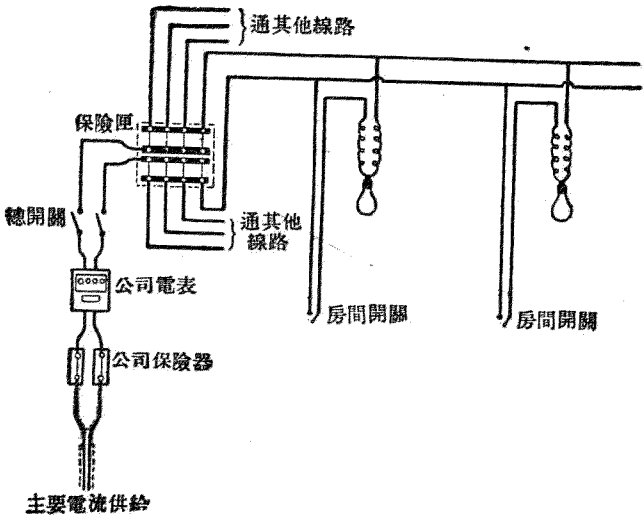
通常城市住宅中含有我們所談過對於電的普通效應的簡單例子。例如，第 42 圖所表示的電鈴便是根據電流的磁效應所做成。 M 為一塊電磁鐵。電磁鐵上所繞線圈的一端聯接在 T_1 極，另一線端聯接在扁平的彈簧片 S 上。簧片上有一塊叫做電樞的軟鐵，軟鐵的一端附有一只金屬錘。電鈴的另一電極通到一只扁頭釘上，這釘和簧片上另一小簧片恰巧可以接觸；這構造從圖上 C 部分可以看出。 T_1, T_2 兩極用電



第42圖 電鈴：(a)外形；(d)工作分部。

線接到捏手的電鑰，在線路上並插上一只電池，現在假如我們捏着電鑰，電流便從 T_1 、 T_2 流過電樞和電磁鐵的線圈。一等到全部有電流通過，電磁鐵便發磁性，拉着電樞，同時錘被拉和鈴撞擊。不過當電樞向內移動的時候，小簧片也被牽和扁頭釘分離，於是電流便不能通過，電磁鐵失却磁性，不能拉着電樞，使簧片和錘都恢復原有地位，而小簧片仍在C處和釘相接，使電流重復通過。這種作用，在把電鑰捏下的時間內，循環不息，所以電鈴便能斷續的發聲。所以，電鈴是電磁鐵的一個簡單例子。

在房屋裏還有種叫做保險匣的裝置，以防屋內電路偶然發生的例外。在普通情況之下，把電鑰關閉着的時候，電流便通過室內如電燈或電射熱器等有大電阻的電路；用了這種保險匣，便可以阻止太大電阻所發生的危險。假如，通到電燈的電線絕緣物偶然損壞，使兩根電線直接接觸，或誤把金屬物同時接觸着電燈的兩極，或偶然的把低電阻線接入電路，在發生了這些偶然的事件時，電路中的阻力變成非常的小，若把開關閉上，電路上的電流一定很大。這種高電流可以發生很大的熱量，把電線熔解。如某一室內的電線已經熔解，在熱量過大的時候，也許可以引起火災。但事實上要覓出什麼部分的電線已經燒燬，或燒燬着多少長短的電線，是一件很不容易的事情，這不是管理家政者的一件很嚴



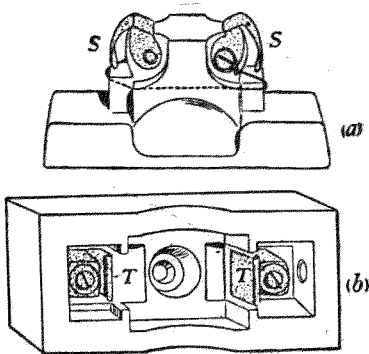
第43圖 住宅中的電路。有許多相交的線有T形記號，是表示兩線是絕緣着。你應注意把開關閉上的時候，電流只通到一盞電燈內，而和其他電燈無涉。

重的事件嗎？

保險絲是用很細的銅線或熔點很底的錫線做成。這種線通常比普通電線所能流過的電流較小，但比普通家庭所需要的電流較大。例如，通常供給燈光的電流差不多在3安培左右，假如所有的電燈都經開着，這電路中的電線可以很安穩的通着6安培的電流；在這種情況的電路中，可以用一種通過5安培電流的保險絲。假如發生了“短電路”（如上述

幾種因偶然事件，致使電路電阻減至極小，電學家便叫短電路），或者因為別種原因電路中不止5安培的電流通過，保險絲熔化，電流停止，電燈跟着熄滅；這樣，用了保險絲便可使電線中的電流有一種限制，不致把電線燒得太熱發生危險。所以保險絲是電路中最易燒燬的部分，它在其他部分的電線受着過分熱度以前便能先行損壞。因此保險絲可以叫做電路安全活塞。同時，用了保險絲，也可以便於覓出損壞的電線部分，而加以修理。

通常的保險絲都是裝在小瓷杯或管中，兩端裝有兩片銅片，以便裝入有彈簧的匣中，如第44圖所示，保險絲燒斷的時候，在小瓷杯上留下一條痕跡，所以一看便會知道那



第44圖 保險絲。上圖繪着的虛線便是保險絲，接在金屬彈簧SS上。假如把(a)的部分放在(b)瓷匣中，SS恰和金屬部分TT相接觸。TT便是接在電路上的兩極。

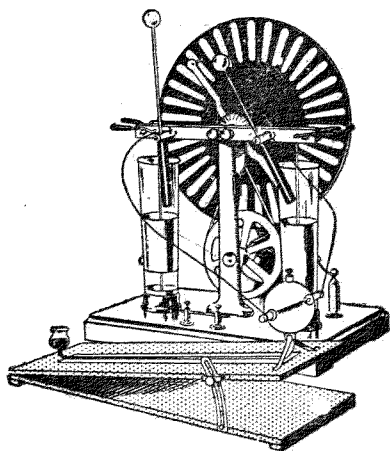
一只保險絲發生損壞。因此可以隨時把保險絲已經損壞的瓷杯取出，再裝上一根新保險絲。

摩擦電和電流電是同樣性質的電 很早的時候我們已經說過一切的電都是一樣的性質。可是，摩擦發電機所生電的效應，似乎有一些和家庭電路中所流過的電不同。即使很小的靜電發電機，兩極離開一兩英寸的時候，也會發生很好的火花；可是家用電路中的電，便是把通電的兩根電線放在只有 $\frac{1}{4}$ 英寸的距離，也不會看見什麼火花發生（當你將兩根電線放近的時候，第一要留心不要使兩線接觸，因為一有短線路，保險絲立刻便要燒燬）。同時假使我們把摩擦發電機所發生的電通到電燈、電動機或電射熱器上面，也不發生一點效應。這是為什麼呢？

這理由是我們用摩擦發電機所發的電，有很大的電位差，和很小的電流；可是通常家用的電流、或蓄電池，我們得着較低的電位差，和很大的電流。摩擦發電機所生的電能發生火花，好比一小桶的水從幾百英尺的高度一瀉而下；家庭用的電流好比很大的水流，如一大桶的水從很低的高度從較小的水管流下是一樣。很小的摩擦發電機很容易發生兩萬伏特的大電位差，可是電流只等於十萬分之一安培。通常家用電路中的電位差約200伏特，差不多有 $\frac{1}{3}$ 安培電流。在摩擦發電機中所發的電，電壓的降低很大；但即使把這情形

也計算在內，這發電機的電功率仍然是非常的小，不能使通常的電燈發光。所以摩擦電和電流電的區別，是因為摩擦發電機所生的電分量太少，並不是性質上有什麼不同。

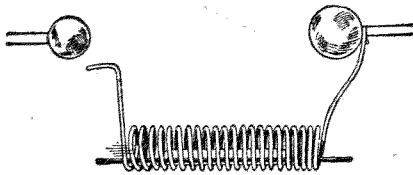
不過，我們可以證明摩擦發電機的電也和電流電有同樣效應；這便是熱效應、磁效應及化學效應。熱效應可利用第45圖的裝置來試驗。在玻璃球的兩極用電線通着發電機的兩極。玻璃球的下部接上一根內貯有色液體的玻璃管，如圖中所繪黑色部分。如此若玻璃球中空氣被熱膨脹，使液體向下壓着，向下的壓力，可以由管上的刻度度量。假如將發電機搖動，使發生一串火花，有色液體便隨着移動，這表



第45圖 摩擦發電機所生電的熱效應。

示玻璃球中的銅絲因電流通過而發熱，因銅絲發熱使球中空氣膨脹將液體向下壓着。

摩擦電的磁效應，可以用下列方法證明。把摩擦發電機的任何一極上接聯內裝縫衣針的線圈，將線圈的另一端放近發電機的另一極。由此，發電機所生電流便能從線圈中流



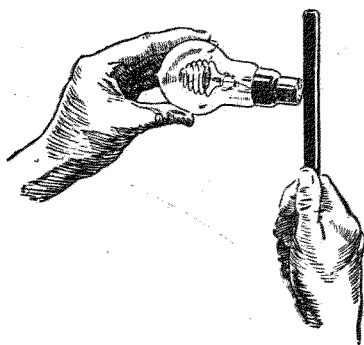
第46圖 摩擦發電機所生電的磁效應。放在架在玻璃棒上的線圈中的縫衣針，電流通過後便變成磁鐵。

過。我們先把線圈中所放的指針，置鐵屑中，由其不吸鐵屑，證明其不含磁性。但在電流通過之後，針便變做磁鐵。更進一步，引起火花的電流，通過線圈時，和電池所生電流有同樣的磁效應。

試驗化學效應，也有一種極簡單的方法。先將白紙一塊浸入含有一種名叫碘化鉀的漿糊內，然後把蓄電池兩極用銅絲兩根聯至貯漿糊的器具中，使兩線的兩端均壓着紙板。在電流通過時，聯接在正極的線端便會發藍色物質。假如蓄電池的正負未曾標明，我們可以用這方法來分別正負極。正極銅絲尖端所發生的藍色物質，是因為電流將碘化鉀分解

而成碘和鉀；分出的碘，集中在正極尖端，所以能使漿糊中的澱粉質變成藍色*。假如不用蓄電池，而換用摩擦發電機的兩金屬球或金屬球上所聯的兩線端壓在紙上，把發電機轉動，便能發生同樣的效應。這試驗可以證明從兩種不同發電方法所生的電有同樣的化學效應。水也可以利用摩擦發電機來分解，不過，用通常摩擦發電機，作用沒有用電流電那樣快就是了。

甚而至於一根硬橡皮棒經過相當時間的摩擦，也可以使電燈泡發生火花，不過這電燈泡一定要裝氖氣，通常用的燈泡，是不會發生什麼效力。在氖燈泡內，電流從燈泡中的氖氣通過，發生紅光，這現象我們在前面已經說過。這種



第47圖 以摩擦電使氖燈泡發光。

*參閱上冊第363頁。

氖燈泡所用的電是極省，這就是用氖氣燈做廣告，所以這樣通行的原因。

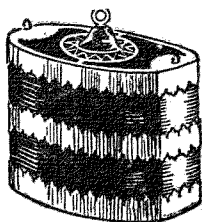
當我們摩擦硬橡皮棒的時候，硬橡皮棒可以得着一種吸引紙屑的性質，我們便叫這種性質為電荷。我們適纔所說，用摩擦硬橡皮棒所生的電使氖燈泡發生光亮的小小試驗，在氖燈泡發光以後，硬橡皮棒便失却了電荷。這失去的電荷，一定是流過燈泡；照這樣說，這種電荷所發生的效應，正和通常電流電是完全一樣。從此便可推想通常電流電也是一種電荷在導體中的流動，和事實告訴我們的正是一樣的情形。做一個簡單的試驗，可以把這種現象證明得極其明顯。用一只絕緣盤，盤上貼一層很薄的金屬箔。把電荷傳到金屬箔上，把絕緣盤很快的旋轉，使附在金屬箔上的電荷移動很快。如此便會發生很微弱的磁性，磁性正和我們用電流所發生的是一樣。這試驗因為要把絕緣盤用很快的速度轉動，所以不很易做，但如仔細的做，一定會得到滿意的結果。不過在普通學校的實驗室中，不很容易完成。

由此，我們的結論是：電流電也是一種電荷的流動。不過電荷怎樣的從金屬中流動，到現在還有許多科學界的名人絞着他們的腦汁來研究這個問題。所以你不能十分明瞭這種現象，也不必十二分顧慮。

第三章 磁

指南極和指北極——磁性吸力——地球的磁性——電磁感應

指南極和指北極 “磁”字是來源於瑪格尼西亞 (Magnaesia)。瑪格尼西亞是小亞細亞上的一個市鎮的名字；在市鎮附近曾得到一塊能吸引鐵塊的石塊，所以這種能吸引鐵塊的性質便叫做磁。這是磁鐵最早的歷史。磁石是鐵的氧化物(這就是氧和鐵二種物質的化合物，現在叫做磁鐵礦)。

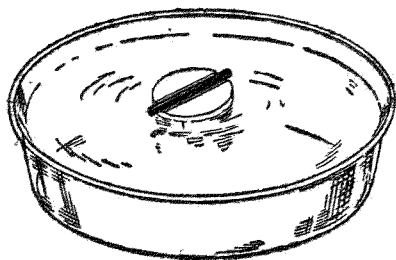


第48圖 裝飾過的古代磁鐵。

在英國古代，這種磁鐵又叫指路石，因為利用這種磁石，可以做成航海的指南針。在耶穌降生以前，古希臘和羅馬人已經知道磁鐵有一種吸鐵的力量，可是還有知道利用它的方法。雖然據種種傳說，中國在更古的時代，已經知道磁的性質(譯者按，我國黃帝即利用指南針和蚩尤戰爭，外國人不明瞭我國的情形，所以如此說)，但指南針在實際上的利

用，是否開始於十二世紀以前，還是一個疑問。*

讓我們先說明一下古代指南針的製造方法；因為明瞭了製造方法，多少對於磁性的學習可以有不少幫助。古代的人們總是用一塊磁石，可是現在人們用很小的一根棒形磁鐵，已經可以得到和磁石一樣大的磁性了。把棒形磁鐵放在刻着V狀槽的一塊木塞上，再把木塞浮在水中，我們便看見這木塞自己會轉動着，直至棒形磁鐵指着南北的方向，才會停止轉動。假如我們把這磁鐵指南的一極，用粉筆做一個記號，再把它的方向任意調動過，經過轉動以後，這做過記號的一極，仍舊是指着南方。這磁石的一端總是向南指着的便



第49圖 浮磁鐵。停在水盆中央，指着南北。

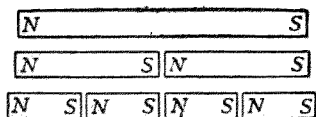
*人們常常把十二世紀誤當做從1,200年到1,300年。假如是這樣的話，第一世紀一定不是從1至100年，而是從101年到200年了。因此我們要記清楚十二世紀是從1,101年到1,200年，正和十一歲的孩子是從他生下以後第十年至十一年是完全一樣。

叫做磁鐵的指南極，另一端便叫做指北極。所以我們可以把這種磁鐵叫做浮水指南針，從前利用以航海的便是這一種。現代所用的指南針，並不是浮在水上，而是裝在可以任意轉動的裝軸上，現代兵士，和航海用的都是很小的裝軸指南針。古代人們把指南針的特性當做一種神秘，在現在看起來真是可笑。從前在十三世紀時候有一位義大利著作家曾經說過：沒有航海家敢用它，一用着便會被人看做魔術家，也沒有一個水手敢聽從攜帶着這種神怪儀器的指揮，因為這不啻是被一種鬼怪所支配呵。對於這種說話，我們可以一笑置之，不過我們也不能過於譏笑這種神怪思想；因為近代很多旅行的人，無論旅行到什麼地方，還是沒有一個不攜帶着迷信的福星，來希望他旅途的平安！

裝軸磁針和浮水磁針一樣的有指着南北的功用，不過浮在水中的磁針還多指示着一些事情。把這種磁針浮在水盆中的時候，它停止在水盆的當中，並不被拉至水盆的南部或北部。這事實是告訴我們地球的南極對於磁針指南極的拉力，和地球北極對於磁針指北極的拉力是一樣大小，不分上下。這兩個拉力，只能使浮着的磁針轉動，但不能使那當做軸的一點，有些微的移動。例如，桌上放着一塊支持着的木板，板的兩端縛着兩根繩子；叫兩個力量一樣大小的孩子對面拉着這兩根繩子，結果，這板被拉到兩端對着

兩個孩子的地位，便會停止；決不會向着一個孩子移動少許的距離。由浮在水中磁鐵的性質，我們知道每一根磁鐵的南北極磁性，都是一樣大小。

在粗粗的一想，下面的事實，好像發生奇異：磁棒只有兩端的兩極，照這樣說，假使我們把一根磁棒由中心切斷，我們豈不是得着一根有指南極而沒有指北極，和一根有指北極而沒有指南極的單極磁棒嗎？假如果真有這種現象，假如我們把這單指北極的磁棒放在水盆中，豈不是要一直向北移動，不達水盆的北沿邊不能停止，正和一個孩子拉着桌上的木板，木板便隨着孩子所拉的方向移動是一樣的情形了。其實，事實並不如理想所想，假如我們把一根磁棒切開，新切的一端立刻會生出新極，並且這所生的新極，恰巧和另一極相反：這便是說，凡含有舊指北極的一段，會生出新指南極；凡含有舊指南極的一段，會生出新指北極。如第50圖所示，無論我們把磁棒經過多少次的切斷，每次都有同樣的事件發生。要證明這試驗，可以利用一根縫針，照第98頁的方法，使它得着磁性，再用鉗子夾着縫針的中段輕輕的



第50圖 把磁棒切斷時，能生出新極，使每一磁棒都有兩個極。

一捏，那磁針便分爲兩段了。從這樣分開的兩段，放在浮在水面的木塞上，都有完全磁鐵的功效。並且，假使我們鎚擊任何磁鐵的指北極，這指北極上的磁性，固然會減弱，同時指南極雖然並沒有被鎚擊，也隨着一樣的減弱。假如我們把被鎚過一極的磁鐵，放在浮着的木塞上，它仍舊指着南北，並不向指南極的方向移動，這就可以證明指南極和指北極的磁力，仍然一樣大小；換一句話說，指南極的磁性也隨着指北極減弱了。無論是怎麼樣的一根磁鐵，無論是我們怎樣把它處置，結果兩極的磁性，總是相等。

磁性吸力 在第一編中，我們曾經講到，假如把一根磁鐵裝軸，並且把這磁鐵的一端做着一個標誌；這有標誌的一端，便會和另一磁鐵的一端相吸，而和另一端相拒。現在，我們可以更進一步的研究着這種吸引和推斥的現象。假定我們有兩根細長並裝軸着的磁鐵*，這種裝軸磁鐵，雖然不一定是針的形狀，但通常都叫做磁針。把這兩根磁針放得距離很遠，使肉眼不能察覺它們的相吸力量；讓它們自由停止在某種地位；然後用墨水、粉筆或紙標把兩根磁針的指北極做着標誌。和有些磁針在買來時便已經有着標誌是一樣。現在，假如我們把一根磁針的裝軸拆下，然後再把另一裝軸磁針移近，我們便發現兩個指北極便立刻互相推斥，同時一個

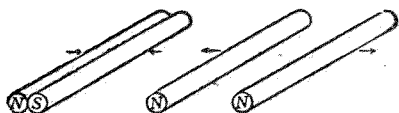
*參閱第一編第40圖。

指南極和一個指北極便互相吸引；又假如把兩個指南極移得靠近，它們也會發出同樣的推斥力。凡是兩個相同的極，如指南極和指南極，或指北極和指北極，通常叫做同性極；但如指南極和指北極，或指北極和指南極，通常叫做異性極。我們可以得着一個結論：同性的磁極相推斥，異性的磁極相吸引。

從這個結論，使我們回想起電荷的性質：兩個正電荷或兩個負電荷，互相推斥；但正電荷和負電荷會互相吸引。在電的情況以下，同電荷相斥，異電荷相吸。不過磁性和電有一個極大的區別：在電的情況以下，我們可以在某一物體上，如絕緣體一類，得着一種單獨的電荷；可是我們不能叫某一磁鐵單獨含着指南極或指北極。假如我們要測驗指北極的作用，我們所能做的，便是用一根很長的磁鐵，並使這磁鐵的指南極遠離着被測驗的一極；當然磁鐵兩極的磁性強度是一樣，我們決不能完全把指南極作用除却，只可以把指南極移至可能範圍內最遠的距離，使它作用的力量，比較起來，不至於有被試磁極那樣大便好了。

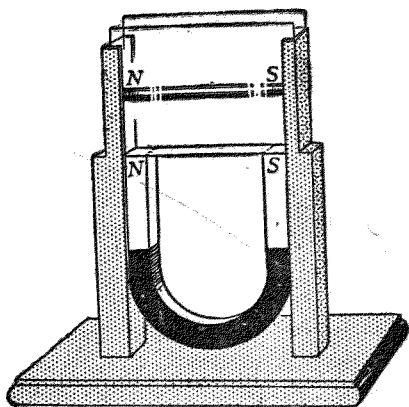
磁極的作用可以用磁性較強圓柱形狀的鈷鋼磁棒很明顯的試出。要覓出磁極的指北極，可以很便利的把這磁鐵用細線懸在紙製圈的中間，便可知道那一端是指北極；或者，更簡易的方法，用磁鐵的一端來和指南針試驗。假如用兩根

圓柱形的磁鐵並列着放在平滑的桌面上，並把指北極放在一端，指南極同放在另一端；它們立刻因為受着互相推斥的力量，便從桌面上向兩側滾動。假如再把這滾開磁鐵中任一



第51圖 圓柱形磁鐵的吸力和斥力。把兩圓柱形磁鐵的兩指北極放在一端，它們便相斥；若把不同的兩極放在一端，它們便緊緊的相吸。

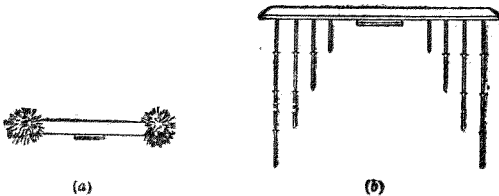
只的方向更換，使指南極和另一磁鐵的指北極列在一端，它們受着相吸的力量，便可慢慢的從兩側向中間滾動，結果至兩磁棒緊緊吸着為止。又如把一根磁鐵浮在空氣中，也是很



第52圖 夾在兩玻璃板中浮在空氣中的一隻磁鐵。

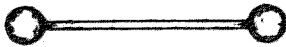
有趣味的事情。如第52圖所示，要阻止浮着磁鐵發生扭轉的動作（這種扭轉動作是因為它要在可能範圍內移到離相斥極的最遠距離而生出），我們便一定要用兩片平行玻璃來把磁鐵夾着。現在假如照第52圖先放着馬蹄形磁鐵，然後用一根鈷鋼磁圓柱棒夾在兩片玻璃的空隙中間，使指北極和指南極都安放在馬蹄形磁鐵指北極和指南極的上面；圓柱形磁鐵受着馬蹄形磁鐵的斥力，自然會懸空浮起了。當然，馬蹄形磁鐵可以用別種遮蔽物遮蔽着，使我們單單看見懸浮在空氣中的圓柱形磁鐵；或者，我們可以用一根磁性較強大的圓柱形鈷鋼磁鐵來代替這馬蹄形磁鐵。

由磁鐵的磁性表現，好像每一磁鐵的磁性，都是集中在兩端的磁極上。因此磁棒的兩端，通常叫做磁極。磁棒的中段並沒有磁性，這性質可以用在磁學試驗中很常用着的鐵屑來試驗。如將磁鐵棒插入鐵屑的中間，再取出時，許多鐵屑都附着在磁棒的兩極上，棒的中段却一些也沒有，如第



第53圖 磁鐵的磁力都集中在兩極；如(a)吸鐵屑；(b)吸鐵釘。

53圖 a 所示。或者，我們可以用鐵釘來做這試驗。在磁棒的兩端，可以接上四隻鐵釘：在磁棒近中段的部分，只能吸住一隻鐵釘，可是在磁棒的中點上，連一隻鐵釘都吸不住；如第53圖 b 所示。有些磁棒的兩端上做成一個球形，這樣兩極的磁性，便都集中在球形的中心。



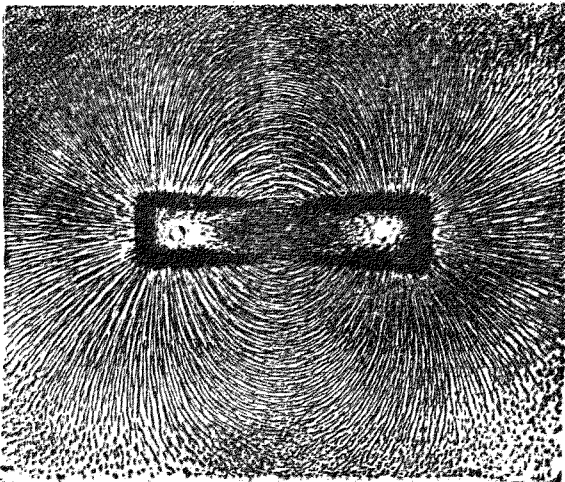
第54圖 有球形極的磁棒。

在磁鐵四週的空間，佈着磁鐵的磁力；便是這種磁力，可以使鋼或鐵發生磁性。離開磁鐵越遠的空間，磁力也是越弱。任何有磁力的空間，都叫做磁場。所以研究科學的人們常常說着磁鐵的週圍圍繞着許多磁力。同樣的情形，電荷週圍，也圍繞着電力。在磁場中的鐵屑，不但能告訴我們在這空間的確有許多磁力的存在，並且由鐵屑所排列成的方向，告訴我們這種磁力的方向。因為要顯示着這種事實，我們可以把很平滑的薄硬紙板放在磁鐵棒的上面，再把鐵屑撒在硬紙板上。假如把紙板輕輕拍着，這硬紙板上的鐵屑便會依照磁力的方向排成一條一條的線，這便叫做磁力線。撒在紙板上的鐵屑不能過多過厚*。第55圖 a 和第55圖 b 便是用

*你假如要做成一張用鐵屑表示磁力線的永久標本，你可以取一些藝術家用來粘着鉛筆畫所用的膠質溶在酒精中；並且輕輕的把這種液體洒在已經磁力線作用的鐵屑上，酒精蒸發了，餘下的膠質便把鐵屑粘住。

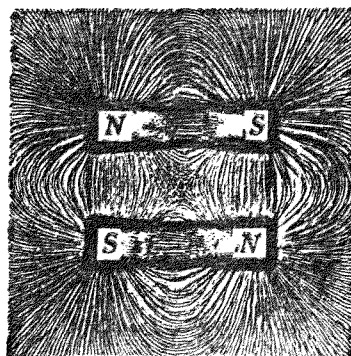
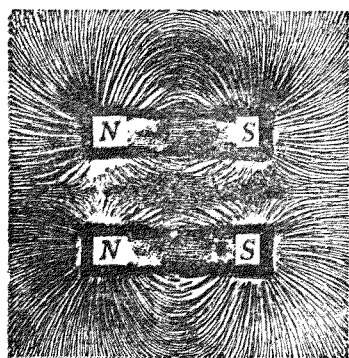
來示教從鐵屑所排成的磁力線。第55圖 a 表示單磁棒的磁力線；第55圖 b 表示兩根磁棒對於鐵屑所成的磁力線；一只是同樣兩極放在同一端，還有一只是不同的兩極放在一端。在相吸的情形中，一極所發生的磁力線一直通到另一磁性不同的極中；在相斥的情形中，兩同性極所發的磁力線都轉折着互相避讓。

隨便一塊鐵或鋼，一放到某一磁鐵週圍所生的磁場當中，它自己立刻也變成一塊磁鐵。讓我們把一根軟鐵棒用木製架垂直的夾着，如第30圖所示；假如我們把鐵屑移近這軟鐵棒的任何一端，它並不能吸着一些鐵屑。現在，如我們



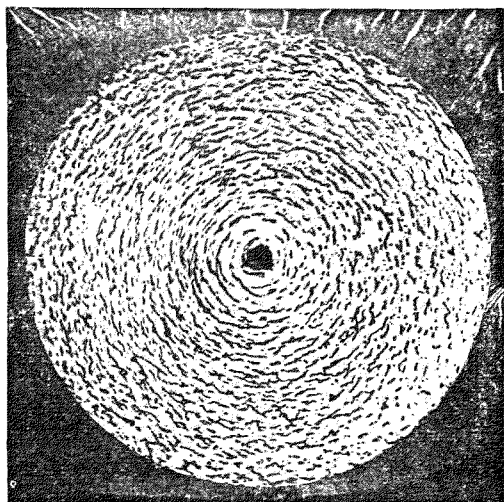
第55圖 (a)單磁棒週圍的磁力線。

另用一根像鈷鋼磁鐵樣的棒形磁鐵，使它的任何一極接近軟鐵棒的上端；這原來不能吸住鐵屑的軟鐵棒下端，便立刻發生吸引鐵屑的能力。假如我們把條形磁鐵的一端和軟鐵棒的上端接觸着，它吸引鐵屑的力量便要格外的加強。若再



第55圖 (b)雙磁棒週圍的磁力線。

把這條形磁鐵慢慢的移開，鐵屑也慢慢的隨着落下，移得愈遠，鐵屑落下的便愈多。假如我們另用一根硬鋼棒來代替軟鐵棒做相同的實驗，當另一磁鐵棒移近的時候，這些鐵屑一樣的會吸在硬鋼棒上，可是等到磁鐵棒移開的時候，附着的



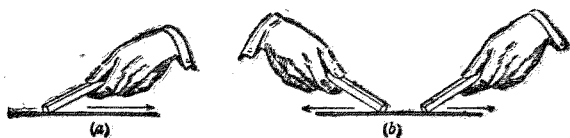
第56圖 用鐵屑顯示電流四周的磁力線。

鐵屑便沒有像軟鐵棒上鐵屑那樣落得快。由此我們知道鋼可利用來做永久磁鐵。

把軟鐵棒或鋼棒放在磁鐵四周磁場中所生成的磁性，叫做感應磁性。把磁場移開的時候，假如感應磁性便隨着消失，我們稱做暫時磁性；假如依舊保持着並不消失，這就叫

做永久磁性。通常的棒形磁鐵，因為磁性可以保持得很久，不像由電流所感應而成的電磁鐵那樣容易把磁性消失，所以都叫做永久磁鐵。電流流過電線的時候，電線的四周也發生着一個和磁鐵所發生磁場一樣性質的磁場，電磁鐵便是利用這種磁場得到磁性。電線四周的磁場，可以很簡便的用鐵屑來顯示出來。把一根較粗的電線垂直的插入一片硬紙板中，再把這硬紙片上撒上一些鐵屑，另用很強的電流使通過這粗銅線，同時拍着硬紙板，我們便看見硬紙板上的鐵屑排列成許多以電線為圓心的同心圓，這現象的生成，便是明顯的顯示着磁力線。

簡單的用鋼棒放在磁鐵上所成的永久磁鐵，是一種磁性很弱的磁鐵。有一個較好的方法可以把鋼棒對磁鐵的某極用一定方向用力摩擦，如第57圖 a 所示。最好的方法是用兩根磁性相等的磁鐵，把這兩根磁鐵不同的兩極放在鋼棒的兩端摩擦，如第57圖 b 所示。這種方法叫做雙摩擦法。用這種方法，可以把縫紉針或鐘表的發條做成很好的磁鐵。此外還有一個製造磁鐵的方法，便是用一隻鎚把一根鋼棒放在



第57圖 用(a)單磁鐵(b)雙磁鐵使鋼棒變成磁鐵棒。

很強電磁鐵的磁場中(不是地球的很弱磁場)用力鎚擊。這當然,假如把鋼棒放在通着很強電流的線圈中,也會成爲一根永久磁鐵棒。

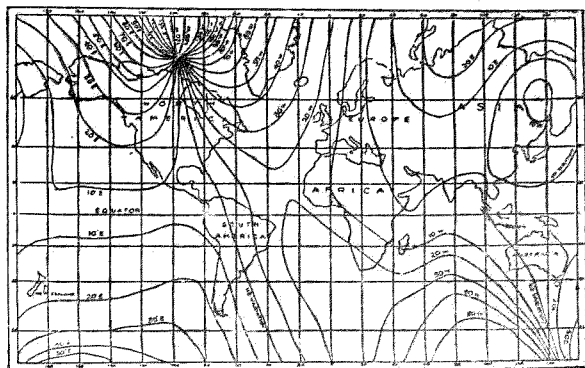
人們的理想以爲惟一可以發生磁性的便是鐵,其實假如你把鎳或鈷放在很強的磁場當中,你也得着鎳或鈷的磁棒,不過這兩種物質所得的磁性,不是永久磁性罷了。差不多什麼物質都可以多少得着一些磁性,不過它們的磁性是弱到極點,非用很精確靈敏的特種儀器,不容易察看出來。在同一地段,磁鐵對於銅的拉力差不多只有對於鐵的拉力的萬分之一。

除了像鐵、鈷、鎳幾種可以發生電磁感應的物質以外,一切的物質,對於磁力線都毫無阻礙的讓磁力線通過。例如我們用一塊磁鐵放在桌上,在磁鐵的附近再放上一根指南針,指南針便發生一定的偏向。不過,假如我們把磁鐵和指南針的中間放上一塊玻璃或任何物質的物體(如適才所說鐵、鈷、鎳以外的物質),指南針的偏向角度並沒有些微的變更。例如我們用一塊圓軟鐵圈放在指南針的周圍,指南針對於磁鐵的吸引力便完全消失。或者用一根磁鐵棒放在桌面上,磁鐵棒上面再放上一塊玻璃片,也可以從玻璃板上的鐵屑很顯明的看見玻璃對於磁力線並沒有一些阻礙現象。如用一塊薄鐵板來代替玻璃做這試驗,薄鐵板上只能看到很

少數的磁力線。這是表示薄鐵板把磁力線分去，所以鐵屑受不到多少影響；假使鐵板有相當的厚，簡直可以把磁力線完全吸去，使鐵屑不發生一些影響。

地球的磁性 磁針指北極的意義，是表示向北方指着，但並不是直指着北極或地球的地理北極。地理北極是地球自轉時依據為軸的極北點。照這樣說，磁針既不是直指着地理的北極，究竟是指着什麼方向呢？

在英格蘭島上，指南針對於正北大約偏西12度的角度，這就是說，在任何地面上指南針和子午線成爲某一種角度，不過這種角度有的地方是很大，有的地方是很小，有的地方是偏西，有的地方又是偏東。指南針和子午線間所成的角度，便是實際北方和磁北方（指南針所指的北方）中的角

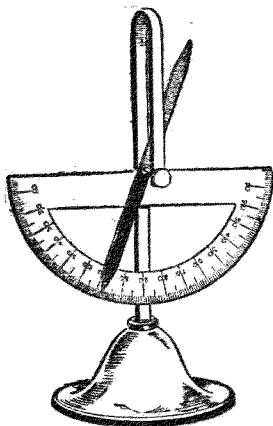


第58圖 等磁偏角線。

度，叫做磁偏角。因此，我們可以說英格蘭島的偏角是偏西 12° 。極南和極北地方的偏角很大；例如，近冰原的偏角是偏西 30° ，在格陵蘭極南部的偏角是偏西 40° ，在南智利和南美洲的偏角是偏東 20° 。各地方由指南針所示方向和真正的南北的偏角當然對於航海家是異常重要，所以有一種特製而繪着各地磁偏角的地圖。在這種地圖上，把偏角相同的各地方都用曲線聯起，這些曲線便叫做等磁偏角線。因此，在挪威、法國東部來溫海峽 (Gulf of Lyons)、廷巴克圖 (Timbuktu)、馬達加斯卡 (Madagascar) 等地方的磁偏角差不多都是偏西 10° ，所以地圖上各處地方都是聯在偏西 10° 的一根曲線上。第58圖便是繪着這種等磁偏角線的地圖；航海家所用的地圖上，差不多都是用相差 10° 的等磁偏角線繪成，所以比較詳細。因此，從第58圖所繪的等磁偏角線地圖，我們便覓不出好望角市 (Cape Town) 的磁偏角，但這偏向角一定是在偏西 20° 和偏西 30° 的中間，因為這市鎮是在偏西 20° 和偏西 30° 的兩等磁偏角線的中間。事實上，在繪製這圖的一年，這市鎮的偏向角是偏西 25° 。這種等磁偏角線的地圖應該時時測繪，因為奇異的事實告訴我們，各地的磁偏角時時的變動，有時在十年的當中，增減達 2° 之多。

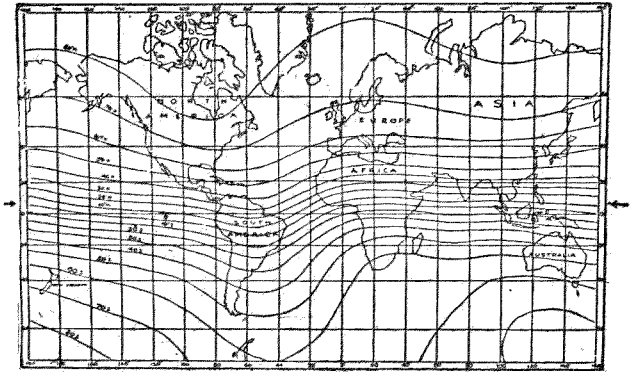
假如用一根扁平鋼片做成一根針，先把針照尋常的方法裝軸在水平軸上，這不用說這針一定會兩端平衡。其次，

我們再把這針磁化，如用雙接觸法使針得着磁性。針一得着磁性以後，便不能再成平衡；如在英格蘭地方，指北極向下傾着，在澳洲或南美洲，指南極向下傾着。照這種情形來看，拉着這磁針的磁力線，已經不在地面上而在地球的中部。假使我們把磁針用特種方向的裝軸法裝軸起來，使磁針能依着水平軸四周旋轉，如第59圖所示；我們對於這種現象的觀察，便可十分明瞭。假如我們把裝着這種磁針的架子轉動，使磁針和磁北極成一直線（這樣裝軸的磁針本身不使用者使轉動，所以要轉動着裝磁針的架子），我們便看見這磁針不能成水平的平衡而傾下很大的角度，或單叫做傾角。第59圖所示，便是磁針在紐約所成的傾角；倫敦的磁傾角



第59圖 傾角磁針。

大約是 67° ；再向北的地方，傾角便愈大，再向南的地方傾角便逐見減小；到了赤道地方，完全沒有傾角，磁針便成爲真正的平衡。在近赤道比較彎曲的線以南(第60圖中箭頭所

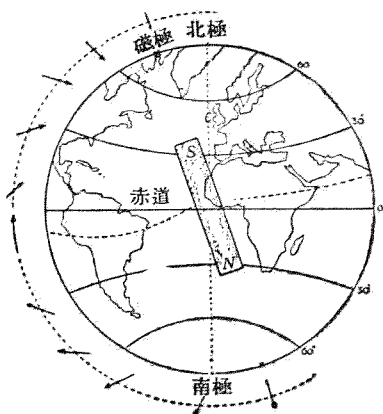


第60圖 等磁傾角線。兩側有箭號的，便是無傾角地方聯成的線。

指的線)，磁針的另一端向下傾着；這就是說磁針的指南極向下傾着，同時磁針的指北極便豎向天空。地球上各地方的傾角都繪在第60圖上。例如，從這圖來看，在蘇格蘭地方的北部，傾角是 70° ，因爲寫着 70° 的一條曲線，恰巧經過這地方呀。

從磁針的作用來看，恰巧好像在地球中心埋着一塊很大的磁鐵，如第61圖所繪的地位。磁針在赤道附近所以能成爲水平的平衡，便是因爲南極雖然把磁針的指南極向地內拉着，可是北極也把磁針的指北極向地內拉着；這兩極的

拉力一樣大小，當然沒有什麼下傾的現象了。自然，要是說地球中心有一塊很大的磁鐵埋着是極不可信；不過磁針的作用，好像那樣便了。但是，無論如何，我們似乎可以說地球的本身像一塊很大的磁鐵。地球本身的這種磁性，對於地球



第61圖 地球的磁性作用好像中心埋着一塊大磁鐵。圖側的箭頭是表示着各地段的傾角，箭頭尖端代表磁針的指北極。

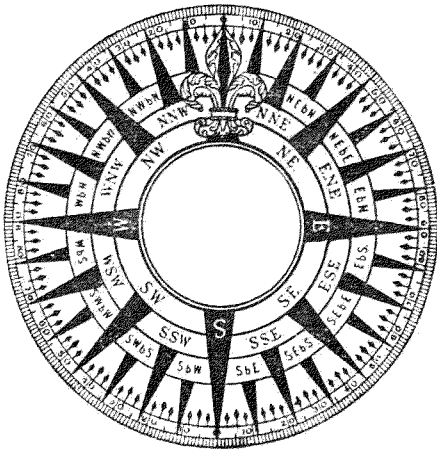
表面以上大氣中的許多事物有很大的影響。例如這種磁性把北極光緊抱在北極的附近，使它不能相等的在各地發現。至於地球磁性怎樣把北極光把握着又是一個很有趣味的問題，可惜在這兒若提到，還覺得太難罷了。

從第60圖。我們可以看見越是靠近北極的地方，傾角的度數越大，差不多傾角已經到了 80° 的地方，離北極還是

很遠呢。照着這樣看，在靠近北極的地方，傾角磁針一定要垂直向下，好像直立着了。事實上，這料想是十二分的確；不過傾下的磁針極，不是直向着北極，而是向着像第61圖所指出的一點。這一點有這樣特殊的性質，通常叫做地球的磁極。從第58圖中，許多等偏角線所集合的一點，也便是這磁極。地球上有兩個磁極，一個是磁北極一個是磁南極：磁北極是在格林威基(Greenwich)的東經度 96° 和北緯度 74° ，為1831年羅司船長(Captain James Clark Ross)所發現，在本世紀初又為愛門孫(Amundsen)所鑒定。至於磁南極，一直到現在還沒有覓到，不過這極一定在南緯度 72° 、東經度 $155^{\circ}16'$ 。塞克里敦探險隊(Shackleton's expedition)中的馬孫船長(Captain Douglas Mawson)找到一個傾角等於 89.8° 的地方；和完全垂直的角度，只差五分之一度。

船上的指南針既然是那麼重要，所以我們再把它加以說明，似乎是很為必須，任何人曾經看見這種儀器的，都知道這是和通常童子軍或測量家所用的指南針一樣，並不看見裏面裝着什麼針；而是用圓紙片註着所謂羅盤度數來代替着。所謂羅盤度數上面，第一是畫着北、南、東、西；其次在北和東的中間，註着東北；在北和東北的中間，註着北東北；在東北和北東北的中間，註着東北偏北。其他分度法，都与此相仿，你可以很容易的用自己意見叫出它們的名稱，然後

再和第62圖所註的來對證。正北的方向是用古時傳令官百合花的徽誌來代替，叫做“百合花(fleur de lys)”，在這



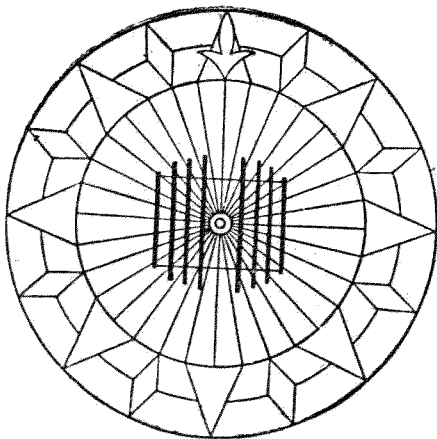
第62圖 羅盤紙片。

許多指針和小指針的中間，仍然在沿邊註着度數；如第62圖所示。

在羅盤紙片的中央，有一個金屬的針箍；針箍中有一小孔，裝上一只停在裝軸上的寶石。在指南針、較好的錶和裝軸較好的磁學儀器上，因為寶石不易損壞，故都是用寶石如紅寶石一類的寶石來裝軸。在羅盤紙片的下面，並不縛着一根磁鐵，而是把八根小磁鐵排在一塊*，如第63圖所示。這

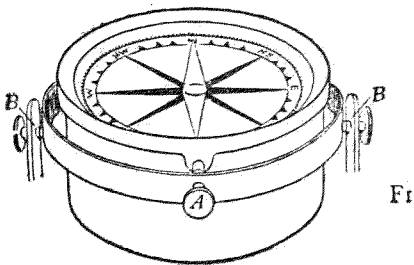
*何以八根小磁鐵比一根好的原因，此處尙不能說明。

八根小磁鐵的北極，指着同一方向；和羅盤紙片所註的北極同在一直線上。這整個的羅盤是擱在一個碗中。碗上有一個固定的記號，和羅盤的邊沿所刻指針及度數，很為靠近；而這記號和船頭的方向正排在一直線上。這個記號叫做標點。如此，假如這船正是向北進行，指北的指針便正在這標點上；不過，假使船是向西航行，因為指北針依舊是指着北極，所以指西針適在這標誌的對方。這碗中含有能浮起這羅盤紙片的液體，一方面可以減少這羅盤紙片的重量，一方面可以停止羅盤紙片的上下震動。這碗是架在叫做常平架的金屬架上，使碗不致隨着船的上下傾斜顛簸。要看清這種裝



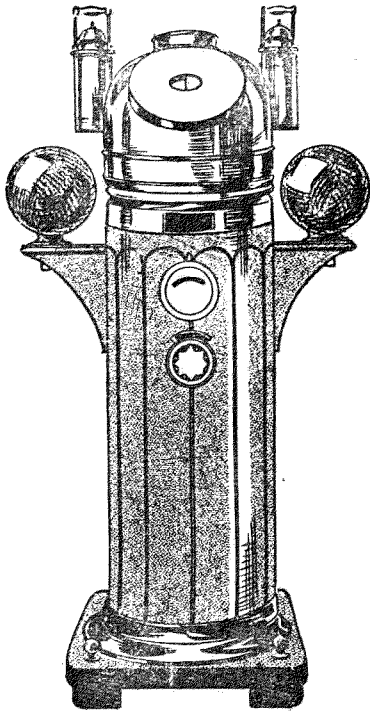
第63圖 羅盤紙片的背面縛着八根小磁鐵，八根磁鐵的當中，便是裝軸小孔。

置，最好詳細看一看第64圖所繪的常平架。羅盤碗是裝軸在環上A和A對面一點上（因這點正在碗的後面，所以未曾畫出），而這環的本身却裝軸在另一架子的B、B兩點；如此，不論這架子隨着船隻如何上下顛簸，碗的本身總是在水平線上。支持這羅盤碗的架子全部，又可以叫做雙軸架。



第64圖 常平架。

在舊式木製的船上，這種羅盤針果然是能直指磁北極。可是，近代的船舶，差不多大半是鐵所製成；當然對於指南針一定發生許多擾動的現象。這種擾動的方式，由船所發生的許多原因而決定，不能一一列出。要把這種擾動除却，可以用兩只空心的鐵球裝在距羅盤最適當的距離，如第65圖所示；並以許多小磁鐵放在許多適當部位來除却其他的許多擾動。你現在已經知道，在鐵製船舶上所用的指南針，不像童子軍所用指南針的那麼簡單；童子軍所用的雖然是簡單，但要經過很多小心的計算法，才可使羅盤指北針恰



第65圖 航海指南針兩個鐵球是用來平衡鐵船對於磁指針的效應。羅盤紙片可以從上端小孔望見。

恰指着地球的磁北極。這也可算是科學給與我們的一種有用的練習罷。有了航海指南針，和地圖上所繪的等偏向角，航海家無論是日裏或夜裏都可以覓着航行的真正方向了。

電磁感應 電磁感應的意義，是從靠近的磁鐵，可以使

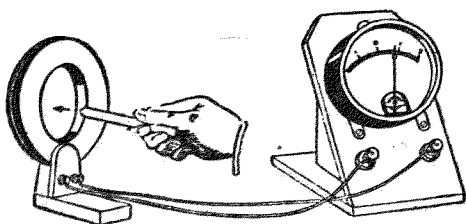
電線中感應着一種電流。這是我們近代電機工業中最重要的一個事實。無論是像發生家用電流的發電機一類大規模發電機機械或像無線電收音機一類的小規模電學儀器，都是完全根據着這種事實來構造而成。除非我們很的確知道這電磁感應的意義，我們便不能希望明瞭電學機械的工作。電磁感應是在1831年法拉第(Michael Faraday)所發明；在1931年世界上許多電機工程師都在倫敦集合，來慶祝法拉第發明的一百週年紀念，也是一件很重要的事情。除了發明電磁感應之外，法拉第還有許多極關重要的發明。在亞爾伯紀念堂(Albert Hall)內有許多奇異的事物都是他工作所得的結果。這當中最有榮譽的一件物品是一塊舊式的鐵，上面繞着許多絕緣體和線圈，這就是他第一次用來公開試驗電磁感應的器具。

我們已經知道電流可以發生一種磁力，現在我們可以用幾個試驗來證明這事實。在1820年奧司特(Oersted)發現了這現象以後，便發生了“是否可希望從磁鐵得到電流”的一個問題。電流固然是可以發生磁性，磁性能不能發生電流呢？

把磁鐵放在一個聯有電流計的電路，電路中並沒有電流發生，這是任何人都可以用試驗來證明的。我們已經知道一個通着電流的線圈可以發生磁場；我們可以試想着是否

通着電流的一個線圈可以使鄰近的另一線圈也發生穩定的電流。這種理想是法拉第提出的，不過他在這一個理想的試驗是未曾有多少成功。凡是一個穩定的電流決不能使鄰近它的線圈發生任何電流。這試驗在感應電流發明以前已經做過。

試驗感應電流如何發生的最簡單試驗可以用下列的方法來完成。我們把一個線圈接在一隻電流計上，另外再取一根磁性很強的永久磁鐵。假如我們取起這磁鐵，並把它放在靠近線圈的地位，我們便看電流計中，顯示着一個很小的電



第66圖 從電流計所顯示的電磁感應電流。

流；但一等磁鐵停止不動，無論它是怎樣近於線圈，線圈中便沒有電流了。假使我們把這磁鐵移去，線圈中有微細的反方向電流發生。這明明是因為磁鐵的移動而發生電流，並不是僅僅有了磁鐵，便有電流發生。

這小小試驗，可以很容易的再進一層來試驗。假如把磁鐵對正線圈很快的伸進，可以得着很大電流；在把它拔出

時，可以得着相反方向一樣大小的電流；不過要磁鐵伸進或拔出時的速率完全相等。因為這種現象中還有一個很重要的事實，便是磁鐵移動得越快，所得的電流越大。又如把磁鐵指南極伸進所生的電流恰巧和把指北極伸進所得的電流相反。還有一個移動磁鐵以得到電流的試驗，可以用下列方法來做。把磁鐵放在線圈當中，另設法使磁鐵在圈中旋轉；如旋轉的速度很快，線圈中也會得着一個很大的電流。

因此，我們可以看到：

(a)任何磁鐵的移動，若靠近某一閉路線圈*時，線圈中便會得着較大的電流。

(b)從一定地位至另一一定地位間，磁鐵的移動愈快，所生的電流愈大。

(c)所生電流的方向，全靠着磁鐵從某一定地位伸進或拔出而決定。

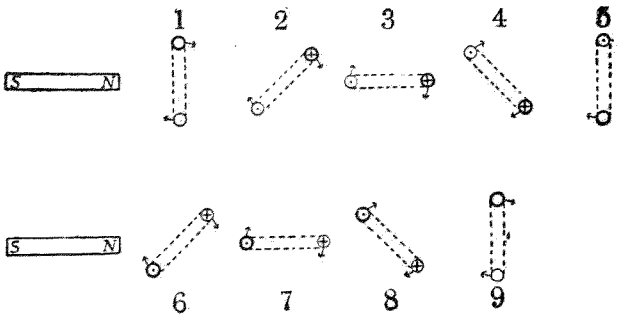
(b)電流的方向，又靠着接近線圈的是指南極或指北極的移動而決定。

現在我們有一普通理由來說明這些事實。我們知道磁鐵的四週都圍繞着許多磁力線，這種磁力線的存在，我們已經用簡單試驗證明過（用鐵屑）。當我們把磁鐵伸進線圈的時候，同時這些磁力線便割着線圈。線圈中所生電流的大

*閉路線圈便是線圈兩端或直接或間接利用檢驗電流的電流計互相連接。

小，全靠着割着線圈的磁力線變動的數目來決定。例如當磁鐵伸入圈內時，圈上割到磁力線的數目突然增加，於是電流便向一種方向流動。假使把磁鐵從圈中拔出，割到線圈的磁力線數目一定漸漸減少，所生的電流便向另一方向流動。近於指南極的磁力線所發生電流的方向，正和近於指北極的磁力線所發生電流的方向相反。

我們已經知道怎樣把近線圈的磁鐵移動，以得着感應電流，可是我們也可以移動線圈，使磁鐵固定不動，來得着感應電流。事實上，只要移動的速率相同，我們把線圈套上磁鐵和把磁鐵伸進線圈所得電流是完全相同。我們用一個



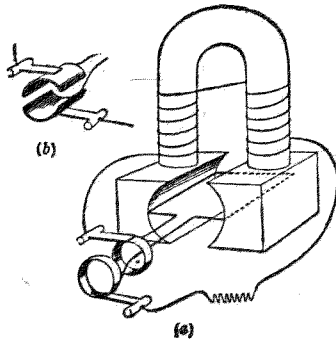
第67圖 表示一個單線圈在磁鐵近傍轉動時所得電流的方向。所以繪成一部分的剖面，是使轉動的方向易於看得清楚。在4與6之間，電流的方向恰好相反；在5位置時，線圈中沒有電流。這許多圖表示着單線圈相繼轉動的各種位置。

譬喻來說明，這等於在我們用刀來切餅的時候，用刀切入餅中，和把餅壓進刀鋒只要移動速率相等，是一樣可以把餅切開的；或者，不用磁鐵在線圈附近轉動以得電流，而以線圈放在磁鐵附近轉動，第67圖我們也可以得着一樣的電流。因此，假如我們把線圈放在磁場中轉動，我們也可以得着感應電流。這可算是最簡單的一種發電機；可是，就是極大而可以把幾萬馬力的機械能變成電能的發電機的構造，也是根據着同一原理。發生磁場任線圈轉動的磁鐵，是叫做場磁鐵。

在第67圖中，繪着單線圈在磁場中轉動一圈時的九種不同位置，第九位置和第一位置是完全相同。從第一至第五位置，感應電流是同一方向；從第五至第九位置，電流的方向恰與前相反。線剖面的十字和點是表示電流的方向；十字表示箭頭的後端，點表示箭頭的尖端；所以每根線內的電流都是從十字的一端向有點的一端流着。假如我們慢慢的繼續把線圈不停的轉動，電路中插着的電流計便告訴我們電路中的電流方向交換不停的變動着。這種有規則變動方向的電流，通常叫做交流電（以縮寫A. C. 代表）；而通常永久向一方向流動的電流，便叫做直流電（以縮寫D. C. 代表）。假如如我們把線圈轉動得很快，這種感應電流當然仍舊是交流，不過它的方向變動得太快，往往使電流計覺察不

出；這是因為在電流計轉動的部分還未曾有相當時間隨着電流轉動，而電流的方向已經相反了。因此，另外有一種儀器，即使在電流的方向轉變得很速，也能隨着轉動。近代所用的各種發電機，即使形式和構造上略有不同；理論上都是根據線圈在磁場中轉動，使割着線圈的磁力線時刻變易而得着感應電流的原理。

最簡單的發電機工作情形，可以利用第68圖的儀器來說明。在圖中所示兩磁極的中央，放着一個單線圈，裝置



第68圖 簡單發電機。(a)交流電所用的滑環。

(b)直流電所用的整流環。

得使線圈可以在兩磁極中間自由依着水平軸轉動。當線圈轉動的時候，導線割着兩磁極間的磁力線；假如我們把線圈的兩端聯在一起，我們在轉動線圈時，線圈中便發生感應交流電。在真正的發電機上，許多圈數的線圈是繞在用軟鐵做

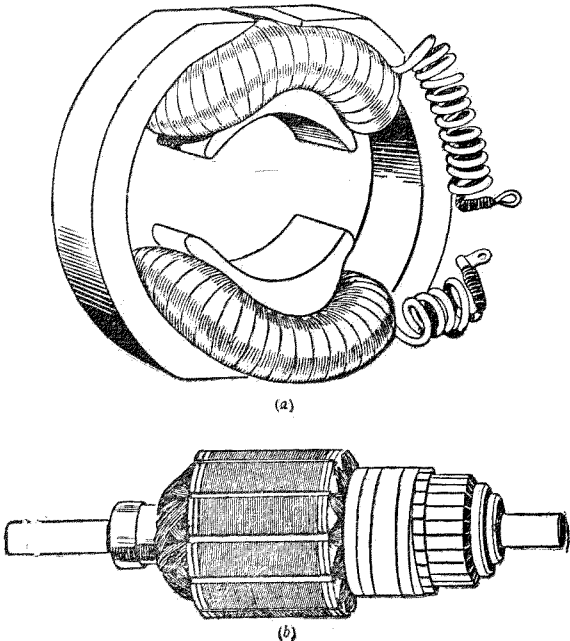
成，而可以在兩磁極中間自由轉動的圓柱體上。假如這些線圈不是繞在鐵製圓柱體而繞在可以轉動的木製圓柱體上，我們可以同樣的得着電流。不過這鐵製圓柱體，通常叫做電樞，可使兩磁極中間的磁力線格外加強；因此線圈可以多割着許多磁力線，而使感應電流加強。為便利於接通線圈中所發生的電流，可以把線圈兩端通至附着在隨電樞轉動的絕緣*軸上的兩金屬環，如第68圖a所示。在兩金屬環上，各附着接有電路線的一根金屬片或炭片上，使金屬片或炭片和環恰巧可以接觸。當金屬環跟着電樞轉動的時候，這金屬片從環上滑過，而使環上電流從金屬片流到外電路；因此發電機的兩極是固定在兩只環上。這在環上滑動的金屬片，通常叫做發電機的電刷。

有一種製造得很靈敏精巧的裝置，可以從發電機中引出直流電。這是一只簡單的環，中間以絕緣體分做兩半圓，如第68圖b所示。線圈的兩極各聯接於半環上。結果，當環旋轉的時候，使線圈的兩線端依次與某一定極相聯，使電從定極上流出。假使這環的裝置，使環與極間的轉變恰巧與線圈中電流的方向變更是同時，我們便可以使發電機某定極的電流一直沿着一個方向流動。

實際使用的發電機，構造上比這複雜得多。為了種種的

*絕緣物質所製的軸，在圖上未曾繪出，只繪着環的位置。

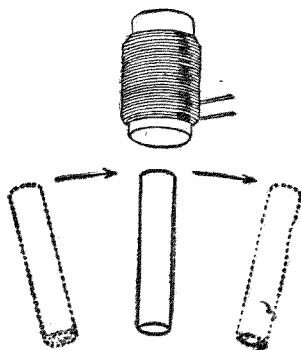
理由，電樞上所繞的線圈，不只一圈而有許多圈。至於這線圈纏繞的方法，第一要看這機器是交流機或是直流機。直流機上的線圈，如線圈數很多的話，都是繞在電樞的凹槽裏面，兩線端通至環及刷，或叫做整流器。這兒的整流器，差不多分做很多互相絕緣的小段；因為如此，才可以使每一組線圈的兩極，通到相對兩段。



第69圖 小發電機的重要部分：(a)場磁鐵的兩極和繞線；(b)電樞。

小發電機的主要部分都從第 69 圖可以看見。(a)是固定的電磁鐵,或叫做場磁鐵,它是產生使電樞轉動着的磁場。(b)是有十二組線圈的電樞。整流器是裝在電樞軸的極右端。

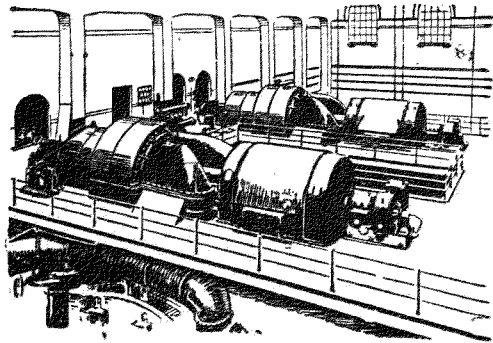
在發交流電的大發電機中,發生電流的電樞,都是固定不動,同時磁場却旋轉不停。要了解這種作用,我們先假定如我們把磁鐵在繞着很多線圈的鐵棒下移動時(第70圖),



第70圖 磁鐵移過繞着線圈的鐵棒時,便可使線圈中發生感應電流;這是因為磁鐵使鐵棒時刻變異的生滅着磁性。

鐵棒便先得着磁性,隨即又失去磁性;如此這鐵棒上的磁性忽生忽滅,繞在棒上的線圈,自然會發生電流了。第71、72、73圖所繪的各種發電機,都是應用這種原理構造而成。構造的方法,最好從第72圖來察看:在大輪子的沿邊,排着許多從圖上可以看見的小磁鐵。

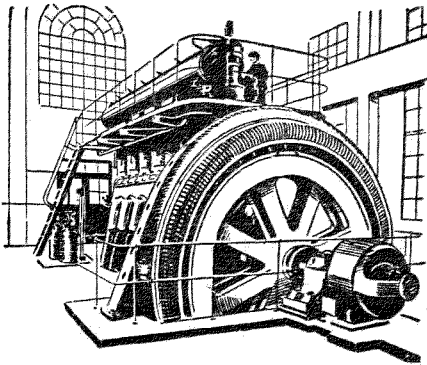
用來發交流電的發電機（通常又叫做交流機）的構造和外形根據着它們所做的工作和拖動它們的速率來決定。例如拖動的速率越慢，電樞的直徑便越大。這是因為在每秒鐘裏面，轉着一定的圈數，直徑愈大，電樞上的應力便愈大。假如很大直徑的電樞又轉動得極快，電樞一定會崩裂而成碎片。假如你把一只球縛在線端，以每秒兩圈的速率放在手



第71圖 打馬路克 (Dalmarnock) 地方能站的交流機（發交流電的發電機）。左邊是開動它們的蒸汽輪機，右邊是交流機。這交流機的直徑是很小，因為它轉動的速度很大。

中旋轉，你便可以很容易覺得繩子愈長，手中的拉力也愈大。假如繩子是不很牢固，但在很短的時候，似乎覺得能控制球的旋轉而有餘，可是繩子如是很長，便很容易斷裂了。同樣的理由，假如輪子很大，轉動得很快，也的確有脫輻的可能。

蒸汽輪機轉動得很快，可以得着最好的工作；狄賽爾機便轉動得較慢，水輪機便轉動得更慢了。交流電發電機的轉動子* 通常被每分鐘轉動超過1,000次的蒸汽輪機所拖動，所以直徑都是很小，通常不滿5英尺的直徑，已算是很大了。利用狄賽爾機或氣機來拖動的交流機轉動子，因為狄賽爾機或氣機的轉動速度，只有蒸汽輪機的一半，所以轉動子的直徑要有10英尺長。至於利用轉動很慢的水臥輪來拖動的交流機轉動子，差不多都是很大的直徑，通常總在25英尺上下。第71、72、73圖的目的，都是顯明這一點，和近代發電

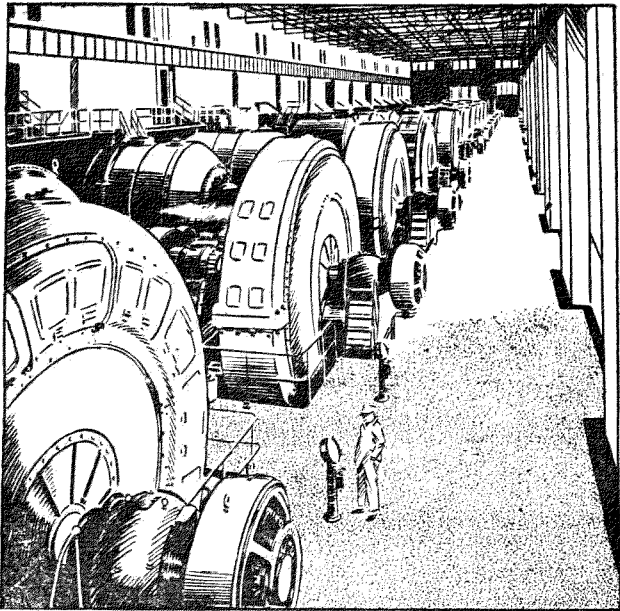


第72圖 用狄賽爾機拖動的交流機。轉動部分約為中等大小。

*發電機轉動的部分叫做轉動子。在許多發電機中，這自然便是電樞，不過有許多發電機的電樞固定不動，磁場在電樞外框轉動着。無論是磁場轉動或是電樞轉動，凡是轉動的部分便是叫做轉動子或動部。

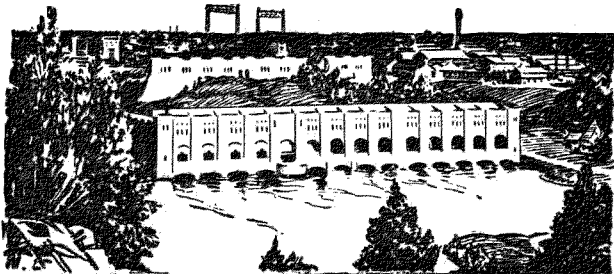
廠所用的摩登機器。

現在，我們想一想，法拉第所發明的電磁感應是告訴我們怎樣把蒸汽機、水力或其他來源的機械能，很安穩無害的經過發電機的作用，便會變成電能。但是要轉動能發大量電能的發電機何以需要這樣多的能呢？第一我們看見，假如機械的軸承做得很好，並且加着充份的滑潤劑，好像能力很小



第73圖 瑞典特拉愛塘 (Trollhättan) 地方能站的發電機。它們是利用水力拖動，轉動得比較的慢，所以它們的直徑都是很大。

的原動機便可使轉動子發生轉動。在發電機兩極上沒有縛着什麼的時候，這種理想可說是完全真實。可是，一等這發電機是接着外面的線路，我們要從這當中取用電流的時候，便必需要更大的力量，才可把它轉動；並且我們取用的電流



第74圖 特拉愛壩能站的外景。

愈多，便愈要費力去轉動這發電機。我們也許要懷疑這種情形，因為在第一編中，我們已經知道不能從無中取能，可是我們現在要試着去看這究竟是一回什麼事。

讓我們先考察一下第69圖中的簡單發電機。在發電機電路是開着的時候，電樞線圈中便沒有電流通過。但一等到我們把電路聯接，開始取用電流的時候，電流不但通過電路，並且也通過電樞上的線圈，因此電樞便成爲磁鐵：我們取用的電流愈多，電樞的磁性便愈強。這種電流的方向是這樣：使電樞轉向場磁鐵北極的部分恰巧也是北極，這樣兩極間便有一種斥力發生，來反對着這種轉動。因此把電樞的

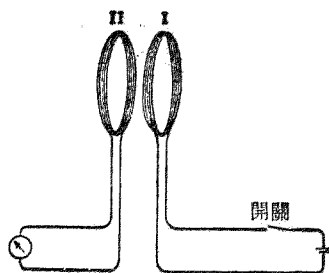
北極推過場磁鐵的北極，便做許多額外的工作。一等電樞轉過這一點以後，電樞中的電流方向突然與前相反，於是從這電流所感應的磁性恰好由北極變為南極；現在要把電樞的南極從場磁鐵的北極拉開，這裏又要加上許多額外的功了。電樞中發生了這種相反的磁效應，它們總是和轉動的方向相反。我們不能欺騙着自然界的定律，不用相當的機械能便想得到電能。

人們也許會想到假如把發電機裝在火車的車輪上，便可從無中取得電能來供給車中的燈光。可是，實際的情形是怎樣呢？當我们不取用電流的時候，這裝在車輪上的發電機當然會自由的轉動，如此，多裝了這發電機和火車的本身沒有多大的影響。但一等到我們從這發電機中開始取用電流的時候，電樞發生磁性，而這磁性的磁極正和轉動的能力相反，使車輪格外難於轉動。事實上，這就等於我們把火車上加上一部掣動機；結果，不是使火車行駛得慢一些，便是要火車頭（或機關車）多用上一些蒸汽。所以，我們依舊是不能從無中取得些什麼。

我們假使回過去複習一下把磁鐵很快的插進線圈的簡單實驗，我們對於這現象也許會懂得格外明瞭些。在那簡單實驗中，我們好像從無中取得一些電流。可是，事實上，這線圈中的電流也發生着一種磁性，來推着插進的磁鐵，所以

當線圈在閉線路的時候，比較線圈在開線路的時候，往往難於把磁鐵插入線圈。這種力量是極其細微，差不多爲手所不能感覺，不過線圈中的電流也是很小的。當我們把磁鐵從線圈中拔出的時候，線圈中感應成反方向的電流，由這種電流所感應成的磁極，恰巧拉着我們拔出的磁鐵，這也是和我們的作用力相反。事實上，這是一個普通的規則。在任何時間發生着應電流，它的方向所感應成的磁性總是和感應成這電流的動力相反。

我們已經知道從電流所感應而成的磁場和磁力線和永久磁鐵所發生的磁場與磁力線完全一樣。現在，假定我們有兩個線路，I和II，互相對着如第75圖所示。假如電路I中有電流通過，電路II中便有磁力線穿過。但在電流的大小毫無變動時，磁力線的多少也沒有變動；同時我們已經知道只有割着電路II的磁力線的多寡發生變動時，才會有電流發



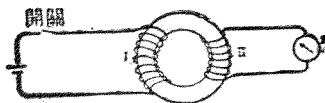
第75圖 電流感應。

生。因此插在電路II中電流計的指針，仍然停止不動。所以穩定的電流，對於它附近的線圈並不發生任何影響。

可是，假定我們切斷電路I的電流，這就是說或拆除接在電池上的一極，或如圖所示更簡易的把電路中插上一只開關，來停止着這電路中的電流；這時候從電路I中的電流所感應而成的磁力線一定漸見消滅，因此割着電路II的磁力線當然變更得很快，由許多磁力線變成烏有。在這瞬息間，電路II中會有很微弱的電流發生。但如我們或接上電路I中的電線或關上電路I中的開關，使再有電流通過；電路II中又會發生很微弱的電流，不過方向恰與前相反。甚而至於我們很快的變着電路I中的電阻，使成不穩定的電流，我們在電路II中也會得着應電流，不過分量是很小罷了。

假如在電路I中有電流通過時，我們把線圈中插進一根鐵棒，以增加所感應而成的磁力線，以得到應電流。或者，當電路I斷去時，我們把線圈中插上一根鐵棒，在電路II中便可得着較先前強大的應電流。

我們現在可以明瞭法拉第第一次說明應電流所用的方



第76圖 法拉第的環試驗。

法了。在一鐵環上，繞着兩個線圈電路，電路II上插上一只電流計，在電路I上插上一只電池和一只開關。假如我們把開關閉上，使電流通過電路I，鐵環便變成磁鐵，於是電路II中便忽然增加了許多磁力線，因此電流計中有瞬息的電流通過。假如我們長期把電路I中的開關閉着，這磁力線便異常穩定，電路II中便沒有電流發生。假如我們把電路I開着，電路II中的磁力線漸見消失，我們得着和前相反的電流。

假如我們把電路I中通過交流電而不用穩定電，於是磁力線隨着交流電流從大至小再從小至大，替換不變；或者我們可以說得着一個交流的磁力線。這正好像一只單擺，從左邊擺到右邊，然後擺過停止的地位（不擺動時擺掛着的地位）向左；如此往復不止。因為磁力線的這種現象，在電路II中便也得着一種交流電。這就是無線電收音機上所用變壓器的原理。假使要討論為什麼要用這種變壓器，我們現在尚可不必過問，不過我們很容易記着這又是電磁感應的另一個例子罷了。隨便什麼時候，我們可以把某一電路中的交流電不用直接聯接而移到放在靠近的另一電路中，假如能把兩電路的線圈中插上一根鐵心，效能可以格外的增加。任何變易的電路，或移動的磁鐵，均可使靠近的線圈中發生應電流。在這種作用中，只有一個例外，便是把第二電路的沿邊放在第一電路的沿邊上，或放在磁鐵的沿邊上，因為第二

電路割不到磁力線，所以不會發生應電流。

最後，我們很簡單的介紹着電動機。電動機中如通着電流，結果可以使電樞轉動。因為這電樞的轉動，可以利用着做許多種類的工作，例如轉動鏟床、拖動街車等等的工作。簡單的說，電動機便是反發電機：在發電機中，把動部用機械力量轉動而得電流；在電動機中，通入電流使動部轉動。其實同式樣的機器，可以當發電機用，也可以當電動機用；不過，從工程上的便利起見，發電機和電動機的構造略有不同；所以有些是用做發電機，有些是用做電動機。當電流通過電樞的時候，何以電樞便能發生轉動，可以把第68圖考察一下，便易明瞭。用(b)圖表示着的整流器，是裝置得使線圈中的電流，當電樞轉過磁鐵的北極時候，也發生一很強的磁北極。當然，這種斥力會幫助這電樞的轉動。當電樞轉到靠近磁鐵南極時，也發生同樣的現象。每半轉中，電樞便受着一次的推動。電樞的作用和飛輪一樣，使這種推動，從震動變做平滑的轉動。在實際應用的電動機上，有許多繞着的線圈，正和發電機也有許多繞着的線圈相似（參閱第69圖），所以事實上，這總推動可以變做很多的小推動；這不但也是轉動可以變成平滑的一個因子，並且可以得着較經濟的工作。

第四章 光

光和視覺——透鏡——反射——色

光和視覺 隨便什麼人都知道我們所以看得見一切事物是由於光的一種作用。但在古時候，絕對聰明和有學問的人對於視覺往往發生一種誤解。例如，古希臘羅馬的許多聰明思想家都相信從人們眼睛中發出一種光線，這光線射着任何人所看到的事物，使人明瞭它們的形態和顏色：所以他們以為視覺是感覺者眼中發出的一種明亮光線所得的感覺。可是現在，我們知道我們所以能看得着一切事物，並不是因為眼中能放出一種光線，而是有一種事物射入眼中；這事物便是所謂光。

在我們所看到的事物，也有從它們身體上能發出光線的。火焰，或電燈，或發光的昆蟲，或某種魚類，都能發出光來，通常叫做自發光體：假如我們把它們中的任何一種放在暗室裏，把窗戶通通閉了，使室內沒有一些光線，我們便可以看到它們的發光。我們平常看到的事物，大部分都不屬於這一類。但我們所以能看到這些事物，便是因為像日光或燈光一類的光射到它們身體上，再由它們把這些射着的光從各方向反射出來。不論某一物體是自己能發光或射出別一發光體所射來的光；只要它能射出一些光線，我們便可以看

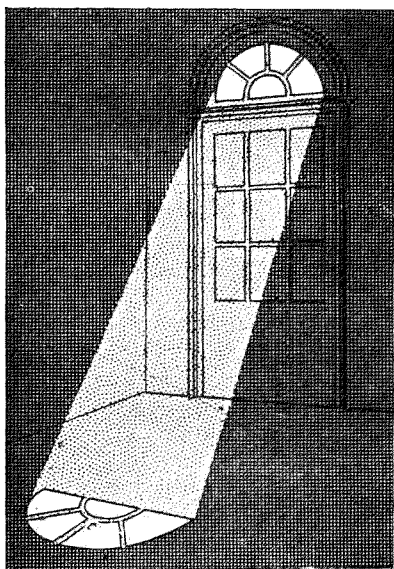
見。現在，我們要討論一下光從起點射入眼中時在途程上的行爲是怎樣。

光能從絕對真空的空間通過，從我們可以看到的日光和星光都是從沒有一些空氣的長距離空間射來，就可以證明。太陽上的光，從太陽達到我們的地面，差不多要通過九千三百萬英里的長距離；並且這長距離途程中差不多都是絕對真空，沒有一些氣體存在；星離開我們的距離是更遠，不過我們所以能看見它們的事實，仍然是因為從星上所發的光直達到我們呀。在另一方面說，像聲音便不能從沒有空氣的空間通過；例如，假如在月球上發生一個巨大的震動的時候，雖然比太陽離開我們的距離來得近，雖然我們可以目睹着月球上震動時所發的火光；可是，我們便不能耳聽到一些聲息。

從地球上許多物體上射到人們眼中的光，當然，是從空氣中通過，並不是從真空中通過。空氣，尤其是含有灰塵的空氣，常常能減弱從遠距離物體射來的光；因此我們眺着遠山的時候，總是覺得塵霧瀰漫，模糊不清。在陣雨之後，空氣中的塵埃被洗滌得乾乾淨淨，鄉村四周的景物，便格外覺得明淨清楚。不過無論空氣明淨到什麼程度，它對於通過的光，都多少有一些影響。在通常的室內試驗中，光從真空中通過和光從空氣中通過所生的影響，區別很小，所以不感覺

有什麼妨礙。不過天文家，對於光從別的天體發出而經過很長的真空空間，再入於包在地球四周很薄的空氣中所發生的方向變易的影響，却不能不十二分注意。

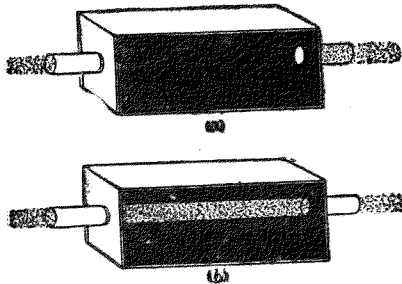
因為我們只能看見把光射到我們眼簾中的物體。那末，假如光從一個小洞射進暗室直達到能完全吸收的地氈上，室內便發生一條光線。照前面所說的理由，假如人們立在光線以外，光線不能直接射入人們的眼簾，豈不是無論這光線



第77圖 室中的一條光線所以能射入在光線以外的眼睛裏，便是因為光線所經過的空間有許多塵埃懸浮着。

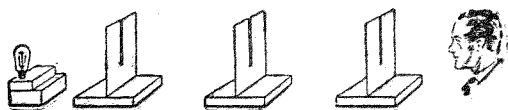
有多少強都應該看不見嗎？你一定會肯定的說「不，像夏天從氣窗中射進的光線或晚間室內漏出的光線，雖然都不射入眼簾，可是立在近側的人們，一樣的可以看得清清楚楚呀。」在這種情況下的確是容易看出這樣一條的光線，不過這完全是因為這條光線中懸浮着很多塵埃，而塵埃把這光線再射到人們的眼中的緣故。每一個懸浮在光中的塵埃小粒便成為光線中的光源，因此我們能看見這條光線。假如我們在這條光線中撒上許多的粉筆灰，或吹入許多的烟，這光線便格外的覺得明亮。假如我們能把光線中的一切塵埃都消除盡淨，事實上我們一定不能看見這條光線。

這事實可以用一只一面有玻璃，其餘都是黑色的小箱子來做一個試驗證明。在這箱的兩端，各穿上一個小洞，洞上加上一片玻璃窗，使光能從這小窗射入箱中。箱的內壁上



第78圖 (a)光線從含着明淨空氣的箱中通過，便不能看見；
但(b)把箱中噴着一些烟，便顯然耀目。

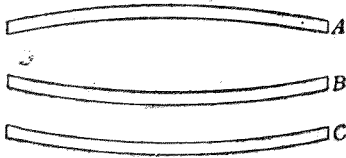
塗上一層甘油；利用這粘性很大的甘油可以幫着粘去箱內空氣中的塵埃微粒。最好等塗上甘油後經過幾天再從事實驗，因為有了相當長的時間，可以希望箱內空氣中的灰塵，都被甘油除却，以得着較好的結果。如把一條很強的光線，如幻燈所放一類的強光，或用平面鏡反射的太陽光，從小孔內射入這箱中。雖然在外面看起來，光線是非常的強，可是箱內一些也看不見什麼。假如把箱內吹入一些烟，光線便立刻顯然耀目，如第78圖所示。我們可以記着，假如要看出一條明晰的光線，可以用撒塵器把塵埃或粉筆灰撒到光線經過的空氣中，便會使你滿意。



第79圖 光依直線進行。

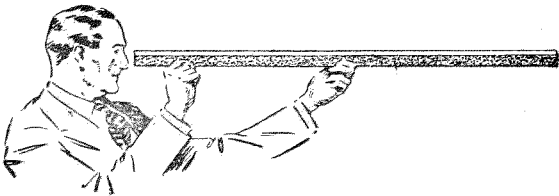
光線是依直線進行。例如，假如我們取一盞燈，配上三只有縫的錫製板，把三條縫安置着使我們恰好能從縫內清楚的看見這燈光。這時候如用長尺來量，三條縫一定列在一直線上。在試驗這種現象的時候，我們對於木尺的是否平直，切不要用沿着木條來看的方法；因為光如不依着直線進行，用這方法也試不出它是依直線進行。假如在開始試驗以前，我們已承認光是沿直線進行，這對於用小縫方法的試

驗，也變做沒有意義了。所以我們對於木尺的是否平直，可以用幾根木尺來檢驗；假如我們有三根木尺，我們便可以把它們兩兩的把沿邊合在一起。假如經過種種的配合，都是密切接合，這幾根木尺一定都很平直。假如只有兩根木尺的邊沿能夠密合，即使把它們前後移動時都找不出凸凹，也不能算是平直；因為也許這兩根木尺的彎曲度數相等，和第80圖中A、B兩根木尺一樣，也說不定。如圖C尺也可以和A尺



第80圖 假如把三根木尺排在一起，它們都很平直。每根木尺的上沿是預備試驗平直度的部分。

相密合，不過它們都是不合於平直的條件的。假如我們已經相信光依直線進行，當然我們可以做效木工的方法，把一眼



第81圖 用一眼平視着以檢驗木尺是否平直。

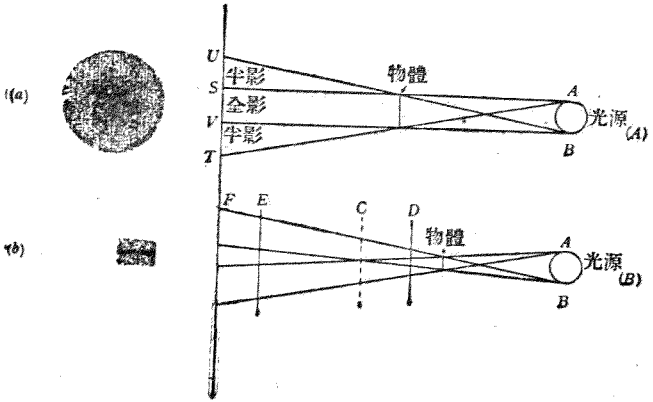
放在木尺一端的沿着一邊望去(第81圖)以檢驗木條是否平直了。

利用光所成的影,我們也可以試驗着光是從直線進行。假如要有一個很分明的影,我們最好用一個很狹小的光源。用一支洋燭來做這光源,固然是很好;不過還不及用一只有狹縫的洋鐵罐套在電燈泡上使燈光從縫內射出來得好。假如我們用一個較大的光源來代替狹縫,如把電燈泡上圍着一只白紙做的圓紙筒*,我們便得到一個有黑線的影,在四側並有較淡的影。這理由是異常清楚。光源上每一點都有光發出來;從A所發出的光在幕上成爲深影ST,從B點所發出的光成爲深影UV(第82圖a)。從A、B兩點發來的光同被物體遮蔽的部分是SV。至於US的部分,雖然從B射來的光是被物體遮着,可是仍被從A及其他部分射來的光所照;和VT是同樣的情形,都是成爲半影。假如光源比物體大,如第82圖b所示,如近於C而像在D的地方,中部是全影而四週有半影包着;如在C以外像在E或F的幕上,便不見有全影而只有半影了,物體的影或日光與人體在靠近牆壁上所成的影,都是黑影四週包圍着很狹的一條半影。如日光中放着一枝離牆約二、三尺距離的鉛筆,它差不多可成等大的全影和

*如所用的光源是煤油燈,可用一個紙板屏,當中開着一個洞,並把洞上

蓋一層薄紙。

半影，如第82圖b的情形一樣。在你畫着這種影的時候，你應記着太陽離地很遠，從太陽某點上所發的光差不多都是



第82圖 全影和半影：(a)和圓物體同樣大小的光源所成的影；(b)大光源和小物體所成的影。上面繪着的影表示圓物體在UT幕上所成影的大小。下面是D幕上一根短棒所成的影。

平行。凡是完全受不到光線的黑暗部分叫做全影，只有一部分受不到光的叫做半影。

天空星體互相成影時發生了許多有趣的現象。有時候月球行至太陽和地球的中間，遮却全部或一部分的太陽光。便叫做蝕。蝕的現象，在月和眼及日和眼成爲相等角度時，正好遮着，可是太陽的體積很大，月球的體積很小，它們所

以能完全遮蔽，便是因為太陽比月球離開人們來得遠*的緣故。像無論是太陽或月球，只要把一粒豆執着離眼一臂的距離，便都能遮着，使光線投射不到眼簾，這不是就是因為距離的關係嗎？再考察一下第82圖，便格外可以明瞭這種情形：在月球行至太陽和地球中間的時候，地球上一定只有一段很狹的部分被全影遮着，全影附近的部分，都是半影。當太陽光移動的時候，地球上的全影便隨着移動；這樣，地球上被全影遮着的地段，便叫做全蝕地段。在全蝕地段以內日蝕的感覺最為清晰靈敏。在未蝕的時候，太陽光照得很強，一待月球遮到太陽，地球上便很快的有一層黑影遮到；等到全部黑影都遮着，地球表面的溫度也突然降下；不但人們，便是許多動物，也能感覺得到。鳥兒好像是受着驚嚇低低的飛着，鄉村的四周，突然靜寂得毫無聲息。在古代的時候，人們不知道日蝕的原因，把日蝕當做一種災禍將臨的預兆。密爾頓氏 (Milton) 對於太陽有過一段描寫：

「她隱避在月亮的後面，

*太陽的直徑約有886,000英里，它離地球的平均距離約為93,000,000英里；月球的直徑為2,160英里，它離地球的平均距離為224,000英里。現在

$$\frac{886}{93,000} = \frac{95}{10,000} \text{ 而 } \frac{216}{22,400} = \frac{97}{10,000}$$

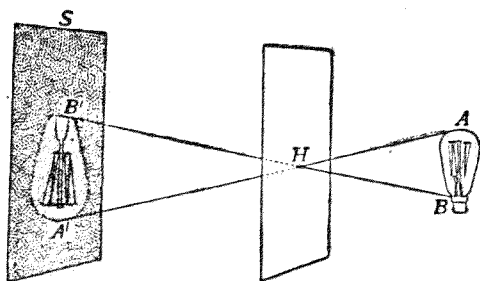
，兩個比數差不多是一樣。太陽和月球離開地球的距離時時變動，並不是完全相等；所以蝕的時候，被遮的部分也是時時變動，形狀大小都不一定。

災害的日蝕，遮蔽了國土的大半，

誰都是在恐懼將禍亂的降臨。」

從兩個或三個不在一起的光源，往往可以看見很多奇異的影；但是，假如你能牢記着光是依着直線進行，你便很便利的說明把物體放在任何地位所發生各種不同的影。

現在，讓我們談一談光從小孔中穿過時所發生的現象，例如紙板上或金屬薄片上像針孔大小的小孔。假定光源是一盞電燈，如沒有電燈的地方，用洋燭也是一樣妥當。從A點所發的光，有一部分依直線從小孔H中穿過，這穿過的光



第83圖 電燈光穿過屏孔所生的像。

只有小孔大小，是照在S處的屏上的A'點，使A'點有一個比原發光點A比較大些的相似影像。從B點所射出的光經過H孔後在B'處也成一個相似的影像；並且電燈上每一點都在S屏上發生一個相似的像。於是我們在屏上便很清晰的得到

一個圖形，在科學上通叫做像的圖形；這像的所以生成，無疑的是因為小孔中所穿過的直進光線。這像的上下左右，都和電燈相反，如第83圖所示。我們仔細把這圖觀察一下，便可以知道假如 S 屏距小孔的距離，比燈距小孔的距離來得短，所成的像便比真實的電燈小；但如屏距小孔比燈距小孔的距離大，所成的像也比電燈來得大*。因此像的生成，可以當做光依直線進行的另一個強有力的證明。

從電燈各點所發的光，都由小孔穿過，但能互不相犯，仍舊各自清晰的射在屏上，也是一個很有趣的事實；要證明這些光線的互不相犯，可以把電燈的任何部分用物體遮着，屏上所現的是電燈未被遮蔽部分很清晰的像；便可知道了。

電燈絲各點在像上，並不是一點一點而是聯合所成的絲狀像，不過是不十分清晰罷了。但如小孔是十二分的小，所成的像一定很為清晰，並且和小孔的形狀，也毫無影響。如由小三角形小孔所成的像，和由小圓孔所生成的像，完全一樣。要知道這個事實可以在陽光很強的時候，在樹下看日光經過樹葉所圍成的小孔在地面所成太陽的像，便可明瞭像的生成，無關於光線所經過的小孔的形狀了。通常樹陰下

*凡是這些光學試驗，一定要在天暗以後，或把房間中的窗戶全閉或用黑布遮成暗室，才能開始。否則從別處射進的光，往往擾着屏上的像，使人們看不清楚。

地面上所見的光，都是圓形，詩人們把它叫做「斑斕的樹影」。這些圓形的光都是太陽的像，但我們在樹葉和樹葉間，那裏能找到圓形的空隙呢？所以只要樹葉間的空隙是很小，所成的像都是清晰整齊(第84圖)。在日蝕半蝕的時候，太陽



第84圖 由樹葉空隙所成太陽的影。

的一部分被月球的黑影遮着，變成新月的形狀；於是這新月形狀的太陽經過樹葉空隙，在地面上可以成爲許多奇異形狀的像。

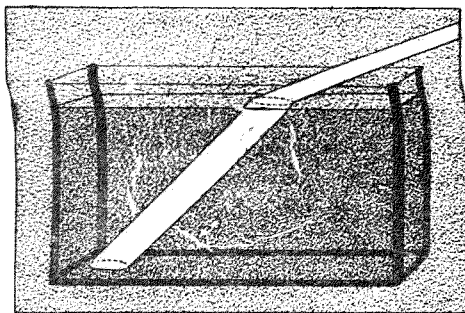
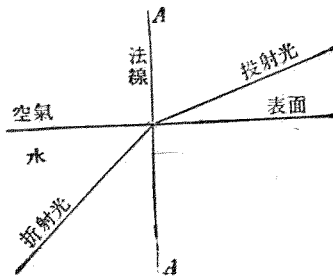
當然，假如小孔或空隙是比較的大，經過這孔的光線便較多，從發光體上每一點所發出的光在屏上占着的地位也很多，於是從各點射來的光互相攙雜着，所成的像當然比較模糊了。

透鏡 我們已經知道一個小孔如何的可以生成一個發光體清晰好看的像。假如，我們有一間暗室，把窗戶都用板遮好，在某一板上，留着一個小孔。室外的太陽照在一切景物上，使一切景物上的每一點把光向四週反射出來。在對着這小孔的室內牆壁上，便會生成和外面景色完全一樣的像，不過是倒着罷了。假如，我們用一只有一個小孔的小箱子來代替一間暗室，當然在小孔對面的箱壁上，也會有一個很清晰的景色。如我們把一塊照相片放在這對着小孔的箱壁上，這就成爲通常所謂針孔照相機，可以撰成一張很好的照片，不過，你大概已經知道，像這樣的照相機，通常沒有人用它，通常應用的照相機，都是用一塊透鏡來代替這小孔而成。在我們說明這種照相機的作用以前，我們先得討論一下透鏡的性質。同時，我們若要明瞭透鏡的作用，我們便先要知道先從空氣中通入玻璃中的情形，究竟是怎麼樣的。

光線從空氣中透入玻璃，或從空氣中透入水，或從空氣中透入任何透明物質*中；在空氣和這些物質相接的表面上，會發生一種偏向。這就是說，光在空氣中依着直線進行，

*凡物質能使光線從裏面通過無阻，並使人們很清楚的看到裏面光的通過，像玻璃及水等，便叫做透明體。凡物質不能任光從裏面通過的像鐵等，便叫做不透明體。還有些物體可以使光有一部分可以通過，一部分反射向外，使你也可以看得內部的像圓玻璃等，叫做半透明體。

光在水中也依着直線進行；不過在空氣中所進行的直線，和在水中所進行的直線間有一個角度，而不是一直線上；如第85圖所示。要證明這個事實，最好用一只幻燈所發射出來的光線。光線在空氣中所經過的路途，可以用前面所說噴烟的方法來顯示；至於要顯光在水中所經過的途程，可以用一只一邊用玻璃做成或用一只玻璃缸中貯着以紅墨水染成



第85圖 光從空氣中通入水中所成的屈折。(上)圖線的代
表；(下)怎樣用試驗來表示着屈折。

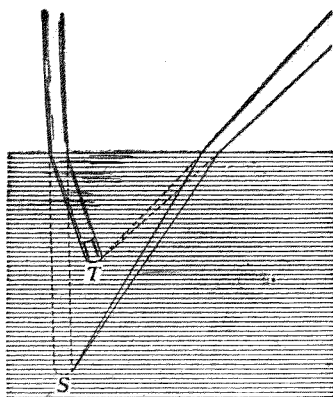
紅色的水；光從這水中通過，紅墨水便可使光射的水射出紅色鮮妍的光。當光從空氣中投入水中的時候，和與水面垂直的一根AA線會折成一個小小角度。凡與水面成直角的線，通常叫做法線；所以這定律可以用下面的語句把它說明：光從空氣中投入密度較大的物質，在表面處向着法線折射。當然，假如光線從密度較大的物質中投向密度較小的物質中，一定是折向相反的方向；換一句話說，便是離着法線折射了。這事實可以從第85圖端詳出來。我們只要試想着光從缸底向上發射，如把平面鏡放在桶底上，使光線倒射入幻燈裏面。這光線便很清楚的在離水面的時候，離着法線在折射了。

只有射入的光線和水面成直角的時候，沒有這種屈折的現象發生；這是因為光線是已經在直線上，當然不能有任何方法使它再近着法線了。

至於光屈折的總數大小，要隨着射入光和表面所成的角度和各種物質來決定。假如光射入時和表面所成的角度是相同；那末，射入玻璃比射入水中所屈折的角度便較大；而且各種玻璃所成的角度，也是各有不同。

這種光的屈折，在科學中叫做折射。光經過折射後，發生許多奇異的效應。如第86圖所示，把一根竹桿放到水中，在水面處可以看見竹桿似乎很清晰的折斷。這理由是，

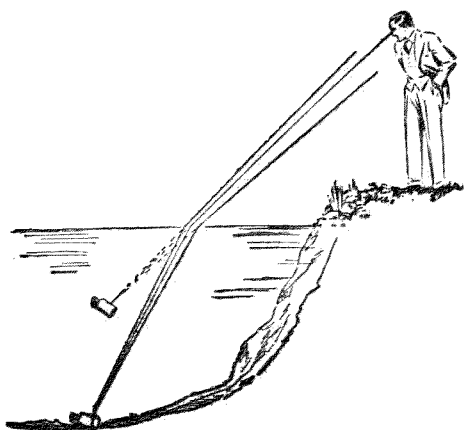
從桿底 S 所發射的光，發生如圖上所繪折射現象。在空氣中通過的光的方向，好像這光是從 T 射來。現在，我們知道眼睛是並不跟着光折射；它只能知覺到光線如何進行和在什麼時候射進，並假定光線依直線進行所自來的地點。這正和



第86圖 何以竹竿放在水中，看起來好像在水面處折斷。

人們被球碰着，只認為球是從直線拋來；而實際上這球也許從相反方向拋來，再從牆壁或樹木彈回的情形是一樣。

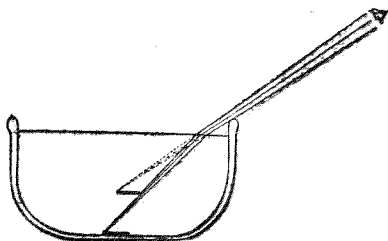
所以這許多光線射入眼中的時候，好像的確是從 T 發射而出。這些光線射入照相機時，也好像是從 T 發射而來；同時照片上也有和眼一樣的感覺，便是好像的確從 T 射來。同樣的情形，每一條清溪，看起來的深度，總不及實際深度那麼深。如第87圖，沈在水底的洋錫罐，看起來好像圖



第87圖 何以清溪看起來的深度總不及實際深度那麼深。

上所畫的地位。

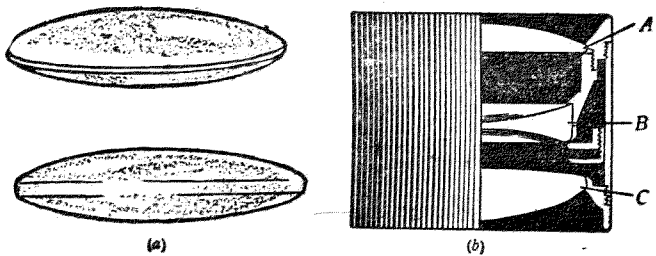
有一個很有趣味的試驗是把一個銀幣放在空盆中，把眼放在盆壁恰好遮蔽着銀幣的地位，如第88圖所示。假如把眼睛固定着不要移動，徐徐把水注入盆內，銀幣不久便會



第88圖 眼放在圖上所示的地位。當水盆空着的時候看不出盆底的錢，可是一貯水便能看到。

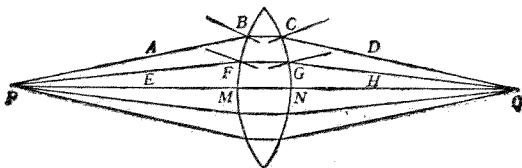
映入眼簾；這是從銀幣射出的光，經過一次像圖中所繪的折射。水盆的底好像提高許多，像第86圖的竹竿端是一樣的情形。

現在讓我們回過去再講到透鏡的問題吧。凸透鏡是一塊兩面凸出的玻璃，如第89圖a所示。默想一想這凸透鏡



第89圖 (a)兩只凸透鏡，一只是從上角看着，一只是從沿邊看着。
(b)近代的照相機透鏡，把支持物切去一部分，可以看見為許多塊玻璃所構成。A透鏡是一面平一面凸，B是凹透鏡，C是兩面均凸的透鏡。

中部的剖面，一定像第90圖所繪。假定光線PB從B點透入玻璃時，向着B點的法線折射，在玻璃中循着BC的途徑向

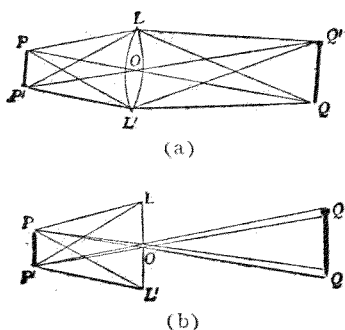


第90圖 凸透鏡怎樣把光從P再聚集在Q點。

前進行。當這根光線從C點再透出玻璃的時候，於是離着法線折射，至空氣中循着CQ的途徑進行。另一線PF亦從同樣的P點發出，當這光線從F點透入玻璃時，因為它和法線所成的角度較小；所以折射的角度也較小，循着FG進行至G，重入空氣達Q點為止。至於和玻璃表面成直角，由玻璃中點射入的光線，從直線進行，不生折射現象。透鏡的鏡面普通是球面的一部，所以凡從P發射出的光經過透鏡的作用後，可以會聚在Q點。光會聚的Q點通常叫做焦點。事實上，假使單用一隻單透鏡，雖然透過的光會會聚在Q點的附近，可是不能使許多線均正確的從Q點通過。至於像用照相機鏡頭一類用許多單透鏡製成的複透鏡，如第89圖b，便可得着較正確的焦點了。這便是許多較好透鏡所以都用許多單透鏡構成的原因。

其次，透鏡如何的可以造成圖形？我們可以拿第91圖左側所繪的釘來說明。從釘的一端P點所發射的許多光線，都會聚在PO延長線上的Q點上；從釘頭P'所發射的光線，都會聚在P'O延長線上的Q'點。同樣情形，P和P'間無數點所發的光都會聚在QQ'上。從這作用所造成的QQ'像，和利用小孔所造成的像比較起來是怎樣呢？第一，假使用小孔的話，經過小孔的光線在Q處不是很清晰的一點而是像小孔大小的一團光，因此由小孔所成的像，沒有那樣清晰。可是，

除了這一點而外，還有許多重要的區別。用透鏡時，從 P 所發出的許多光，凡是射在 LL' 範圍以內的，都從透鏡經過而

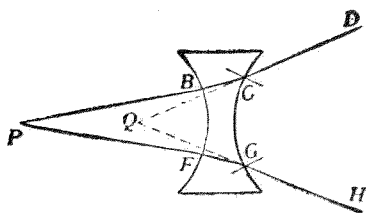


第91圖 (a)光線怎樣從透鏡中通過並造成物像。(b)光線經過和凸透鏡放在同一地位的屏小孔後，在另一屏上所成的物像。

集中於 Q 點；但若從小孔經過，只有一小部分的光能從小孔通過而集中於 Q 點。因此由凸透鏡所成的像，比較由小孔所成的像，光線來得強，所以格外清晰。事實上，如透鏡的對徑是一英寸，同時小孔的對徑是五十分之一英寸（約為普通針孔大小），差不多由透鏡所造成像的光強有由小孔所造成像的光強的2500倍。這是因為這凸透鏡不但是上下的對徑50倍於小孔，即水平的對徑，也是50倍於小孔；所以有 $50 \times 50 = 2500$ 倍的光量通過。用一只小孔對徑為五十分之一的小孔照相機，我們要經過40分鐘的露光才可以得着和用透鏡對徑為一英寸的透鏡照相機經過一秒鐘露光所照的相

一樣清晰。所以容易得着較亮的像，是透鏡的一個很大的優點。透鏡的對徑越大，或鏡孔越大，所成的像越是光亮，其他的情形却沒有多少影響。不過，鏡孔太大，往往易於模糊；這是因為很不容易把凸鏡的曲度做成使從中心透過的光與四周透過的光恰好集中於焦點；這就是說，事實上從透鏡四周透過的光差不多都集中於焦點以內一些。假如我們要得着很清晰的照片，露光的時間不能太短；照相家恐怕焦點不集中，往往把透鏡縮小；就是說他利用一種物件遮着透鏡的四周，來阻止光從透鏡邊沿透入，只許光從透鏡的中部透進。

我們在前面所說過的透鏡，不是兩面都凸出，便是一面平一面凸的一種，總之中心是比四周邊沿來得厚。還有一種常常用的透鏡是中心薄而邊沿厚，叫做凹透鏡。這種凹透鏡的剖面是繪在第92圖中。如第92圖所繪光從凹透鏡中經過的途徑，我們便知道通過凹透鏡的光，決不能在屏上造成

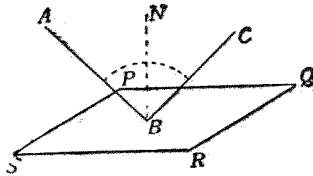


第92圖 光從凹鏡中通過的途徑。

物像；因爲光線從空氣中透入透鏡的時候，向法線折射，出玻璃時離法線折射；結果經過玻璃的光都是向四周發散而不能集中，所以無像可成。由圖，我們可以看見光線 CD 和 GH 在透出玻璃時，都是向上下分散，永遠不能集合；同時看起來，它們好像是從 Q 點發射而出。由此，我們知道假使把眼睛放在透鏡的右側察看，經過眼睛的辨別，我們一定以爲光是從比 P 離眼較近的 Q 點所發。從這事實，我們知道如經過凹透鏡觀察事物，這事物一定比實在的地位來得近；這就是何以近視眼（不能看遠距離事物的人們）要戴凹透鏡眼鏡的原因了。有許多光學儀器，都用凹透鏡製成；例如觀劇鏡的目鏡，便是凹透鏡，而前面的透鏡是凸透鏡。其餘像用來照遠距離景物，叫做千里鏡的，也是組合許多凸透鏡和凹透鏡所成。

反射 當一條光線射到不透明物體表面的時候，如一塊白紙或布的上部；這光線的大部分仍然被物體射回。假如物體的表面是粗糙而未經摩擦過，這射的光線便會向四周亂射。在另一方面說，假如用一面平面鏡，或用經過摩擦過的光滑表面；這射回的光線便會循着一定的方向射回。這種現象，在科學上叫做反射。假如射入的光線是在法線的一側，反射的光線又在法線的另一側，兩線和法線都成爲相等的角度。我們同時必須要記着射入線、反射線和法線都是在

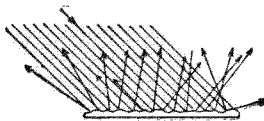
同一平面上，便是第93圖中紙的平面。無論射入線是從什麼方向射入，假如我們把一片薄紙放在這線和法線所成的



第93圖 反射定律。你幻想着反射面FQRS和書頁成直角。如AB爲射入線，BC爲反射線，BN和反射面成直角，於是AB、BC、BN，均在一平面上。角ABN並且等於角NBC。

平面上；這平面一定包含着反射線。

至於射到白紙上的光線，所以發生亂反射的現象，完全由於紙面是粗糙而不光滑像吸水紙一樣，不過沒有吸水紙那樣粗糙得利害罷了。即使最光滑的紙，實際上仍然有一些粗糙不平。當然，假如光線射在凸凹紋路的半腰，有些在左側而有些在右側，結果反射的光四面都有；如第94圖所示。不過，在這兒須要切記的是反射出來的光並不一定在一



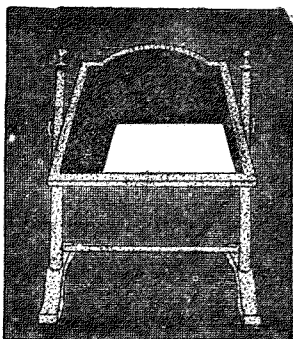
第94圖 光從像吸水紙樣的粗糙表面所成的亂反射現象。

個平面中，便是不全在紙頁的平面中，有的向着讀者，有的離着讀者射着。依照這樣方式的反射叫做亂反射，同時我們應該記着通用的“反射”兩字，差不多可以說含着「單向反射」的意思。

人們常常容易忘却從白紙或白布所反射出光的多少。用一塊白布和用一塊黑布對於室內各種事物的清晰與否有很大的區別。尤其是在光線不充足，或在室角暗處的影響更大，你可以試一試。假如在強烈的日光或明亮的電燈光的下面，一塊白紙把光線反射到暗室裏面的能力，差不多可以說相當於一只火炬。例如，落在箱子下面的釘，可以用一張白紙來反射很強的光至暗處尋覓。或者汽車在夜間開行的時候忽然停下，我們可以藉車前燈光用白紙反射到機器上來修理。當然，假使用一面平面鏡來代替白紙，比較好得多；但第一人們出外的時候，尤其是男人通常很少攜帶鏡子的，第二用鏡子反射的時候，可以很小心的把光線反射至機器的某特殊部分，而用白紙便沒有那樣能把光線集中。

從我們適才所說能看見一切事物的原因，因為光線只能向一種方向反射，所以假如我們頭部和鏡子平面不能在適當的地位，便不能看到鏡子的表面。可是，我們一定要記着從室內各物體所發而射到鏡面上的光線，和鏡子成爲很多不同的角度，所以無論我們立在室中的何處，從鏡中所反

射出的光線，都能投射到眼內，所以室內的任何物體，都能從鏡中看到。當我們看到這反射光線的時候，我們便知道是從那兒的鏡子所反射。我們只要用一個小小試驗，便能很容

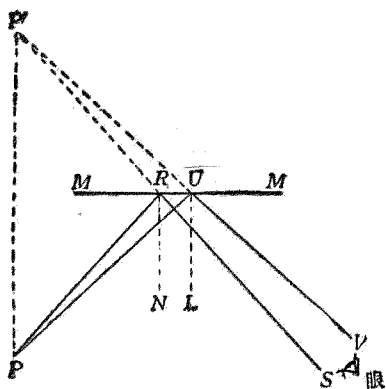


第95圖 光線假使從你肩的上部射入水平的鏡上，因為光從鏡面上反射向上不能投入眼中，所以看起來鏡面是黑的。不過假使放着一塊白紙，就看得出了。

易的證明亂反射和真正反射的區別。把平面鏡面水平的向着黑暗的屋頂板，使光從開着的門或窗射到這水平的鏡面上，並在鏡面上放上一方白紙。假如你背着射入的光線來向着鏡面看，雖然投射到鏡面、鏡框和白紙上的光線都是同一來源，紙片非常光亮，鏡的邊框也可以看得出，而鏡面反全部是黑的。這是因為假如要鏡面上有反射到你眼中的光。一定要有光從你的前面射到鏡面上，才能恰巧反射到你眼內，現在你是背着光站着，當然沒有這種光的來源，所以鏡面不

得不變成黑暗了。同時紙面凸凹不平有亂反射的作用，所以能把從你背後射來的光，反射到你眼內。

隨便什麼人都知道平面鏡的反射作用能把鏡面前物體所發的光反射出來，使物體在鏡中有物像存着；但却不能像凸透鏡一樣把物體的像造在屏上或紙片上。要看平面鏡怎樣造成物體的像；假定第96圖中 MM 為鏡面的線， P 為發



第96圖 平面鏡所造成的像。

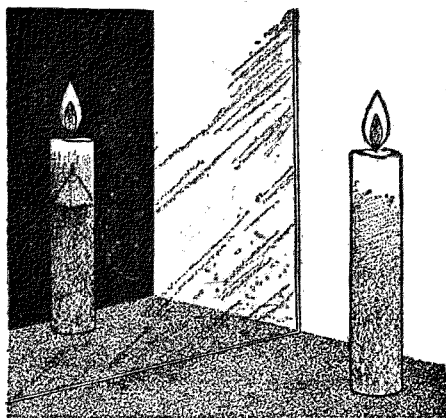
射光線的某點。從 P 射出的某一條光線是依 PRS 的途徑進行（ PRN 角當然和 SRN 角相等），另一條光線所走的途徑是 PUV ，因為 $\angle PUL$ 很明顯的比 $\angle PRN$ 大，所以這兩條光線經過鏡面反射後，愈向前進，愈行分離，因此，這兩條光線不能集合，看起來好像從鏡內 P' 點射來。假使利用幾何學方

法，很容易證明 P 距鏡面和 P' 距鏡面的距離相等，同時 PP' 一定和鏡面互相垂直。

現在，我們知道用眼來測度光的來源，假定光依直線進行從鏡面後 P' 點射入眼簾。任何人在任何地位向鏡內看的時候，人相當於鏡前發光的 P 點，鏡內的像却相當於 P' 點。事實上，任何物體只要安置在鏡的前面，都有同樣的現象，即在鏡內都有它的像存在。往往有許多動物一看見它在鏡內的像，便以為鏡後真有什麼；例如一隻狗看見鏡內的像，常常要跑向鏡去捉着它信以為真的狗。

要證明像距鏡的距離和物體距鏡的距離相等，是一件很容易的事。要做這種工作，我們可以利用一片普通玻璃，讓一部分的光透入玻璃，另一部分的光從玻璃反射，我們往往不能注意到一間普通房間窗上玻璃所發生的反射現象，這簡單的因為這種反射非常微弱，常被經過窗中比較光亮的視線所掩蔽的緣故。這現象恰和很強大的聲浪往往使我們不能辨別同時發生而較為低弱的聲浪是同一原因。在窗外視線非常黑暗的時候，玻璃窗的反射，便異常清晰了。當我們在很強日光射着的街道上走過的時候，很容易看到商店櫥窗玻璃的反射；這是誰都知道因為櫥窗裏視線很弱的緣故。我們豎起一片後面沒有視線射着的玻璃，在玻璃的兩面，各放着一支洋燭，同時單把玻璃前面放着的洋燭點着。

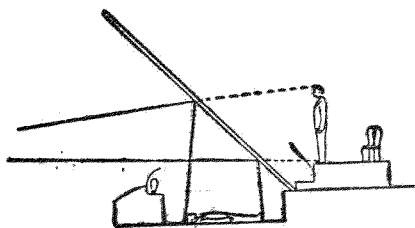
這時候，我們在玻璃前面望着玻璃背後看，我們可以看到放在背後真正的洋燭和玻璃前面洋燭的反射像。其次，我們把點着的洋燭任意移動，移至我們的眼睛不論放在什麼地位，使鏡內洋燭的像和真正的洋燭互相合同時為止。從這樣支



第97圖 測求平滑反射面所成像的地位。

配所得的結果，像和真正洋燭必定在同一地位；因為雖然像和真正洋燭前後列在一直線上的時候，看起來也許合同，不過假使把眼移到側面，那就一定分開了。從這試驗的結果，我們測得點着和未點着兩支洋燭所在的地點，恰巧相當於第96圖P、P' 兩點的位置；這就是說，未燃的洋燭離玻璃和燃着的洋燭離玻璃的距離是一樣，並且兩支洋燭所聯成的直線也和玻璃恰巧互相垂直。

假如有一個童子立在這片玻璃的後面，把他的手放在距玻璃和前面洋燭距玻璃一樣遠的地位，他的手看起來便好像執着這支洋燭一樣；不過他的另一隻手還可以放到好像被執着的洋燭所占的空間來證明那兒並沒有洋燭的存在。這樣，他便好像抓住了洋燭的靈魂。根據着同樣反射的原理，我們可以在戲台上表演一個很好的錯覺，這頑意是一個叫做派潑(Pepper)的人所發明，所以便叫做派潑的鬼魂。

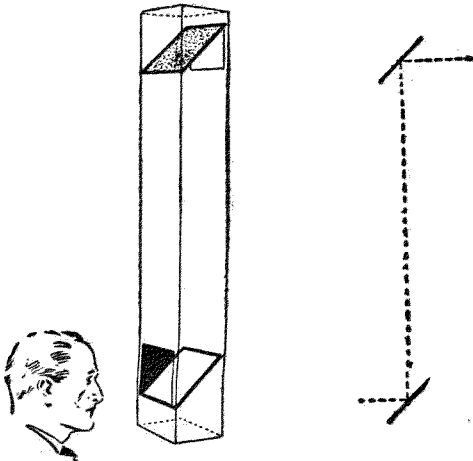


第98圖 派潑的鬼魂。

在戲台的前方，把一塊大玻璃板支持着使與地面成 45° 的角度，並將玻璃的邊藏在屋頂板中，使看客不能看見台前放着玻璃。在玻璃底部的前面，安置一只像斗樣的大箱子，箱子前面用短牆遮蔽，使看客不能看見箱內的情形，如第98圖所示。另外安置一只很亮的燈，使躺在箱中的人，周身都被照得異常光亮。現在，假如請一位演戲的人躺在箱內，使頭部近看客一端；在燈光不十分強烈的時候，他的像便直立在玻璃的背後。這像在觀衆看起來當然和真人一樣，假使箱內

的演戲人扮着許多動作，這像便也有同樣的動作。便是有血有肉的人們從台上跑過，他們覺得台上的像和箱中的人是同爲鬼物；可是他們却能從台上空虛的像中自由來往，這不是很覺驚奇嗎？這種戲法在模範戲院中很容易表演，不過要牢記着當強光射着發生鬼魂的真人或偶像上的時候，台上切切不能有強烈的光線。假如稍有經驗，便可以做成一個很清晰的“鬼魂”。

有一種叫做潛望鏡的儀器，可以使我們看見如隔牆或羣衆背後一類不透明背後的景物；也可以當做反射定律的一個好例子。潛望鏡內有兩面互相平行並和水平線成 45° 角

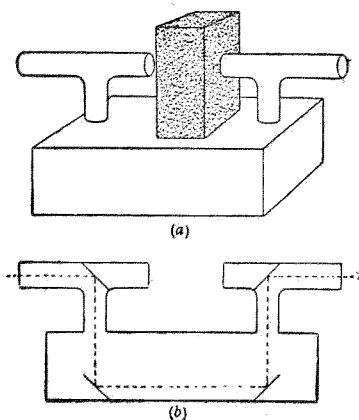


第99圖 潛望鏡。右側表示光進行的途徑。

度的平面鏡，如第99圖所示。這兩面鏡子或一上一下的裝在一只箱子中，或更簡單一些，簡直縛在一根竹竿上。從景物上射出的光線達到上面的鏡面時，經過鏡面的反射直達下面的鏡面，再經反射後平行射入觀者的眼內，所以他從下面的鏡中便可看到把眼放在上部鏡子地位所應看到的眼前景色。這種潛望鏡在大戰時為戰壕中士兵常用的物件，因為當他們要察看戰壕前方情形的時候，伏在壕內利用這潛望鏡便可清晰的看見，可以免去把頭伸出壕外的危險。潛望鏡在潛水艇上也很有用處。上面的平面鏡裝在差不多有20英尺長的管子上端，管子的下端裝着另一塊平面鏡，安置在潛水艇的內部。在要察看海面情形的時候，只要把水面上的玻璃向各方移動，海上四周的情形，便可一目了然了。事實上，潛望鏡都是用反射稜鏡來代替平面鏡（反射稜鏡的作用，在第165頁說明），因為用了稜鏡，可使水手看到更廣闊的海面情狀，至於這兩次反射的原理，和第99圖所說的簡單潛望鏡是完全一樣。

有一個很有趣玩具，叫做隔磚看物，是平面鏡用途的另一個好例子。用兩根好像裝着透鏡的望遠鏡管子，排在一直線上，但中間留着可容一磚的間隙，如第100圖a所示。任何人從這管中窺望，可以看到對面的牆壁或景物，好像從一根普通管子觀察前面的景物一樣。現在，假如把兩管的空隙中

放上一塊磚塊，他仍舊可以看同樣的景色；假如他不知道有這種玩具的話，他一定在想他自己能隔着磚塊看到前面的景色。第100圖b指示着這玩具實際遇到的情形。裝在兩根望遠鏡管子兩端的玻璃並不是透鏡，而是通常的平面玻璃，和這玩具是沒有若何的影響。這管子的座子是完全空的，中

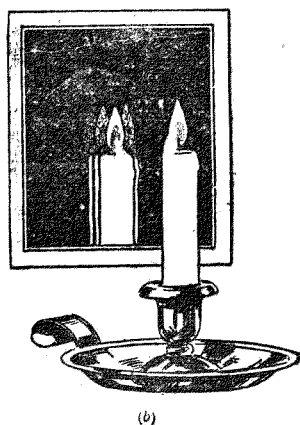
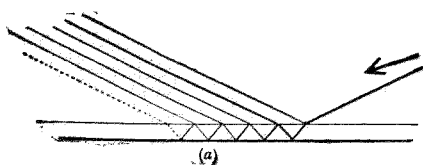


第100圖 隔磚看物。下面是光所經過的途徑。

間裝着四塊平面鏡；它們的位置，如圖所示；光線射入時先反射向下，再反射向右，再反射向上，再水平的反射向前，直達觀者的眼中。所以觀者從管內所看到的事物和他不用這管子直向前看所見者是完全一樣。在這種玩具上，有無磚塊加上，當然是毫無影響了。假如你要做這種玩具，是極其便

易。如能用四塊反射稜鏡來代替這四塊平面鏡，結果可以格外的使你滿意。

通常用的平面鏡，如梳妝台上所用的平面鏡，便是把普通玻璃背後塗上一層薄銀所製成。要避免所塗的銀容易擦去，往往再在銀上塗上厚層保護用的特殊紅色油漆。你把鏡子從鏡框取下時在背後所見的紅色物質，便是這特殊紅色



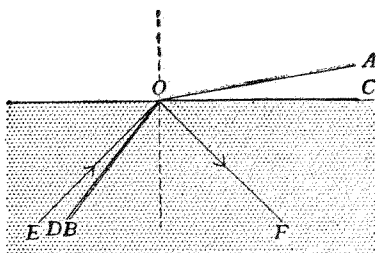
第101圖 平面鏡中許多的像:(a)怎樣會生成許多像;
(b)用洋燭試驗時所見的許多像。

油漆了。銀質反射的能力很好，前面的玻璃，也是用來保護銀面，免得容易損壞。不過，從前面所講，我們知道玻璃也會有反射作用；所以我們在通常平面鏡中，往往可以看到任何物體的兩個影像；一個是由銀的反射所成光度較強的像，另一個是由玻璃表面所成比較暗淡的像。假如把這平面鏡放在很強烈的光線中，便可得到更多數比較暗淡的像；這是因為銀面和玻璃面間光線反復反射所得的結果；如第101圖a所示，每一次反射，便生成一個暗淡的像。要看這些像的時候，取一面很厚的平面鏡，很近的放在眼前，並使洋燭光射着鏡面時適成約 20° 的角度。這樣在鏡中便可以看見一套愈後愈暗淡的燭像，如第101圖b所示。假如用一只像電燈一類較明亮的發光體放在平面鏡的前面，還可以看到更多的像。

在通常平面鏡裏，第二像和其餘比較黑淡的許多像的產生並沒有多少大的關係；可是光學實驗用的儀器，最重要的條件，便是只可有一個清晰的像。因此，天文學家所用的平面鏡，不是把銀塗在玻璃後方而是直接塗在前面；於是所塗的銀不像普通平面鏡有一塊玻璃保護而暴露在空氣中，你看這不是需要好好的當心才可使用嗎？在使用這種鏡子的時候，斷斷不能把手指觸着銀面，可是這還是容易變成模糊呀！因此天文鏡要時常加塗銀面，在每年中，至少總要有

一次或兩次。美國加里福尼亞州(California) 威爾遜氣象台(Mount Wilson Observatory)中反射望遠鏡的天文鏡，是世界最大的天文鏡，對徑有100英寸，在任何需要的時間，可以把它用機械降落到一間特別佈置的塗銀室中。在這塗銀室裏，有一只極大的貯銀盆，盆中貯着含銀的化學溶液；把這天文鏡先加以清潔手續，然後浸入化學溶液中；於是溶液中的銀便會附在玻璃上。

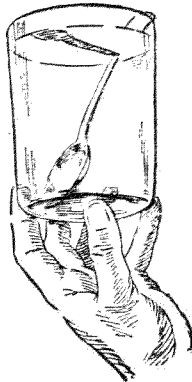
有一種方法既然可以得到單獨表面的反射，又可以避免前面玻璃上銀面的易於損壞。要了解這方法，我們得回過去談一談光從空氣射入玻璃時所生折射的情況。假定光線AO與空氣中法線成 80° 的角度，如這光線射入玻璃，向着法線折射，實際上在玻璃中與法線所成角度為 38° ，如第102圖（正確的角度大小，當然要隨着玻璃的種類決定，不過與普



第102圖 表示全反射的圖綫。光線DO在O點發生折射，沿玻璃面OC進行。光線EO便不能射出玻璃，而沿OF線向玻璃內另一方向反射。

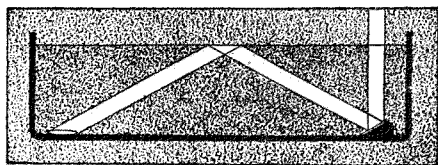
通玻璃,也相差不遠)中所繪的OB線。假如射入光線在空氣中與法線所成角近於 90° (如 89.9°);於是在玻璃內與法線所成角度為 38.8° ,如圖中的CO和OD線。現在假如我們理想着把這些光線的方向全反着,換一句話說,便是光線從玻璃中射入空氣,當然在玻璃中與法線成 38.8° 角度的光線,透出玻璃以後在空氣中一定沿着玻璃表面進行。假定玻璃中某一光線與法線所成角大於 38.8° 如為 45° 時,這情形又是怎樣呢?當然,最明顯的事實便是光線不能再透出玻璃以外。事實上,這光線從玻璃表面上折向玻璃內部,和射到平面鏡上的光線是一樣,沿着OF向玻璃中另一方向進行。這種現象通常叫做全反射。

要看到水中的全反射現象,事實上極為容易。把玻璃杯



第103圖 浸沈在水杯中的銀匙,因全反射作用所起的反射。

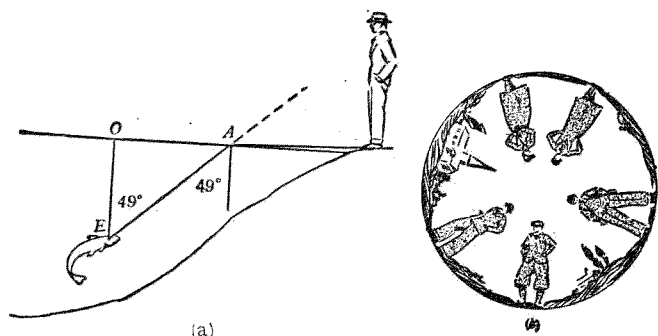
中放着一杯水，當中插着一根銀匙，用手將玻璃杯高舉，從杯底向杯中看着；我們便看見銀匙浸在水的部分為水面所反射，同時銀匙上端露在空氣中的部分，一些也看着。或者把一面平面鏡放在水槽或水盆中，假如用一只電筒的光向下對着鏡子一直照着，同時平面鏡亦在水平方向，這光線一定能向水面上透出。假如我們利用平面鏡背後的金屬柄，使平面鏡從水平方向，慢慢向上傾斜，結果一到傾斜至相當角度，平面鏡中的光線便不能再射入空氣中，而向着槽底反射，如第104圖所示。



第104圖 水槽中所見的全反射。

要是你想一想水中魚類怎樣的看着一切事物，也是一個極有趣味的問題。魚類的眼境界，是非常特殊。水不像玻璃有那麼大的折射能力，所以從空氣中射到水面時與法線成 49° 角度的光，在水中還可以察看得到。水面上射入的光，假使和法線所成角度再比 49° 大，那就一些也看不見了。並且光可以從任何方向射來，因此，在魚的目光中看起來，一切的事物，都羣集在以O為圓心OA為半徑的圓的周圍。不

問池的形狀是怎樣，圓周上各點和魚眼上的法線所成的角度都是 49° ，都和 $\angle OEA$ 一樣大小。所以，假如人們的足立

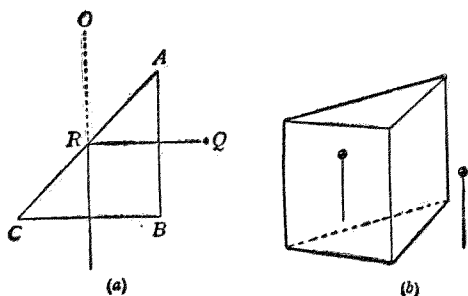


第105圖 魚的眼界。(a)是說明(b)中所見的現象。

在 EA 線上，一定會給魚看見。伍德 (R. W. Wood) 教授曾用一只照相機從水中攝着許多立在池周人們的“魚瞰”照片。第105圖b，便是繪着這種效應。

現在我們僅僅知道利用全反射原理在單表面上取得反射的方法。在第106圖a中，ABC 是第 106 圖b中三稜鏡的俯畫圖。這稜鏡的 $\angle ABC$ 為直角，其餘的兩角都是 45° 。光線QR與平面AB成直角，所以一直透入不生折射，直達平面AC，與 AC 成 45° 的角度。我們已經知道，像這種光線，決不會射入空氣，而從AC平面上向 BC 平面反射。像這種形式的稜鏡，這種利用法，是叫做全反射三稜鏡。這種稜鏡，在光學

儀器上的用途很大，像照相機上的覓景鏡，便是一塊全反射三稜鏡。這種稜鏡的反射是非常完全，因為所有的光線都



第106圖 直角稜鏡中的反射作用。(a)是繪着光線的途徑，
(b)是針和像的形態。

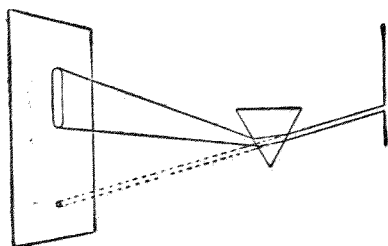
是從單獨表面 AC 上反射。在潛水艇所用的潛望鏡上，便是用兩塊全反射三稜鏡來代替如第99圖上所用的兩只平面鏡。

色 世界第一大科學家牛頓 (Sir Isaac Newton, 1642—1727) 曾用稜鏡做過很多試驗，來覓出顏色的本性。要談到顏色，我們要先知道它們中比較重要的幾種，才會把整個的問題探討得清楚。

他利用從遮蓋物上一狹縫所射入的太陽光，引到一間暗室中，並使這狹條的光線射在一塊三稜鏡*上，如第107

*這裏用三隻角都是 60° 的等角稜鏡。

圖)所示。狹條光線經過三稜鏡後,再使射到一塊白幕或白紙上。假如不用三稜鏡,使光線一直射到紙上的時候,紙上不過現着一個圓而小的光點;現在利用三稜鏡的作用,射到紙上的光便成爲一條帶狀的光帶;在牛頓做這試驗的時候,

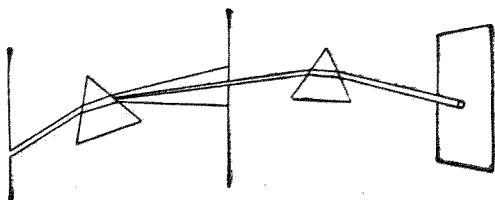


第107圖 單光譜。

白紙上所顯示的光帶,差不多有10英寸長。這光的長短,一方面隨着紙幕離開三稜鏡的距離決定,一方面還靠着所用三稜鏡的玻璃種類來決定。這條光帶有許多的顏色;頂上是紫色光,其次是深青色、青色、綠色、黃色、橙色,最末是紅色。這種光帶叫做光譜,這許多顏色叫做色光。像紫紅色便是紅色光和青色光混合而成,或棕色等許多顏色都不是色光。在自然界中,很難覓到真正的色光。

光線從三稜鏡中透過,便會發生這許多顏色,當然,光譜的成因,一定是三稜鏡的作用了。從圖,可以很清晰的看出每一種顏色的光,都是從三稜鏡以不同的折射角度射出。

牛頓還做了一個另外的試驗，把這現象顯示得非常清楚。他先把光線經過第一只三稜鏡所成的光譜射在有一只小洞的屏板上；這便是只許一種顏色的光，如紅色，通入屏後，其次他再把這通過的光射在第二只三稜鏡上。這時候，這一條紅色光線，並不再被第二只三稜鏡所分散，照舊是一條原來一樣的光線。次將紙屏移動，使紫色光從屏上小洞透過而射在第二稜鏡上；同樣的結果，這紫色光經過第二稜鏡以後，也並不分散。不過，却比紅色光折射得更大一些。現在我們可



第108圖 單色的光，被第二稜鏡折射的度數和第一稜鏡一樣。

以仔細的想一想這兩種試驗告訴我們的是什麼呢？第一，單色的光經過三稜鏡後，並不起分散作用只有折射作用；事實上，它折射角度的大小，無論它先前已經透過多少的稜鏡，結果都是一樣。第二，各種不同單色的光，經過三稜鏡後，所折射的長度也不同；例如紫色光折射的度數最大，紅色光折射的度數便最小。

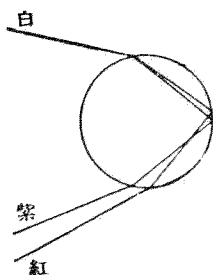
因此，我們可以說光譜的生成，是由於下列的原因。通

常不帶着任何特殊顏色的白光，是光譜中許多有色光所混合而成的混合物；這正和音樂中許多單音混合起來便可成爲複音是一樣。它們間的惟一分別便是聽覺聰敏的人們往往能辨別某一複音中包含着那幾種單音；可是，不論怎樣能明察秋毫的人，却不能看出通常白光中的許多色光。這兒，便需要應用到三稜鏡了。因爲白光中許多色光，被三稜鏡所折射的度數都不相同，所以經過三稜鏡的折射以後，透出的光好像一把扇子，兩端是折射得最多或折射得最少的光。你常常可以看見從切得很平滑的玻璃瓶塞上，往往能把很好看的多色光帶射到牆壁或枱布上，便是因爲這玻璃瓶塞有三稜鏡的作用。金剛石分散白光成各種顏色的能力，比較同樣大小的玻璃來得大；這便是何以鑽戒能射出各種色彩的原因了。

白光中混合着這許多顏色的光，看起來好像是非常可驚奇的；不過，牛頓還告訴我們假如再用一塊三稜鏡相反的放着，使從第一三稜鏡所成的光譜射在第二三稜鏡上；這許多顏色的色光經過三稜鏡後，會依舊混合成白色通常的光，這不是更明顯的事實嗎？

雨後的虹是自然界中經過稜鏡作用，把白光分成許多顏色的最好例子。假如有一根光線射入一水點上，光在水點中便開始折射，再從背部反射，終由光射入的一面折射至空

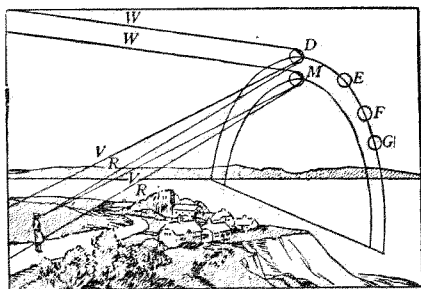
氣中。這兩次的折射作用和光經三稜鏡時一樣，便把光分成許多的顏色。最後射出的紅光方向，和射入水點的太陽光方



第109圖 光被水點折射的情形。白光中的紫色光較紅色光折射得多，同樣白光中各色的光也都有不同的折射。

向，成爲 42.5° 的角度；至於折射較大的紫光，和射入的太陽光成較小的 40.5° 的角度。假如天空滿佈着許多的雨點，同時你又背着太陽站着；你對面天空某一環上的許多雨點，凡是雨點中射出和射入的太陽光成爲 42.5° 的許多光線，便能把光直射到你眼內；其餘和太陽光成 40.5° 的許多光線却不能射入你的眼簾。射入你眼中的光，都是紅色，所以你便看見天空有一個紅色的環，在這紅色環的下面，還有一個射出光線和太陽光成 40.5° 的雨點環；不過往往被紅色環所掩蓋，因而看不清楚。當然這下面的環一定是顯着紫色。在兩環的中間，排列着其他顏色的環。第110圖便是顯示虹的成

因。天空所有的雨點，能射出各種顏色的光線，不過只有某



第110圖 虹。上面的環把紅光射入眼內，下面的環把紫光射入眼內。

一定地位的環上的雨點能射出特殊的顏色，使達眼簾。從此，我們便能明瞭，在觀望虹的時候，何以你一定要背着太陽立着，而虹的本身，何以像以你為圓心的一個弧了。在一個天氣很清爽的夏天，你背着陽光而立，利用一隻花園中灌花的皮帶水管，把水點噴向天空，你便可以自製成一個很美麗的人工虹。

現在，讓我們再回想一想透鏡。我們已經看見，凡能發亮光的物體所發出的光經過透鏡的折射作用，便成為光亮的物像。可是，假如紫光比較紅光折轉的度數較大，紫光所成的焦點，一定會較近於透鏡；同時，假如我們用一只白光的物體，也許可以成為有顏色的物像。事實上，這情形是的

確有的。取一盞電燈，燈前放一塊紅玻璃，另以一只單透鏡造成電燈燈絲的像，並注意紙屏安置在何種地位時，所成的焦點最爲清晰。現在假如你用一塊青玻璃來代替原有的紅玻璃，我們發現如要得着一樣清楚的焦點，非把紙屏移近透鏡決不可能。或者，我們把紅玻璃和青玻璃相疊的放着，使電燈燈絲的上部光線射過青玻璃，使燈絲下部所發的光，射入紅玻璃；我們便不能使燈絲的上下兩部分都同時得到一樣清晰的焦點。最後，假使我們不用有顏色的玻璃，我們便看見像的沿邊也現着顏色，尤其以紅色和青色的光，格外清晰。這種顏色是非常足以引起阻礙，可是我們假如用着單透鏡，這種阻礙是永久不能除却。要去掉這種阻礙，我們可以用聯合許多只透鏡所成的透鏡組，那就會造成不帶色彩的像了。這就是何以較好透鏡要用許多透鏡來組成的另一個原因。凡能造成無色物像的複透鏡，通常叫做消色差透鏡。

我們已經看見三稜鏡能把太陽光分析成一條由紅到紫的光帶。在光帶兩端的顏色比較暗淡，並且好像遮在黑影中間。這原因是在紫色光以外，沒有再可以使眼發生效應的別種有色光線，並不能當它在那種地位就沒有光線。例如，我們知道，在黑暗的地方不能看出熱的物體，如一塊熱得還沒有發光的鐵和磚，當然看不出它們是熱是冷；不過它們會發

射出一種熱線，我們利用手掌，便可以感覺到它們是熱的。這許多熱射線和光線是完全一樣；它們依着直線進行，它們也能反射、折射。事實上，它們是一種不可見的光線。

極其精確靈敏的溫度計，可以試出在光譜上紅色光的外面，便有這種熱線的存在；所以會發生熱的效應。這些熱射線叫做紅外線；有許多有趣味的特殊性質。在醫院中，紅外線用來醫治某種疾病。它們對於某種特殊照相乾片（不是通常的乾片）會發生作用。所以，假如在暗室中放着一塊熱得還沒有發光的熱鐵，便可利用這種特殊照相片把熱鐵所放射的紅外線攝成照片。利用這種紅外線，可以用照相機攝成遠景，行星等很遠距離的物體照片。在攝取的時候，把照相機透鏡前面裝上一塊叫做濾光器的紅色玻璃（或用深紅的明膠），這樣別種顏色的光都被紅色玻璃所阻，只有紅色光線和紅外線能射達照相片上*。用紅外線所攝的風景照片，和用普通方法所攝的風景照片，有很大的區別。第一，植物的綠葉對於太陽光中紅外線的反射力量特別強大，因此綠葉便顯着特別光亮；例如，在夏天所拍樹葉的照片，看起來好像葉上堆着一層大雪。第二，普通光線，尤其是青色光線，容易亂射，或向各方向反射；這種亂反射是因為空氣

*可見的紅光和不可見的紅外線，有許多相似的性質，所以只有它們能先後穿過紅玻璃。

中或含有小粒的塵埃，或小粒水點，或甚而至於空氣的分子*；可是紅外線亂射的性質非常微弱。因此，當我們要攝取遠距離景物的時候，因為光線要從很遠的空氣中經過，空氣中難免沒有水點塵埃的存在，所以用普通照相法所攝得的遠景，往往不很清晰。假如利用紅外線來攝取這種照片，那就不致有前述的弊端了。本書內封面的照片，便是利用紅外線所攝。紅外線可以用一種特殊的儀器來檢驗，結果和用精確溫度計或特殊照相片所得者一樣美滿。

在光譜的紫色光線以外，也有一種射線，叫做紫外線。紫外線對於通常照相片的作用很強，因此，用普通照相片攝取景物的照片，所攝得的景物往往比肉眼所能看到的來得長。紫外線格外容易為空氣、塵埃和雨霧等所亂射，所以往往很清楚的景物，用紫外線攝取時，便顯着模糊不清；如內封面的照片所示。

和可見光中含有多種有顏色的光線一樣，紅外線和紫外線也有很多種類。有幾種的紫外線能和太陽一樣使皮膚晒黑，所以能用來撲滅某種疾病，尤其是對於小兒的軟骨，格外效驗。甚至於身體健康的人們，能脫去衣服，赤着身體在日光中曝曬，或在特製而能發射紫外線光的燈下曝曬，對於身體，也有很大的益處。太陽光的優點，便是因為裏面含

*分子的意義，在第五章中說明。

着許多紫外線。你應該牢記着，你在日光中所以覺得熱的原因是因爲可見的黃色、紅色光線，和紅外線的作用；可是能使你皮膚變黑却是因爲幾種不生熱的射線呀！紫外線能幫着許多化學作用的完成，對於植物的生命也有極重要的影響。

像花和染色布之類的有色物體，所以有顏色的顯示，不是把白光中加入一種有色的事物，而是從白光中取出一些事物。一朵深紅色的花把白光中除了紅光和很少部分的橙色和黃色光*而外許多顏色的光都一概吸收，所以能反射出來的光，只有紅色。青色的布吸收了整部的紅、黃和橙色的光，只讓青色和少許混合着的綠色、深青色、紫色的光通過。把各種顏色的物體放在各種顏色的光中可以看見很有興趣的事件。把幻燈前面用許多有色的玻璃（玻璃的顏色愈近於色光愈好）插着†。假如把幻燈上插上一塊青玻璃，放在光內的紅罌粟花，看起來好像黑色；這是因爲紅花把所有的青光都吸收了，同時又沒有紅光供給它反射，所以便一無所有成爲黑色了。紅光在綠光中亦變成很暗，在黃光中因爲它不能吸收全部黃光，所以比較明亮；在紅光中，因爲它全不

*在前面曾講到過，自然間沒有純粹的色光。

†科達公司所製的明膠色片的顏色，比顏色玻璃接近於色光；不過明膠片遇熱易熔，極應留心。

吸收，所以非常紅豔。在很强的紅光中，青色的書變成黑色。人造光中所含的青色通常比太陽光所含青色光少，或換一句話說，人造光比較紅些。青色布放在人造光中往往顯着黑色；這便是因為青布能吸收青色以外的一切光，同時人造光中所含青光很少，所以結果現出黑色。在另一方面說，紅色物體放在人造光中，看起來格外鮮亮。

假如你要知道把兩種油漆混合後所得的結果，我們可以想一想從白光中減去這兩種顏色吸收的成分後所餘下是些什麼顏色。青色的油漆，能吸收紅、橙、黃各色；黃色的油漆吸收青、深青和紫色。假使把青黃兩種油漆混合一處，惟一能不被吸收的只有綠色一種；因此混合的油漆便成為綠色。不過，假使我們把青光和黃光射到一片白紙上，混合後反射出來，結果不是綠色而是白色的光。更奇怪的是一對有色光所成的白光和七種原色所成的白光，除了用三稜鏡把它們的成分分開，可以辨別之外，用肉眼却看不出這兩種白光的分別。

第五章 無機化學

化學學科의 各種分支——化學中天平의 用途——元素和化合物——
酸、鹽基和鹽——酸類의 製造——純金屬和合金

化學學科의 各種分支 化學是關於研究一切物質從什麼構成，怎樣可以組成，怎樣可以分析，和怎樣把一種物質變做第二種物質的一種科學。在第一編中，我們已經講到幾個化學變化的例子。這科學包括很多類中很多種的物質和變化的討論，所以分做許多不同的分支。在這些分支中，最重要的是無機、有機、物理、膠體和生物化學。在這許多化學分支中，每一種分支都有關於製造有用物體的部分，人們又叫這部分爲工業化學。

不過，爲便利起見，雖然化學中各種問題和實驗都可以在各個特殊的分支中，而實際上最爲重要的事情，是要能了解某一問題和某一試驗的意義，和它們告訴我們的是些什麼。某一化學問題應該附屬於某一化學分支，是很不容易說的一件事情，其實這也沒有多大的關係。要清晰的明瞭這種情形，讓我們用一個很大的商店來做一個譬喻，假如某大商店中分隔成許多部分：某一部分是儲藏着像糖果、雜貨、肉、魚、蔬菜等食品；另一部分儲藏着像衣服、袴、靴、鞋等穿着服用；另一部分儲藏着像玩具、體育用具、遊戲用具、園林用

具和別種雜用物件。像這些用器的分類，當然是極其容易；並且假如你知道了這分類的方法，當購取起來，也是可以按圖索驥，非常的便利。假如你要覓一些花椰菜，當然不會走到服用部去要；假如你要取一件通常穿的內衣，自會直向服用部去買了。不過，假使你要覓一件足球衣，你便會疑惑着，還是到服用部去呢，還是到體育部去買。這時候你便得去問着店伙，他的答案僅僅是依據着總部所分的部分，却並沒有其他的理由可說。你的目的是在購取一件足球衣；只要購到你需要的衣服，至於最後到什麼部分去買，對於你自然不會發生任何感想。更舉幾個更進一層的例：像高而夫球的球鞋，也許會陳列在鞋部，也許會在靴部，或陳列在體育用具部；小孩用的網球拍或在玩具部，或在體育用具部；罐頭菓品或在糖菓部或在雜貨部。覓到你所需要的物件是你心目中最希望的事情，有系統的分類可以省却你跑遍全店的時間，在那一部分中去購買，對於你當然毫無見解；你當然不會耗費了許多時間去辯論罐頭應該陳列在某一部分呀。

在化學中或其他普通科學中的情形也是一樣。假如遇到一個可以懷疑的項目，或一個可以懷疑的問題；我們不值得耗費許多時間去辯論這是應該屬於那一個分支，是列在無機化學中呢，還是列在物理化學中。科學所以要分成許多分支，不過是因為便於教授和學習；重要的事情並不是分類

而是實際遇到的事實。

現在讓我們談一談化學中的各個主要分支吧。無機化學所研究的是些沒有生命的物質：如金屬、硫、堿、鹽、洗鹼、硫酸銅、普通酸（硫酸、鹽酸和硝酸），氣體氧、氫、氮和二氧化碳，以及少數通常物質的名稱（大多數名稱，在前面已經說過）。至於怎樣從含着金屬叫做礦苗的土或石塊中把純粹金屬提煉出來，那又是屬於叫做冶金化學的一個化學分支。

有機化學所包括的是生物（動物和植物）的產物。從腐敗的菜蔬中所發出的沼氣；從五穀中製成的各種酒；從脂肪製成的甘油；從菓品或甘蔗製成的糖；有史以前的動植物埋在地下所變成的煤油；都是屬於有機化學的題材。在下章中，我們還要用更詳細的方法來分別有機化學和無機化學。有機化學和無機化學的界限，很不容易分出；從前關於辯論碳化鈣是應該屬於有機化學部分或無機化學部分曾經有過一篇很長的定律來判定，因為根據某一定律說，它是只能屬於有機部分。不過，從科學的立足點來說，我們在前面已經說過，這問題却沒有多少價值，隨你說它是有機物也好，無機物也好。總之，碳化鈣是一種真正的事物便是了。

物理化學的內容是包含着物理和化學互相關係的方法；如電鍍是利用物理部分的電來引起化學變化的一種方

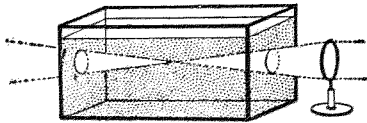
法。光對於化學藥品的效應，某一化學品溶解於其他化學品中，便是物理化學中較進一步所包括的問題。

膠體化學是關於討論像膠質、糖漿、印度橡皮、樹膠、蛋白的科目。這許多物質，都是不能成爲如食鹽、糖、洗鹼等的明淨和具體化形狀的結晶固體；並且大多數均有粘固及漿狀的性質。凡是做過糖漿的人都會知道它們中都能任意的攪和水分。從這一個性質，它們和無機物硫酸銅結晶便大有不同；例如硫酸銅結晶中所含水分是一定的（每一百公分硫酸銅含三十六公分水）。

液體中往往含有許多物質的微粒；這些微粒的微細，肉眼察看不出，並且懸浮着不會下沈；凡是這一類態狀，也是歸在膠體化學中學習。牛乳便是屬於這種液體。牛乳是很淡的鹽類水溶液，中間並含着某種物質，和對徑差不多等於萬分之一英寸的許多脂肪小粒。牛酪便是把這許多脂肪聚合而成的固體。像這種液體，也叫做膠體物質，人們的血液也是屬於此類。

把強烈的光線通到含有微粒的膠體溶液中，這許多微粒便能由肉眼看出。例如，把從透鏡射出的一條圓錐形光線通入含有清水並一邊有玻璃壁的水盆中。我們在第四章中已經說過，在這種情況之下，如從側面察看，並看不出水中的光線。可是，假如把一茶匙的牛乳倒進這清水中，立刻便

看見水中現着一條很亮的錐形光線，因為丁達爾首先做着這種試驗，所以便叫做丁達爾錐(Tyndall cone)。這是因為



第111圖 丁達爾錐。液體中的小質點把光線向四周亂射。

牛乳中的小脂肪粒把光亂射出來，所以光線能達眼簾。通常能溶解的物質，便沒有這種現象，假如你溶解少許的潔鹽*或碳酸鈉(鹼)於水中，便看不見有什麼錐。

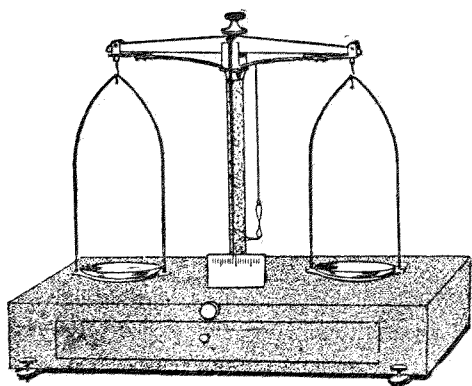
通常所謂生物化學，是專門研究生物身體中的化學作用；如消化化學、血液化學、腦化學等都是屬於生物化學的範圍以內。人們身體中有許多物質是膠體狀態，所以從化學的立場來研究身體的狀況時，膠體化學也可給予不少的幫助。身體中所有的事物都是極其複雜的化學品，因此生物化學雖然是很有趣味，却是化學中最難的一部。

由此，你大概可以知道在化學中所學習的是些什麼不同的事物了。上述的各個不同分支並不能很清晰的分開，和許多科學一樣，仍然是互相關係着。雖然把某種事物分類時，往往發生許多困難；不過，我們在上面已經說過，分類的

*物質中如含灰塵，也能發生光錐。最好先把鹽或鹼溶在水中，過濾後再把清液加入清水。

事件,對化學的本身,並沒有什麼重要性。

化學中天平的用途 近代的化學是建築在精密的衡量各種互相作用的物質分量;因此,每一個化學實驗室中絕對需要一只精確的天平。第112圖中繪着一種天平的式樣。

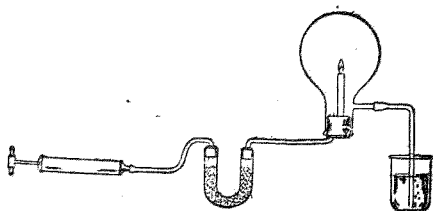


第112圖 化學天平。

天平的兩盤都懸在鋒利的刀口上;如此可以使兩盤重量所拉着的一點永久固定不動,在不用的時候,兩盤都擱在下面的天平板上;如要使用,可以旋轉着前面的捏手以提起中部的金屬柱。這柱頂上裝着一只刀口以平衡着橫樑;因此,金屬柱一經提起,兩盤也被提起,可以自由上下。橫樑的中點有一根很長的指針,下端恰好指在一根刻度的尺上;由指針是否在刻度尺兩側擺着同樣的擺幅來決定兩盤是否平

衡。全部的天平都閉在一隻玻璃框中，在使用時把框門閉着以免外間的空氣流偶然的把那一盤壓得向下或托得向上一些。因為盤和刀口並不相聯，所以在不用時可以把兩盤從刀口上取下，以免刀口的磨損。較好的學校天平可以衡量到一公分百分之一的重量，不過，在許多精確試驗中，有一種專秤20公分重量以內物體的小天平；可以秤到百萬分之一公分的重量。這種正確性完全是能否正確製造刀口的一個問題；就著者的所知，只有一家工廠能做這種真正正確的刀口。假使有一個人製造和較正天平的刀口的能力，比較其他的人們高着一等，他一定能在全世界售他的技術。

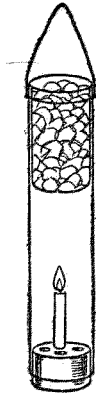
現在我們要講到發生化學變化時重量的變化。假如我們燃着一枝洋燭，表面上看起來，有些部分的洋燭是因為燃燒而消失。假如我們在燃過後再把洋燭衡量着，當然它的重量要比未燃的時候輕得多。這是因為在燃燒時產生着某種物質，同時這物質產生後便隨即逃散。例如，至燃燒時，一定



第113圖 證明洋燭在空氣中燃燒時產生二氧化碳氣體。

有水汽生成；要證明這事實，只要把一只滿貯冷水的圓底燒瓶放在火焰上面；不久瓶底上便有水點發生，這水點的來源，當然是毫無疑義的因為燃燒而來了。其次，燃燒時還產生着二氧化碳。談到二氧化碳氣體，我們在第二編中已經知道這種氣體遇着石灰水時可使澄清的石灰水變濁（檢驗二氧化碳的方法）。如第113圖的裝置，把一枝小洋燭裝在瓶頸上有小玻璃管的小圓底燒瓶內燃燒，燒瓶的口上，用一只插着玻璃管的木塞塞住。瓶頸上的玻璃管接至貯着澄清石灰水的玻璃杯中。我們另用一只足球用的打氣唧筒，以便把外間的空氣壓入燒瓶中供給洋燭的燃燒；在唧筒和燒瓶的中間，另接上一只滿貯苛性鈉的U形玻管，管中苛性鈉的功用，是吸去空氣中所含的二氧化碳氣體；這樣，才可以證明空氣中所含的二氧化碳並沒有流到燒瓶中間。現在，如慢慢的把唧筒打着空氣，我們看見有許多氣泡通入澄清石灰水的燒杯內。不久以後，澄清的石灰水，都變成牛乳樣的混濁。假如燒瓶中的洋燭並不點着，無論怎樣把空氣打進，石灰水依舊的澄清不變。這試驗證明洋燭在空氣中燃燒時，可以產生二氧化碳氣體。又假如我們用一玻璃管直接把口中吹出的氣，吹入石灰水中，石灰水也會變濁；這便是因為我們呼出的氣體中，含有身體內部燃燒所產生的二氧化碳；我們在第二編中，早已談過這種事實了。

假使我們要測驗洋燭在燃燒時是否消失了一些重量，我們得先把燃燒時所產生的二氧化碳和水汽的重量先秤一下，才能解決這問題。要想稱量水汽和二氧化碳的重量，我們得先將這兩種氣體，一產生後，便捕捉起來；捕捉的方法，便是利用適才說過的苛性鈉（化學名稱叫做氫氧化鈉）來吸收它們。下列所述的試驗方法，是普通書上都有的一種方法。將洋燭放入煤油燈罩，罩底裝一有洞之木塞以便引入空氣，如第114圖所示。並以大塊的苛性鈉貯入鐵絲網製



第114圖 捕捉洋燭燃燒時所生二氧化碳的一個方法。

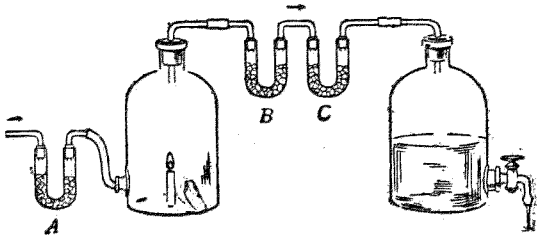
的籃內，裝在燈罩的頂端。在洋燭未燃時，將全部裝置放在天平的盤上，先行稱過。急速將洋燭點着，重行放進。在洋燭燃燒的時候，生出二氧化碳和水，都是成爲氣體狀態上

昇，因此可以全部都被罩頂的苛性鈉所吸收。洋燭燃燒不久，天平臂便徐徐下降，因此，我們必得在放法碼的另一天平盤內，繼續加入砝碼，才可使天平保持平衡狀態。這試驗的結果，告訴我們在燃燒洋燭時，把產物全部吸收起來；燃燒結果的重量，反能增加。

結果重量的增加，是的確的事實；不過，這試驗，還有不十分可靠的地方；便是因為我們早已知道空氣也含有二氧化碳氣體和水汽，也許這重量的增加，是因為苛性鈉吸收空氣中的二氧化碳和水汽所致，而並不是燃燒所成的產物。凡是試驗在進行時候除了你所要測量的效應（在此處便是洋燭的燃燒）以外一切狀態都維持不變的叫做控制試驗。控制試驗能幫助我們測量我們所要知道的情況，並且可得滿意的結果；所以在科學上，占着很重要的地位。例如，你要驗出某一種肥料是否能幫助某一種植物的生長，假使只把這肥料施在植物生長地方，來看這植物的蕃茂情形，可說效驗極少。除非在這植物附種着同樣的植物，使生長在同樣土壤中，得着同樣的日光和水分，所差的不過是一個施着肥料，一個未施肥料；這樣才可以看出肥料的功能。這種未施肥料植物的實驗，便是控制試驗。

燃燒洋燭的試驗中，在上述試驗情況下，我們所不能肯定的，便是這重量的增加，是否真正來自洋燭的燃燒。因此，

我們必須要重行採用一個比較複雜的試驗。如第 115 圖所示，將洋燭放在底部和頂上都接有玻璃管的大瓶中。瓶頂上



第115圖 證明燃燒後所成二氧化碳氣體比所燒去的洋燭較重。

的玻璃管通至兩根裝有苛性鈉的 U 形管 B 及 C；底部的玻璃管，亦通至相同的管 A。如此，依箭頭方向通入瓶中供給洋燭燃燒的空氣，因為經過 A 管的關係，一定不含水蒸氣和二氧化碳；同時，另一端的 C 管也可以證明管外空氣中的二氧化碳和水蒸氣不致流入 B 管。這樣 B 管所增加的重量，一定是因為洋燭燃燒時所生的二氧化碳和水蒸氣。要把空氣從 A 管末端不斷的引進這種裝置，我們可以用一隻下面裝有玻璃塞而頂部接着 C 管末端的大瓶；如將此瓶中注滿冷水，然後把下部玻璃塞開着，水從玻璃塞中小孔流出，另一端自然會有空氣引進了。

在做這試驗的時候，先將未點的洋燭和 B 管在天平上稱過，在稱的時候，B 管兩端的開口，須用木塞塞好，以免裏

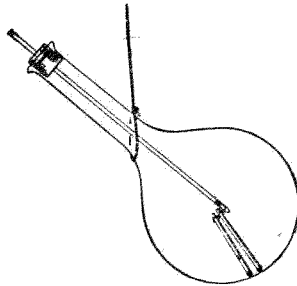
面的苛性鈉從空氣中吸取水蒸氣和二氧化碳。其次把B管接入裝置的儀器，並將洋燭點燃，急速的放入瓶中。同時把另一大瓶的玻璃塞開着，使空氣從左端引進，先被吸去原含的二氧化碳和水蒸氣，然後供給洋燭燃燒，從B、C兩管入於末端的大瓶。待經過若干時間以後，我們很快捷的將洋燭吹熄，並將B管拆下，兩端仍用木塞塞好。現在假如把洋燭和B管再分別的衡量，結果B管增加的重量却遠過於洋燭所減少的分量。我們可以另外做一個控制試驗，即不將洋燭點燃，我們發現B管中的重量，並不增加。

我們知道洋燭在燃燒時，一定需要空氣。燃燒後產物所以增加重量的原因，便是因為洋燭曾吸着空氣中許多氧氣，這事實我們在第二編中已經學習過了。在前面已經談到，水是氫和氧兩種氣體所成；同樣，二氧化碳是碳和氧兩種物質所組成。洋燭的蠟含着氫和碳，空氣中含着氧。所以B管中苛性鈉所增加的重量，並不是單單從洋燭中得來的物料，而是洋燭中所含氫、碳與空氣中氧氣經過化學變化後，組合成一體的兩種物料。鎂在燃燒後能增加重量的試驗在上冊第122圖中已經見過。鎂的試驗，比較容易做成，因為燃燒後所產的氧化鎂是固體而不是氣體，所以沒有什麼困難。

除了我們能測出本試驗中所用的氧氣而外，我們並不能測量着究竟在洋燭燃燒時損失了多少物料。當然，假如我

們在封閉着的瓶中做這試驗，瓶中所含空氣中的氧都在燃燒時和洋燭化合成爲二氧化碳及水汽；不會有另外的氧或多餘的氧從瓶中引入或排出。利用這種方法，便是要使用去的物質全部組成另一種物質，才能求得到真正重量的變化。

把物質放在一只封閉燒瓶中燃燒的最簡單試驗，便是用火柴來試驗。我們取一只很大的燒瓶（只要在所用的天平能放着衡量，燒瓶的容量愈大愈好），口上塞上一隻不漏氣並且插有玻璃棒的本塞。在玻璃棒的一端，用線縛着幾根火柴，恰使火柴頭接觸着燒瓶的玻璃壁，如第116圖所示。



第116圖 在封閉的瓶中燃燒火柴。

把整部物件先行放在天平上稱過。然後我們燒着火柴頭所接觸的瓶壁部分，火柴因熱着火，燃燒不久，便即熄滅。若我們再把燒瓶原封不動的放在天平上稱過，燃燒前後所稱的兩次重量却絲毫沒有變動。看起來，好像火柴的有些部分是已經消滅，其實是因為和關在燒瓶中的空氣所含氧氣發生

了化學變化，並沒有一些物料從瓶中逃出或從瓶外加入。

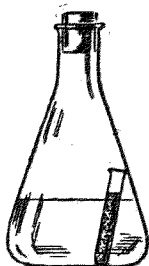
還有一個可以證明同樣事實的試驗，是用磷來代替火柴。把一小塊的磷放在塞好的燒瓶中，放在天平上稱過。在瓶外用火隔着燒瓶燒着瓶內的磷，使磷發生燃燒作用。在燃燒前和燃燒後所稱得瓶的重量並無變動*。

無論什麼物質的燃燒，假使把遺留的灰燼、產生的氣體和用去的氧氣，都計算在內；重量並沒有變更。在燃燒之後，洋燭、火柴或空氣中，都沒有損失一些物質；不過燃燒作用可以把參加燃燒的物質從一種形式變做另一種形式，它們間的重量是依舊相同。

燃燒不過是一種特殊的化學作用；但我們適才所學習在燃燒時並不消耗去一些物質的事實，對於每一個化學作用都是一樣。例如，我們可以用一種化學藥品放在試管內，將管放入含有另一種化學藥品的圓錐燒瓶，將瓶用木塞塞好，放在天平上稱過；如第117圖所示。其次，我們把瓶漸漸傾斜，使試管內和瓶內所含兩種不同的化學藥品互相混合，發生化學作用。假如，等作用完全以後，再把封閉着的燒瓶放在天平上稱過。我們發現兩次所稱的重量是完全相等。

*參閱上冊第119圖磷所做的試驗。磷是很易着火的物質，在取用時要十二分留心。平時要浸沒在水中，取用時不能用手指而只能用鉗。試驗時取用，應先在水中用刀切下一小片，然後再置在吸水紙上吸去水分備用。

例如，我們可以在試管中放一些氯化鐵水溶液，燒瓶中放一些亞鐵氰化鉀水溶液；當這兩種溶液混合着的時候，便可發



第117圖 在封閉的瓶中發生化學作用。

生一種深青色的沈澱。或者，我們把試管中放一些硝酸銀，燒瓶中放着一些鹽酸，在混合後，便會發生很多的白色沈澱。或者，我們在試管中放着一些銅片，在燒瓶中放着一些硝酸，緊緊的把燒瓶塞好後；把試管傾斜使銅片浸入硝酸，燒瓶中立刻便發生一層深紅色的烟霧。在這試驗中，我們要注意的是銅片的分量不可過多（在500c. c. 的燒瓶中，最多不得過四分之一公分重的銅片）；否則發生了過多的紅色烟霧，突然增加瓶內的氣壓，輕則把瓶塞衝去，致烟霧散漫空中，重則竟能把瓶爆碎*。無論是那一類的化學作用，只要我們能禁止外面物質的加入，和瓶內氣體的逃散（或別種

*因為圓底燒瓶較錐形燒瓶堅固，最好用圓底燒瓶。

產物的漏出)，變化以前的重量和變化以後的重量，一定是絲毫不變。

當我們把杯子用電鍍的方法鍍銀的時候，鍍在杯上的銀是從一種含銀的化學藥品的溶液中所析出；不過，銀的重量，却始終是一樣。這事實並不是肉眼告訴我們而是天平告訴我們的，當然不會不正確了。因此，所謂化學作用，只能重新組織某種物質，並不能消滅某種物質。這一個重要的規則是叫做物質不滅定律。在化學中，時常要用到。例如，假使我們要知道把某一固體物質加熱時所發生的蒸氣的重量；依據着這定律，我們便用不到費許多手續把所生的蒸氣收集起來直接稱量，只要稱一稱未經加熱時物質的重量和已經加熱後所餘固體物質的重量；這兩重量所差的重量，便是固體變成蒸氣部分的重量了。假如我們把二氧化碳的氣泡通入能吸收大量二氧化碳的很濃的苛性鉀溶液，我們只要在未通入二氧化碳以前把貯着苛性鉀溶液的器具先稱量一下，等通過二氧化碳氣泡以後，再把這含有苛性鉀溶液的器具再衡量一下，從所稱的結果，便可知道通入的二氧化碳氣泡的重量了。天平所以能在化學實驗中有重要的用途，也就是根據着物質不滅定律呀。在大規模的實驗室中，往往有一間專放天平的天平室；在天平室中的固定桌上，排列着各種很正確的天平。

元素和化合物 在第一編中，我們已經看見假如我們把一塊很光亮的鐵塊放在青色硫酸銅溶液中，鐵塊上便會發現一層附着的銅。因此，硫酸銅中除了含有銅以外，一定還含有其他的物質；實際上，硫酸銅是銅、硫和氧的一種化合物。照這樣說，我們也可以問是不是銅和鐵也是化合物呢：我們能不能從銅或鐵當中再取出一些什麼物質呢，並且去取出一些物質以後，還可以遺留下非銅非鐵的其他物質呢？

這答案是銅和鐵都是簡單的物質，不能分拆成別種化學品的簡單物質。同樣，硫酸銅中所含的氧和硫，也同樣不是從他種物質化合成的簡單物質。這種簡單的物質叫做化學元素或單叫做元素。就現在已經知道的化學元素，差不多有九十種；便是這九十多種化學元素，組織成化學中所有的百萬種不同的物質。這九十多種元素的當中，有三十多種是非常稀少，稀少得即使有許多化學家也沒有看見或用過。

元素中最普通的金屬元素是鋁、鎂、銅、金、鉑、鐵、鉛、鎳、銀、錫、鋅和液體的汞。其他，像鈷、錳、鈮等金屬在製造一種特製鋼時，也非常重要；像鎢，因為它的熔點很高（鎢的熔點為 $3,500^{\circ}\text{C}$ ，鉑的熔點為 $1,710^{\circ}\text{C}$ ，鐵的熔點為 $1,530^{\circ}\text{C}$ ），所以用來製造電泡中的燈絲。鉀和鈉兩種金屬的化合物極多，可是不能單獨存在。它們是很柔軟的灰白色金屬，和

水汽及氧氣的作用很爲猛烈，因爲空氣中含着氧氣和水汽，所以通常是浸沈在火油中。它們是非常柔軟，所以能用刀切；它們的密度是非常小，所以往往浮在水上。鈣又是一種不能常常單獨存在的金屬，可是鈣的化合物却分佈得很廣，如石灰石、骨和牛乳中都含有鈣的化合物。純粹的金屬鈣是白色，和錫差不多硬。

硫、碳、磷都是非金屬：第一二兩種元素是極其普通，至於第三種我們已經說過，在試驗室中可以看見。在前面我們曾經說過的許多氣體之中；氫、氧、氮都是元素；不過，二氧化碳是由元素碳和元素氧所合成的化合物；至於從硝酸和銅的作用發生出來叫做過氧化氮的紅棕色氣體，是由氮和氧兩種氣體所組成。其他的氣體，在後面再爲討論。

有許多人知道氧是自然界中一種最多的氣體元素，也許會覺得十二分的驚異。地殼*中一切物質差不多有一半都含有氧，普通化合物中含有氧的，更是不勝枚舉。我們在第一編中已經知道用重量來比，水當中差不多大半是氧。有許多岩石的成分，可說是一半以上都是氧；岩石中所含除了氧以外的元素叫做矽，矽是一種有一些像金屬又有些像碳的

*這兒地殼的意義是地球的表面層，包含着空氣、水及地面下十英里以內許多固體物質。用重量來說，生物所占的成份很小，因此是否把生物包括在內，却無多大關係。生物不過是地面上很薄的一層。

元素。明淨的砂粒是氧和矽的化合物；在自然界中分佈極廣的火石、花崗石，及和花崗石一類的岩石中，我們發現着也都含着大量的氧和百分之二十至三十的矽。玻璃中含有很多的矽，在其他物質中，含矽的也是很多；所以我們的手是常常執着矽的化合物呀。矽是自然界中次多的元素，差不多占據地殼重量四分之一以上。再其次便是鋁了，在陶土和多種岩石中，都含着很多鋁和氧的化合物。再比鋁少的便是鐵、鈣、鈉、鉀和鎂。這上列所說的八種元素，差不多構成地殼重量的98%，其餘的八十多種元素，總共只相當於地殼重量的2%。

在自然界中，這許多元素，很少能自然單獨存在的，所謂單獨存在，便是未曾合別種物質組成化合物。假使我們除却空氣中的單獨氧氣，這八種重要元素，在自然界中，都是和別種元素化合為化合物*。有某幾種金屬在自然界中，有時偶然成為純粹的單質。隨便誰一定曾經聽說過有人在自然界中發掘着金塊；銅和汞有時候也有單獨的存在。天然的硫可以從火山地段覓到。不過，這些都是無多大價值的例外：實際上，我們在自然界中所遇到的，都是化學化合物，並且，除了由人們用別種方法從礦苗中所取得的金屬以外，便是包圍在我們四周，在家庭或城市中所用的日常事物，可算

*隕石是從別個宇宙飛到地球上的一塊物質，時常是純粹的鐵。

沒有一件不是化學化合物。

我們在第一編中已經說過，怎樣叫做化學化合物，並且講到任何化合物中所含各種元素的比例，無論在何時何地，都是一樣。如很多次分別做成的許多白色無水硫酸銅*中，銅、硫和氧的重量百分數每次都一樣。通常青色硫酸銅是把水加入無水硫酸銅中所成的結晶體，但結晶體中所含的水分，也是相同。假如你把大量的硫酸銅晶體，加入很少的水中，有些立刻便會溶解在水中，可是遺留着沒有溶解的硫酸銅晶體，絕不會在它們本身所含水分以外再多吸上一些水。從水的本身來說，所含氫和氧的重量百分數，也是各處一樣；在二氧化碳中，總是 $\frac{3}{11}$ 重的碳和 $\frac{8}{11}$ 重的氧。例如，含在人們呼吸氣中的二氧化碳，從洋燭燃燒所得的二氧化碳，以及從大理石和酸的作用所成的二氧化碳；雖然來源各有不同（參閱第一編第二章），但都有同樣組成；這就是說，它們不但是同樣含有氧和碳兩種元素，並且碳和氧的重量比例也都是一樣。純粹化學化合物有一定組織的定則，便叫做定比定律。

不過，並不是說兩種物質化合後，只能成爲一種化合物。氫和氧的化合，除了可以成爲水分以外，還可以成爲氫的重量和水一樣多，氧的重量兩倍於水中所含氧的一種物

*參閱第一編第六章。

質。這化合物的性質，沒有一點和水相同；名稱叫做過氧化氫。每立方公分的過氧化氫的重量不是1公分而是1.46公分；如把過氧化氫加入碘化鉀的水溶液中，另外再加入一些澱粉，立刻便會發生一種深青色的顏色；假使用水來代替過氧化氫，那就一些變化也沒有了。過氧化氫的漂白性質，也是非常顯着，能把黑色頭髮變成很美麗的棕黃色，可是，人人會知道水一定是沒有這種作用呀！過氧化氫也是一種殺蟲劑，它能撲殺許多病菌和許多微生物。一切的過氧化氫中的氧的成分是固定的，和水中的氧的成分是一樣固定；不過，兩種物質中氧的重量，我們適才已經說過，也有很簡單的關係。

再有，碳和氧化合之後，可以成爲一種叫做一氧化碳的氣體；在一氧化碳中，用二氧化碳來比，同量的碳却和一半量的氧化合。一氧化碳是一種很毒的氣體，往往在燃燒缺乏氧氣的時候，便會生成這種氣體。二氧化碳完全不能燃燒，一氧化碳却能燃燒，在燃燒時發出淡藍色的火焰*；它這種燃燒作用，便是和氧化合成爲二氧化碳。

在一氧化碳和氧氣化合時候，它決不會多取或少取一點氧氣，它所取氧氣的分量，總是和它原含的氧氣一樣多；

* 時常可以從看夜人所用一種用焦油在桶中燃燒時看到這種淡藍色火焰。這作用是從一氧化碳變成二氧化碳。

因此，它一變成二氧化碳時，裏面所含的氧氣，恰巧是它原含氧氣的一倍。

再舉一個另外的例子，鐵的重要氧化物共有兩種：一種是黑色的氧化亞鐵，一種是含在從自然界採得叫做赤鐵礦礦苗中的紅色三氧化二鐵（參閱第219）頁。在一定量鐵中所含的氧，紅色氧化物比黑色氧化物多出 $1\frac{1}{2}$ 倍；換一句話說，這兩種氧化物中氧和鐵的比例是3與2，又是很簡單的一個數值。

有時候，兩種元素還可以化合成兩種以上的不同化合物；可是，它們的性質，都絕對不同。並且在這些化合物中，某A元素和一定重量的某B元素組合所需的重量間，成爲一種很小的整數比，如1與2，或3與2等。這種關係，便是叫做倍比定律。

對於定比定律和倍比定律這兩條定律，有一個很簡單的說明。每一種元素都是從很微細叫做原子的微粒所構成。這些原子非常的小，所以非但肉眼不能看見，便是用放大率很高的顯微鏡，也是不能看見。至於所以察看不見，還有一個原因，可以用一個譬喻來說明：假如把一粒銅屑放在顯微鏡下觀察，看起來是像一塊很大的大理石，並不像很大一堆的豆；原子好比是豆樣大小，銅屑就有大堆那麼大；每個原子雖然像豆樣大小，並不像豆樣分開；事實上，這譬喻是非

常真確。原子雖然是肉眼不能見的事物，但近代科學日見發達，利用一種在這兒不能詳細說明的特殊試驗的方法，已經把原子的存在，證明得非常清楚，並且知道約把一萬萬的原子排列成一排，恰巧等於一英寸長。各種不同元素的原子，當然大小不等；不過，相差並不太多。這就和我們說各種鳥兒的蛋，大小都不相等，但是用40,000個蛋排列成一條直線，却差不多是等於一英里長一樣。

假如我們能把一根像頭髮粗細的銅絲，放大到能塞滿街道那麼大，做成這銅絲的原子，不過有塵埃微粒樣的大小。這意義是說凡是我們肉眼能看到的一塊物質，裏面一定含着無量數的原子。例如，拿一個氧的氣泡來說，這氣泡的大小，假定是和你在汽水中所見的二氧化碳氣泡差不多大。假如請全世界三十萬萬人民一齊來數着這氣泡中的原子數，假如每分鐘每人能數三百個原子，假如日夜不停的數着，要經過四個足月，才能數得完全。

原子是元素中最小的可能微粒；因此，我們不能有半個原子。凡是同樣元素的原子，大小輕重固然是一樣，化學性也是相同。至於不同元素的原子，輕重大小，和化學性也是各各不同。

現在，讓我們說一說兩種元素互相化合時的情形。例如碳和氧，它們的化合，是由於碳原子和氧原子的結合。有

的時候這些原子是一對一對的結合，便是一個碳原子和一個氧原子結合着。這樣結合所成的一對原子，是一氧化碳最小的一個單位，可以寫着CO來代表着。C是代表一個碳的原子，O是代表一個氧的原子。化合物最小的微粒，便是叫做分子；所以分子便是原子所組成。你可以利用下列的小詩，來幫着你記憶分子和原子間的重要關係：

兩個小原子，各從學校歸，

雙雙擁抱着，成爲一分子。

可是，同時你還得切記，並不是每一種分子都是從兩個原子構成；有許多物質的分子，却是從兩個以上的原子所構成。有些分子，甚而至於是從幾十個原子所組成；大概有機化合物的分子中所含的原子比較多些。

一個碳原子和兩個氧原子的互相聯合，我們便得到一個二氧化碳的分子。二氧化碳可以寫成 CO_2 ；讀做CO二；這便是化學家對於二氧化碳的簡省讀法。至於二氧化碳的分子，便是三個原子所合成的分子了。很清楚的，每一個碳原子決不能和比一個氧原子多一些或比兩個氧原子少一些的氧互相化合，因爲原子是最小的單位，不能任意在一個氧原子上加一些或減一些；所以我們只能用1、2、3或4等小整數來表示分子中的原子數。大理石是一種碳酸鈣，可以寫成 CaCO_3 ，這裏，Ca代表一個鈣原子。於是碳酸鈣分子，便是包

含五個原子的分子，這五個原子中，共計有三種不同的原子，有三個相同的原子。假如把大理石加上強熱，於是 CO_2 放出，而遺留下 CaO （氧化鈣又叫生石灰）。

在兩種不同的鐵的氧化物中（拉丁文字上的鐵字是 Ferrum，所以我們用 Fe 來做鐵的化學符號），有一種是兩個鐵原子和三個氧原子互相聯合， Fe_2O_3 ，還有一種是一個鐵原子和一個氧原子互相聯合， FeO （這裏面的氧和 Fe_2O_3 中的氧和同量的鐵成爲 1 與 $1\frac{1}{2}$ 的比，或 2 與 3 的比）。這事實可以利用來說明爲什麼在這兩種氧化物中氧的比是 3 與 2。

因此，假使我們能記憶着原子怎樣的聯合便可成爲分子，我們所說的兩條重要定律，便容易解說了。在無論多少細微的一塊化合物，我們總想到它裏面包含着幾兆幾兆幾兆的分子；而這幾兆幾兆幾兆的分子的組成，都是根據着這惟一的方法。在每一個分子中，只含着某一元素的很少數的原子；在有許多種的分子中，每種元素的原子，只有一個。在另一種化合物中，也許所含的元素仍舊是這兩種，可是組成分子的這兩種原子的數目，與前不同。

最後，我們應該牢記着不同元素的原子重量，是各不相同。氧原子的重量差不多有氫原子重量的 16 倍。如在水的組成中，是兩個氫原子和一個氧原子化合（化學符號可以寫成 H_2O ），水中氧的重量是氫的重量的 8 倍。在過氧化氫中

(寫成 H_2O_2)，氧的重量是氫的重量的16倍。每一個碳原子比每一個氫原子重12倍；你可從這關係，計算着一氧化碳CO和二氧化碳 CO_2 中碳和氧的比例。這兩種比例，在前面都已經說過，你可以再依照這方法計算一次來檢驗前面所講的有無錯誤。

酸、鹽基和鹽 有一類最重要的化學物質便是酸。我們在前面已經附帶着說到許多的酸類；例如，我們學習過氫的製造是從硫酸和鋅所發生的化學作用；二氧化碳的製備是利用大理石和酸類的化學作用。用這種方法來製備二氧化碳，任何酸類都可以應用；你可以用一套很好的試驗來證明這個事實。依次把少許大理石碎屑放入四根小試管中（或用碳酸鈉代大理石碎屑），再依次把每一根試管中加着稀氫氯酸、稀硫酸、稀硝酸和稀醋酸。每根試管上，利用一根插着玻璃管的小木塞塞着，便可把管內發生的氣體引出。這四根試管內所生成的氣體，都可以使澄清的石灰水變濁，都是比空氣重。要證明這氣體比空氣重，先把這氣體像水一樣使沈到玻璃圓柱筒中（化學家叫做向下集氣法）；並且假使我們立刻把一根燃着的火柴伸入這圓柱筒中，火柴便隨即熄滅。這都是很明顯的證明這種氣體是二氧化碳。

適才所用的四種酸，是化學中最普通而時常遇到的酸類。氫氯酸、硫酸和硝酸都是無機酸；不久我們便會知道它

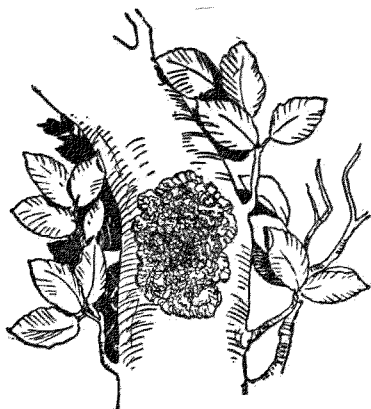
們都可以從地殼中所覓到的物質來製備，所以又叫做礦酸；醋酸又叫乙酸，是一種有機酸。從酒或麥芽所製成的醋中，含着很少的醋酸。酒當然是從葡萄製成，麥芽是從麥製成；所以醋中所含的醋酸的來源無疑的是從植物而來。化學中所用的醋酸並不是從醋所製成，因為用這種方法是很不經濟；所以都是從木料製成。草酸，或叫做乙二酸，或叫做糖酸（因為可從糖及硝酸的作用製成），又是另一種有機酸，工業上是從鋸屑製成。有許多植物中都含有草酸，一切植物，凡有酸模所具有的一種愉快的苦味，便是因為含着草酸的緣故；其他像大黃的葉中，也含有很少的草酸。草酸的性質很毒，任何分量都足以使人中毒；在大戰的時候，有許多人誤把大黃葉當做菠菜吃下，因而中毒。

檸檬所含的一種酸叫做檸檬酸；事實上，檸檬糖漿中便含有6%的檸檬酸。通常結晶體的檸檬粉中，大部分是檸檬酸和糖。由此，你可以看見在有機酸中，有些像草酸便是很毒，有些像醋酸便可以吃着沒有妨礙。

無機酸和有機酸有什麼共同的性質，因而我們都用一個酸字來做它們的普通名稱呢？我們已經知道的一種共同性質，便是當加入大理石的時候，可以發生二氧化碳。更進一層說，它們都含有氫原子。當氫氯酸或硫酸和鋅發生作用的時候，酸中的氫被金屬鋅所代替成爲氫氣泡而發出。可是

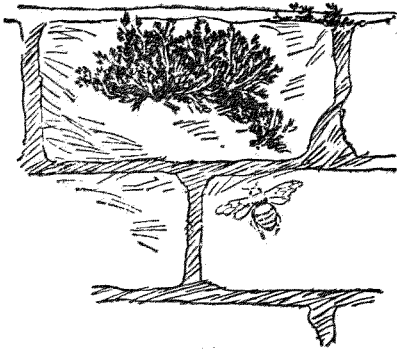
鋅和硝酸作用，看起來好像不同；其實仍然是一樣；這便是因為硝酸中被鋅所代出的氫，在還未曾能成為氫氣泡時，便又被硝酸中的氧所化合，結果成為水；自然不會看見有氫氣泡放出了。

一切的酸類都能把叫做石蕊的一種蔬菜質由藍色變成紅色。石蕊是荷蘭國從一種特殊苔衣所製成的染料。苔衣是一種地衣類的扁平植物，通常都是生長在磚石、多年的木柱、樹幹等和一些相似的地方。它們有各種不同的顏色，在很早的時代便用來做染布的染料。蘇格蘭和愛爾蘭地方家庭自織的粗布，至今還是用苔衣來做染料。供給化學試驗用途的石蕊，通常都製成石蕊試紙。石蕊試紙便是把很厚的一



第118圖 樹幹上的苔衣。

層石蕊塗在未上膠漿的粗紙上所成；顏色有的是紅色有的是藍色。要試驗某一種溶液是否是酸，可以把很小的一滴溶



第119圖 製造石蕊的一種苔衣。

液醱在玻璃棒上然後滴在一條藍色石蕊試紙上，假如滴着部分變成紅色，這液體便是一種酸。假如把酸滴在紅色石蕊試驗上，試紙的顏色仍是紅的，沒有若何的變化。

一切的酸都有很尖銳的“酸”的味覺。假如你要嘗這種味道，你可以把一滴的酸滴在多量的水中，然後把這種弱酸性溶液放一滴在舌上。稀氫氟酸對於某種疾病可以當做藥品。在1668年所出版的書上，便說到把幾滴硫酸滴到水中可以當做兵士和民衆們缺乏啤酒或酒價奇昂時的一種代替飲料。

更進一層，一切的酸都有和鹼類中和而成爲鹽類的重

要性質。要把這事實弄得清楚，我們先得說一說什麼是鹼類和鹽類。

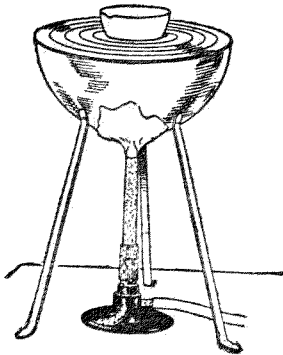
一種標準鹼類叫做苛性鈉，更正確的名稱是氫氧化鈉。商店所購的氫氧化鈉通常都是條狀，觸在手指上有一種滑膩的感覺*。假如把少許氫氧化鈉溶解在水中，這溶液便也有一種滑膩像肥皂的感覺。假如把一滴氫氧化鈉溶液滴在藍色石蕊試紙上，試紙仍然是藍色；但在紅色試紙上滴着一滴鹼溶液，便立刻生成藍色的斑點。所以鹼類把紅石蕊變為藍色，酸類把藍石蕊變成紅色。除了石蕊以外，還有許多物質遇酸時顯示一種顏色，遇鹼時又變成另一種顏色。這些物質的功用是專門在指示某種物質屬於某一種類，所以通常叫做指示劑。還有兩種常用的指示劑，一種是遇酸變桃紅色遇鹼變黃色的甲烷橙 (methyl orange)，另一種是遇酸不變色遇鹼變粉紅色的酚酞試藥 (phenol naphthalein)。一切有滑膩感覺和發生特有變色效應的物質都叫做鹼。

我們已經知道酸類遇到石蕊時變做一種顏色，鹼類遇到它時又變做另一種顏色。假如我們在小瓷皿內放上一些鹼性溶液，如苛性鉀（就是氫氧化鉀），然後慢慢的加入硫酸，用一玻璃棒時時攪動這混合液，並時時把混合液滴在石蕊試紙上。不久你便可以得到這混合液能把藍色試紙徐徐

*條狀的氫氧化鈉的剝蝕性很大，觸手指時要留心。

的變成淡紅的一點。其次，再加入一兩滴苛性鉀溶液，如前再加入適量的硫酸，結果，可以得着一種既不含酸性又不含鹼性的溶液。這種情形便叫做中和，便是說鹼和酸是互相中和了。這是一個很重要的性質。

讓我們把這中和溶液用燈完全蒸發，來察看中和作用的結果究竟是怎樣。做蒸發工作的時候，最好能把蒸發皿放在水鍋上蒸發；如第120圖所示。水鍋中放着水，下面用燈燒着；可以使蒸發皿中的液體，慢慢蒸發。假如不用水鍋，把蒸發皿直接放在火焰上，那便有燒焦的危險，不可不注意。等到蒸發皿中的液體完全被蒸發以後，皿內遺留着許多塊的白色透明晶體。取一粒晶體加以檢驗，結果並沒有酸性。苛



第120圖 一只水鍋，上面的扁平環可以任意增減來適合各種大小的蒸發皿。

性鉀中的鉀* (苛性鉀中除含鉀而外，還含着氫和氧，可以寫作 KOH)是已經代替了硫酸(硫酸可以寫成 H_2SO_4 ，S是代表硫的符號)的氫。同時硫酸中的氫卻和苛性鉀中的氫和氧組成水，在蒸發的時候變成水蒸氣逃散；因此遺留下來的只有硫酸鉀(K_2SO_4)了。這一類的物質，是把某一金屬(有時候不是真正的金屬而是化學性和金屬完全一樣的物质)代替着酸中氫的地位而成，名稱叫做鹽。通常廚房中所用的食鹽便是屬於這一類；因為食鹽可說是把鈉代替着氫氯酸中氫的地位所成。化學中的鹽類，並不是都含着鹼性，並且在這許多鹽類中，也很難找到一種共同的性質。有些鹽類能溶解在水中，有些卻完全不能溶解；有些鹽類有鹹的味覺，有些卻又是甜的。像硫酸鉀，我們可以叫做鉀的硫酸鹽，又可以叫它叫鉀鹽。大量的硫酸鉀是用來做肥料，這可算是硫酸商業用途的一個例子。

鹼類中都包含着的一種鹼金屬(最普通的鹼金屬是鉀和鈉，除此而外，還有許多和鈉、鉀有相似性但不很普通的金屬；不過，在這兒我們可以不必把它們的名字一一的提出，來增加我們的麻煩了)和氫氧組合在一起的物質。因此，苛性鈉或氫氧化鈉，是 NaOH ，氫氧化鉀是 KOH 。別種金屬的

*拉丁文字中的鉀字是 Kalium，所以用K來做鉀的符號。鈉的符號是

Na，來源是因為拉丁字中用 Natron 代表碳酸鈉。

某種化合物，如鈣、鋅等金屬和氧或有時和氫、氧所成的化合物，與酸所生的作用，正和鹼類和酸類所生的作用是一樣，也生成水和鹽類。凡具有這種性質的氧化物或氫氧化物*是叫做鹽基類，因此，鹼類可說是鹽基中特殊的一種了。因此，我們說鹽和鹽基互生作用成爲鹽和水，我們可以寫成



在這兒我們還要附帶說明的，便是通常的氨（溶解在水中的時候叫做銨），雖然並不是金屬，它的作用和鹽基一樣。它和酸類發生作用時，便生成銨鹽。有一個很有趣味關於氨的試驗：假如用少許氨水放在小杯中和另一貯有氫氯酸溶液的小杯並排放着。氨蒸氣便和氫氯酸蒸氣互相作用，成爲白色的雲霧瀰漫在空中，這雲霧便是很小的銨鹽晶體，這銨鹽便是氯化銨或硃砂。假如你偶然誤把酸濺在衣服上，你應該立刻加上一些氨水，因爲氨水可以和酸中和，不致讓酸損壞着你的衣服。苛性鈉雖然也一樣的能中和酸性，可是它本身也有腐蝕性，所以通常都不用它。

直接把酸加入金屬，也可以得到鹽類。例如，硫酸和鋅（Zn）發生作用的時候，鋅便代替着硫酸中氫的地位，而成爲硫酸鋅（ ZnSO_4 ），同時氫成氣泡放出。假如你在製備氫氣時，等鋅全部都溶在硫酸中以後，把遺留的液體放在水

*含O的化合物叫氧化物，含OH的化合物叫氫氧化物。

鍋上蒸發，結果，你可得着很多白色鹽類結晶體，這便是作用所成的硫酸銻了。

二氧化碳在水中的溶液，也有弱酸的性質，它和溶解在水中的鹽基可以發生作用，成爲一種叫做碳酸鹽的鹽。二氧化碳的水溶液是叫碳酸，因此，有一個時期中，人們叫二氧化碳做碳酸氣*。

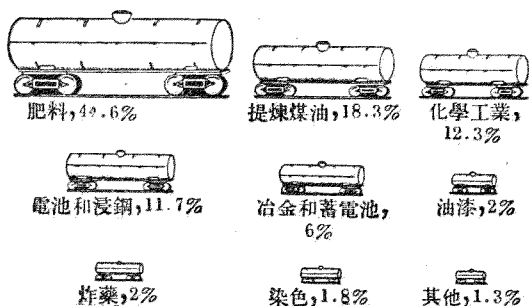
當我們把二氧化碳氣泡通入石灰水的時候（石灰水是鹽基性氧化鈣的溶液，氧化鈣便是通常的生石灰），石灰水所以能變成混濁，便是因爲作用後發生一種叫做碳酸鈣的很小白色微粒懸浮在溶液中，所以很像牛乳。我們在試驗中假使把二氧化碳通入鹽基性的氫氧化鈉水溶液中，便可得到一種叫碳酸鈉的鹽類。

碳酸鹽是極普通的鹽類。埃及的蘇打湖(soda lake)和東非洲沙漠地段的馬加德湖(Lake Magadi)都是出產天然碳酸鈉的地方。通常所謂洗鹼便是碳酸鈉的結晶體。自然界中的碳酸鈣，更是有許許多多的不同形式：白堊是一種，珊瑚是另一種，大理石又是另一種；這些物質中的碳酸鈣，都是成爲晶體。

酸類的製造 製造硫酸，是極其重要的一種工業。硫酸

*這種碳酸，當然和別種酸類略有不同的地方，就是碳酸加入碳酸鹽中，並不能發出二氧化碳氣泡。

在工業上的需要極大，差不多每年每一國家都有幾千萬噸的出品，英國、德國和美國的產量更大（譯者按我國所用的硫酸，一向都是仰給於國外，現在雖然有開成硫酸廠一家，可是產量還極其低微）。差不多這分量一半都是用在製造各種人工肥料，還有很大的分量是用來精煉從地中開掘所



第121圖 硫酸的主要用途。

得的原煤油。硫酸其他的用途是：發生電流、製造炸藥和其他各種工業。要知道硫酸用途分配的約略情況，可以參看第121圖。

硫磺在空氣中燃燒的時候，和空氣中的氧化合成為一種叫二氧化硫（ SO_2 ）的扼喉氣體。除此以外，硫和氧還可以成為一種叫三氧化硫（ SO_3 ）的氣體。三氧化硫中所含的氧較多，用二氧化硫比起來，正好成為3與2的比。這又是倍比定律的一個很好的例子。三氧化硫溶解在水中以後，便

成爲硫酸。在大規模製造硫酸的方法中，二氧化硫的來源並不是把硫燃燒，而是把含硫的一種叫黃鐵礦（硫和鐵的化合物）的物質燃燒所成。至於水和氧的加入是要經過一種很複雜的化學手續，在這兒爲避免麻煩計，可以不必多說了。

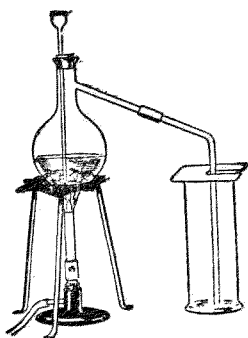
氫氯酸是一種由氫和氯* 所化合而成的氯化氫氣體溶解在水中的溶液。我們在實驗室中，可以用硫酸和通常食鹽的作用來製備氯化氫。食鹽是鈉和氯的一種化合物，化學上叫做氯化鈉。食鹽可以簡單的寫成 NaCl ，Cl 是代表氯的符號，Na 是代表鈉的符號†。製備時先把食鹽放在圓底燒瓶中，然後把硫酸從安全漏斗注入。作用後所生成的氣體比空氣重，所以通常用向下集氣法把氯化氫氣體集取在集氣瓶中，如第122圖所示。含在普通鹽中的鈉代替硫酸中氫的地位，而成爲硫酸鈉。食鹽中的氯和硫酸中的氫化合而放出氯化氫 HCl 氣體。

氯化氫極易溶解在水中，所以不能把氯化氫氣泡直接從發生器內通入水中；假如你這樣做的話，水吸收氯化氫的力量太強了，往往把冷水吸到氯化氫氣體發生器中，以致把燒瓶爆碎。至於要試驗氯化氫有極易溶解於水的性質，可以

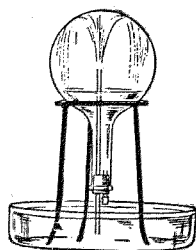
*參閱第215頁。

†參閱第208頁的註。

用下列很明顯又很安全的方法來試驗。先用向下集氣法將燒瓶中盛滿氯化氫氣體，如第122圖所示，然後急速以裝有長玻璃管的木塞把燒瓶塞好。把燒瓶倒置，並將玻璃管的下端浸入水盆中*，如第123圖。燒瓶中的氯化氫氣體立刻



第122圖 製備氯化氫。



第123圖 氫氯酸噴泉。

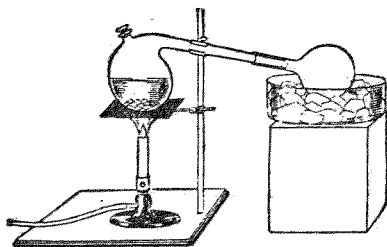
開始溶解，致盆內的水從玻璃管中上升。一等到燒瓶中已有了幾許水點以後，氯化氫溶解的速率隨着增加，不久水上升的速率增加到像一只噴泉一樣快。假如你把水盆中加上一些藍色石蕊溶液，上升的水因為變成酸性，於是你便可得到一隻很美麗的紅色噴泉。

大量的商用氫氯酸(通常叫做鹽酸)是用在製洋鐵罐。

*在插着長玻璃管的木塞上，要再插上一根裝有夾，以便在水中可以開啟。

薄鐵板在接縫或用鋅塗成花洋鐵板時，通常都要在鐵板表面上先用氫氯酸拭過。

硝酸是從硫酸和硝酸鉀或硝酸鈉的作用所成。通常硝酸鈉或硝酸鉀，又可叫做硝石* (saltpeter)。天然的硝酸鉀可從世界上某一地方覓得，天然的硝酸鈉在智利、祕魯和玻利維亞的沙漠地段中很多。爲了避免硝酸容易腐蝕木塞，所以製備硝酸時不用通常的燒瓶而用具有玻璃塞的曲頸甌。作用時所生的硝酸成爲蒸氣，所以要另用一只燒瓶埋在冰水中以使硝酸蒸氣凝成液體，如第 124 圖所示。商業上硝酸的製法亦和此相仿；或可利用電弧的作用把空氣中的氧和氮化合在一起。在低溫度的時候，空氣中的氮和氧並沒有作用發生，可是在電弧的高溫度以下，便化合成二氧化氮 (NO_2)，冷卻後變成棕紅色。把這棕紅色氣體溶解在水

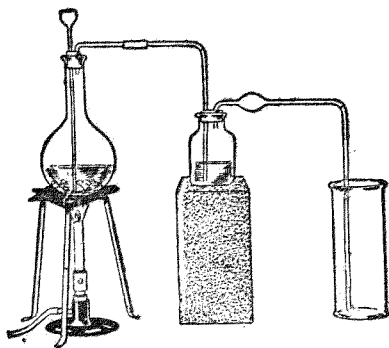


第124圖 製備硝酸。

*硝酸鈉通常叫做智利硝石(Chili Saltpeter)以便和硝酸鉀分別。

中，便變成硝酸（ HNO_3 ）。在挪威國電力的價目很便宜（因為水力很大，發電機都是用水力拖動），所以都是利用這方法從大氣中製造硝酸。大量的硝酸都是用來製造硝酸鈣，硝酸鈣可以當肥料用，所以通常叫做人工糞。從智利的乾燥地段所掘得的硝酸鈉，也有同樣的用途。

在說到氫氯酸和氯化鈉的時候，我們曾提起氯氣。氯氣也是一種很重要的元素。製備氯氣，是利用一種錳和氧化合而成的二氧化錳和濃氫氯酸的作用。把二氧化錳粉末放在燒瓶中，另從長頸漏斗加入濃氫氯酸，瓶下徐徐加熱，便可得氯氣。錳代替氫氯酸中氫的地位，放出的氫氣再和二氧化錳中的氧化合成水，因此一部分的氯變成氣體發出，還有一部份的氯卻與錳化合成氯化錳。儀器的裝置，最好能如第

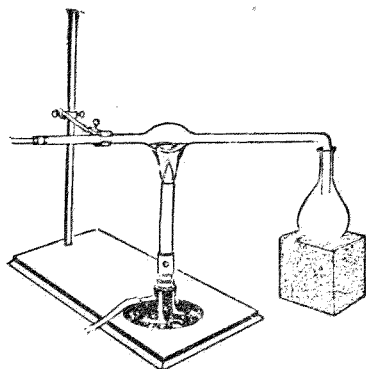


第125圖 製備氯氣。

125圖，先把氯氣引過貯水的洗滌瓶，以除卻氯氣中所含的許多雜質。氯氣比較空氣重，所以通常是用向下集氣法集取。氯是黃綠色的氣體；拉丁文字中的綠字是 Chloros，所以我們叫它做氯氣。

凡是製備氯氣的人，立刻會聞着氯的一種刺激氣味。我們應當留心不要多呼吸氯氣：因為事實上，氯便是德國人在大戰時候使用的第一種毒氣。在1915年德國人便把氯氣壓在鋼製圓筒中帶入戰壕，一等到有順利的風，便把圓筒開着，讓風力把氯吹送到敵人的戰壕。

氯和許多元素有強烈的化合力，成為叫做氯化物的化合物。這些化合物和氫氯酸與各種鹽基中和所成的是一樣。有一個很有趣味的試驗是切一小塊柔軟的金屬鈉放在硬玻



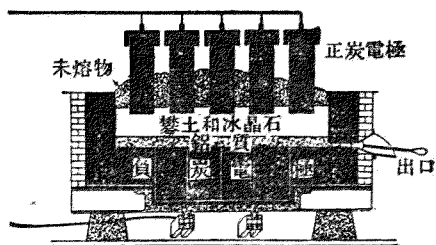
第126圖 把鈉放在氯氣中燃燒。

璃管中*，然後依照第126圖的裝置把氯通過有鈉的管內，如管外再用燈燒着，鈉便立刻着火，並且火焰異常光亮。我們知道這管中除了氯和鈉以外，並沒有第三種物質；所以這試驗告訴我們在沒有氧氣的地方，也會發生燃燒。可是，一等到管內的鈉都燒完以後，在放鈉的地方遺留下一些像食鹽的白色固體。假如嘗一嘗這遺留物，果然是普通的食鹽。我們已經知道，食鹽不過是氯和鈉兩種元素的化合物，並沒有其他的物質。在這試驗中，一方面把這事實證明得很清楚，一方面還告訴我們經化合所成的化合物和組成這化合物的元素的性質絕對不同。假如把鈉放在口中，它便會很猛烈的和口中的水發生作用，產生很高的溫度，並且要把口腔燒傷。至於氯更是容易把你毒死。可是這兩種可怕元素所合成的氯化鈉，却是生活上絕不可少的物質。

純金屬和合金 實用化學中有一個最重要的分支便是討論着把金屬從礦苗中提煉出來的手續。我們已經說過怎樣利用電解作用來從礦石中提煉純鋁的方法。電解是一個科學名辭，便是把電流通到液體中，使液體發生化學變化的方法。我們要提煉的鋁是含在一種叫做鐵鋁氧石的礦石中。首先把這鐵鋁氧石溶解在熔融的冰晶石中（不是熔解

*在前面已經說過鈉要保藏在煤油中，留心不要使它和水接觸；否則便會發火，甚而至於引起很大的爆炸。

在水中)，冰晶石是一種含有鈉和鋁的礦物質。把這混合物放在內層用炭舖着的鐵箱中。箱內的炭接到電流的負極；



第127圖 從一種陶土中利用電製造鋁的方法。

箱中並懸着許多接至電流正極的炭棒。這裝置只要6個伏特的電壓，已經很好。電流的熱效應使礦物質熔解，於是鋁便從鐵鋁氧石中析出而沈在鐵箱的底部。

利用電解方法金屬礦中提煉金屬的方法，隨着電價日賤而增加。用這方法來提煉金屬鋅在美國和奧國已經日見增多；雖然耗費的成本略貴一些，可是也有能直接得着純粹金屬的優點。由電解所得的金屬都是非常純粹，這便是電冶法的最大優點。例如，現在最純粹的銅（叫做電解銅），都是把粗製銅利用電解方法所煉成。我們在前面已經提起的柔軟金屬鈉和鉀，也是利用電解方法從熔融的氫氧化鈉或氫氧化鉀液體中製成。這兩種金屬都是德斐氏(Sir Humphry Davy)在1807年利用電解方法所發明。他把很小粒的

苛性鉀放在接通蓄電池負極的白金片上，另外用一根和電池正極相接的鉑絲與這苛性鉀接觸着。他看見：「在負極鉑片的表面上，發生許多非常光亮的小珠，和水銀珠極其相像；有許多在它們剛生成時便發生很強的爆炸，還有許多固定不動，表面上漸漸生成一層暗膜。」這些小珠，便是金屬鉀，因此一待完成便能和空氣中的水汽發生作用；在這作用中如所發的熱太多，鉀便能發生火焰；假如所發的熱量不多，它和水汽的作用，也較為微弱，同時和水中氫、氧組合，仍舊變成苛性鉀。製造金屬鈉的方法，和此完全相同。

除了別種用途而外，電解對我們眼前所常見的金屬，却沒有多少幫助。但是我們所以先把這種方法提出說明的原因，不過是因為我們在本書的最前面曾經提過。現在讓我們談一談比較重要的金屬吧。談到主要金屬，當然，第一便是鋼和鐵。鐵的需要量是很大，同時價又很低，所以提煉時不得不用最經濟的方法，並且不得不在可能範圍內產生極大的分量。

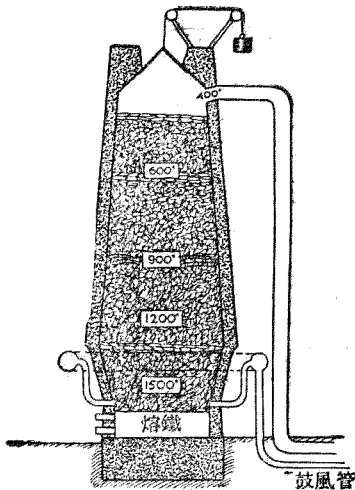
最普通的鐵礦中含着和氧化合的鐵，叫做赤鐵礦的礦苗中含有紅色的三氧化二鐵（ Fe_2O_3 ），這種三氧化二鐵中約含鐵70%。這種鐵化合物在工商業上，是最重要的一種。英國便產這種鐵礦，產地在保羅英扶南（Barrow-in-Furness）的北境。褐鐵礦便是含水的赤鐵礦，顏色是棕黃。

當然，褐鐵礦並不潮濕的赤鐵礦，這兒所謂含水，和硫酸銅結晶體所含的水一樣，是水已和氧化鐵發生化學變化的意義。磁鐵礦又是一種含鐵較多的鐵礦苗，可以寫成 Fe_3O_4 。這礦苗是黑色，我們在第三章已經說過，有時候可以含有磁性，但並不是一定有磁性。這種鐵礦不產生於英國；在斯堪的納維亞 (Scandinavia) 半島，有相當的產量；在美國蘇必忽湖 (Lake Superior) 的附近，常和別種礦苗雜產在一處。米沙必 (Mesabi) 地方每年的產量，差不多超過4千萬萬噸。還有一種普通的鐵礦是鐵的碳酸鹽，可以寫成 FeCO_3 。這礦叫做菱鐵礦，常和陶土混雜在叫做“鐵石”(iron stone)的礦質裏面。

至於我們在前面已經說過的黃鐵礦，並不是普通煉鐵的原料。因為要除却所含的硫黃，是極其困難，同時鐵如含有硫質，便變成非常鬆脆，所以硫是使鐵發生最大阻礙的雜質。

從通常的鐵礦中提煉純鐵，當然最重要的事情，便是除去所含的氧。能做除氧工作的最廉物品是碳，尤其是含在焦煤中的碳。在化學中，凡是從某化合物中除却氧氣是叫做還原作用；因此我們可以說三氧化二鐵在熔礦爐中被還原。第128圖便是熔礦爐的剖面。煉鐵的熔礦爐是用鋼板做成，內壁鋪着火磚。在熔礦爐的底上，有一圈叫做鼓風管的管

子，以便把外間的空氣吹入爐中。頂上用一隻尖頂向上的圓錐體蓋着，如把這圓錐體向下移動，堆在它四周的許多物料便從縫隙漏入爐中。所以我們總是從熔礦爐的頂上，把焦煤、石灰石和已經烘焙過的鐵礦加入爐中。這種石灰石的功用便是能和鐵礦中不含鐵的石質部分相化合，而成爲一種叫做熔渣的無用物質。這種熔渣是和爐內同溫度的液體，並且一直沈到爐的最下部，從叫做熔渣出口的小洞流出。等到這種熔渣在空氣中冷卻以後，便變成一種很粗的玻璃。從前這種粗玻璃是無用的廢物，現在却可以利用來舖路，和製造



第128圖 鍊鐵熔礦爐的剖面。

水泥。靠近熔礦爐的周圍，這種熔渣往往像山樣堆積着；通常叫做熔渣堆。熔渣是代表着礦苗中不為人們所必要的部分，同時做成這熔渣的石灰石，冶金家叫它做熔劑。

鼓進熔礦爐的空氣能使爐下部的碳先變成一氧化碳，這種一氧化碳的氣體在爐燃燒，一面增高爐中的溫度，一面取着三氧化二鐵中的氧，變成二氧化碳氣體。所以在爐中所成最重要部分的化學作用是碳和礦苗中的氧化合而成二氧化碳，這許多混着一氧化碳的二氧化碳氣體（還有空氣中餘留下來的氮）從爐頂逃出。熔融的鐵向下流至爐底，從旁側的小洞漏出。熔融的熔渣浮在熔鐵的上面，所以兩種物質能分別的流出。從爐頂透出的二氧化碳中，含着一氧化碳，在從前的時候，鼓風時常常可以看見爐頂上一氧化碳燃燒的火焰；不過現在已經不讓這些熱量這樣浪費了。把這種熱氣集中起來，以便預先燒熱鼓進爐中的空氣，免得再耗費爐中的熱量把空氣燒熱。

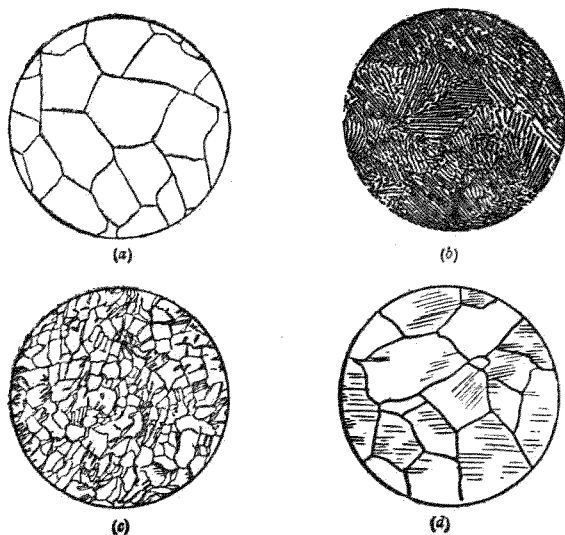
這便製造生鐵的方法。許多別種金屬的礦苗也用相似的方法利用碳來使它們還原。假如礦苗並不是氧化物，可以先經過烘焙使變成氧化物，再依這方法提煉。例如，像鋅礦除了氧化物礦苗外，還有碳酸鋅和硫化鋅兩種礦苗，這幾種礦苗，都可先用烘焙的手續。燒着碳和氧化鋅的混合物使氧化鋅還原時，鋅變成蒸氣透出。和水經蒸餾變成蒸汽再能凝

結一樣，鋅蒸氣也可引出使在特製的器皿中凝結成鋅。銅的碳酸銅礦和氧化銅礦的冶金方法和煉鋅的方法完全相似，不同的一點，便是銅不能蒸餾而和碳同遺留在爐中。鉛可以從含硫的方鉛礦中提煉，要經過兩步烘焙的手續；結果，使空氣中的氧和硫化合生成二氧化碳（ SO_2 ），將金屬鉛遺下。主要的錫礦為錫石，錫石是錫和氧化合物二氧化錫。提煉的方法，也是用碳使還原。由上列所說，這種用碳使金屬礦還原的簡單的方法，在冶金學上是多麼的重要呵。

讓我們回轉去再講生鐵。通常並不用這種生鐵而是用熟鐵和鋼鐵。熟鐵中含很少的雜質，能用錘打成任何形狀，所以又叫軟鐵；不像生鐵那麼脆弱，一經重錘打擊便容易破裂。像鐵火爐和機器的鐵底板一類物件，都是用生鐵鑄成，所以生鐵又叫做鑄鐵。熟鐵比較堅固，所以常用來做鐵鍊或別種物件上的鐵片鐵釘等零件。從前軟鐵的用途很廣，不過現在差不多已多用鋼鐵來代替。熟鐵的製造方法，是把生鐵放在爐中強熱，使生鐵中的雜質都和氧化合成為另一種熔渣浮在爐頂，然後再行除去。現在我們應得說一說關於鋼鐵的事情了。在這兒我們要說的便是鋼鐵究竟是什麼和它的製法。

普通的鋼鐵是鐵和很少的碳化合在一處。含在鋼鐵中的炭質，並不像生鐵中是很小粒的炭塊，並且調和不勻；是

和鐵有充分的聯合,分配得也非常均勻。至於鋼鐵和生鐵的實際分別,因為這故事太長,在這兒我們還不能講說。各種合金的構造,尤其是鋼鐵,都是非常複雜。研究這種構造有一個比較簡單的方法是先將金屬表面拂拭乾淨,加上很少量的酸,便能使不同結構的各部受着不同的影響;然後再用



第129圖 金屬的顯微鏡照片。(a)鉛,×70; (b)生鐵,×500;
(c)錳鋼合金,×25; (d)把高溫錳鋼合金突淬水中所得高硬度錳鋼合金,×25(“×100”是放大100倍的意思)。

顯微鏡觀察*。用這種方法觀察以後，簡單的金屬中一定含有許多結合在一處的金屬結晶體。如第129圖a便是金屬表面放大70倍的圖。至於合金，因為當中所含金屬的不同，和製造時方法的不同，所以有種種不同的外觀。鋼鐵的結構種數，更是特別多；但科學家從他們所謂顯微圖形或顯微鏡照片察看，可以出很多種數的鋼鐵和它們的特殊用途。藉這種圖形的參考，人們對於鋼鐵得着不少的進步。第129圖便是幾種金屬的顯微鏡照片。特別足以引起我們注意的，便是經過淬燬後錳鋼合金的構造。所謂淬燬，便是把金屬先熱至高溫度突然淬入冷水使金屬質地特別增加硬度的方法。還有許多除鐵外含着別種金屬的特製鋼，待將來再為詳細談說。

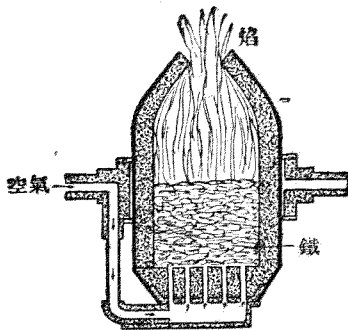
從熔礦爐所得的鑄（生）鐵，約含3或4%的碳。許多近代的鋼鐵，便是除去這些碳的一部分所成。要除去鐵中一部分的碳有兩種方法：一種是倍塞麥（Bessemer）所發明的倍塞麥法，一種是西門子和馬丁（Siemens and Martin）所發明的敞灶法。

在倍塞麥法中，鑄鐵中的碳和別種雜質是利用吹入熔鐵的空氣把它們除去，然後再加入鋼鐵所需要的碳分量。第130圖是一個倍塞麥迴轉爐的剖面圖，從這圖中，你可以看

*除了上述方法以外，還有許多考察合金及金屬結構的方法。最近的是利用X射線。

見何處是空氣的入口。當工作進行的時候，化合成的一氧化碳氣體在爐口燒成很大的藍色火焰，如第131圖所示。其次，把迴轉爐傾斜着倒去上面的熔渣，遺留的便是含着加入錳和碳的鐵。這便是通常所謂鏡鐵*了。最後，把迴轉爐加倍迴轉着，把爐中的液體鋼完全倒下。

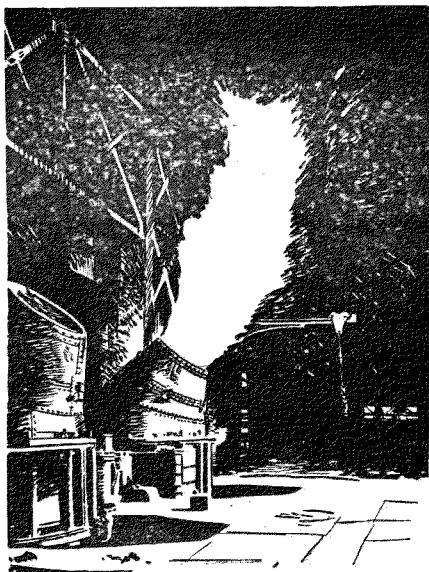
在敞灶法中，把熔礦爐中熔融的鑄鐵直接傾入很大的平爐或敞灶中，使維持液體狀態。用一種含有一氧化碳而叫做發生氣的廉價燃燒氣體來供給這爐的溫度。把熔鐵中加上一些赤鐵礦，使赤鐵礦中所含的氧燃燒去生鐵中一部分的碳；於是遺留下含碳較少的鋼鐵。在這方法中，加入的赤鐵礦的分量，要從生鐵中需要除去的碳的分量來決定。敞



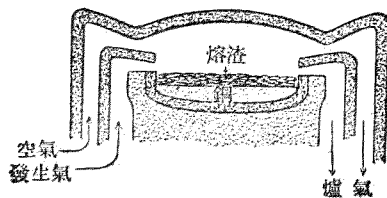
第130圖 倍塞麥迴轉爐的剖面。

*鏡鐵是從德文 Spiegel eisen 所來，因為 Spiegel 是鏡的意思。Eisen 是鐵的意思。

灶法大約要經過十小時，作用才會完全；倍塞麥法只需要七分鐘便足够了；不過敞灶法每次所製成的鋼鐵分量，卻比倍



第131圖 鼓入空氣時的倍塞麥迴轉爐。



第132圖 製鋼的敞灶爐。

塞麥法所能製的來得多些。準標鋼鐵中，約應含碳1%。

所有一切的特製鋼，是由加入各種金屬所成。錳、鉻、鈦、鎢、鉬、鈳和鎳都是常常用來製特種鋼的金屬的名稱。例如，用來做大餐刀，能遇着檸檬漿而能不銹不生斑的一種鉻鋼，便是鐵中含有12%的鉻和很少的碳的特種鋼。鎳鋼是非常堅固，所以常常用來做戰艦外層甲板。用來切金屬的特種工具鋼是把鎢、鉻和別種金屬加入鐵中所成。這種工具鋼即使在紅熱溫度的時候，仍舊可以用來切金屬；假如是普通的鋼鐵，在這樣高溫度，早已失却刀口的鋒芒了。在第129圖所示顯微鏡照片中的錳鋼，極能忍受摩擦，而不致消損，所以它的用途便是用來做像街車軌道一類事物的接合點，以便抵抗高摩擦和撞擊。同時，也可以用來製造戰時需用的鋼盔和鋼甲。除此而外，還有十數種有特殊功用的特種鋼。例如近代的火車機車，是用各種都有特殊功用的三十二種特種鋼，和十二種黃銅和青銅合金所製成。

鋼鐵是近代文化中最重要的一種合金，所以我們可以
把現代叫做鋼鐵時代。現代世界上每年鋼的產額有八千萬噸之多，而在倍塞麥法未發明以前（倍塞麥法在1856年方才開始用來製鋼），每年只產四百五十萬噸的鑄鐵，差不多一些鋼也沒有。還有許多從別種金屬所製成的合金，也是極為重要。例如黃銅是銅和鋅所製成，青銅是銅、錫和別種

金屬所製成。英國用以製造辨士的青銅含銅95%、錫4%、鋅1%。有一種極堅固而又輕的合金，對於飛機的製造是非常重要的；名稱叫做堅鋁；是鋁94%、銅4%、錳1%和鎂1%的合金。假使用重量和重量來比（不是體積和體積的比），堅鋁比鋼鐵還要堅固得多。

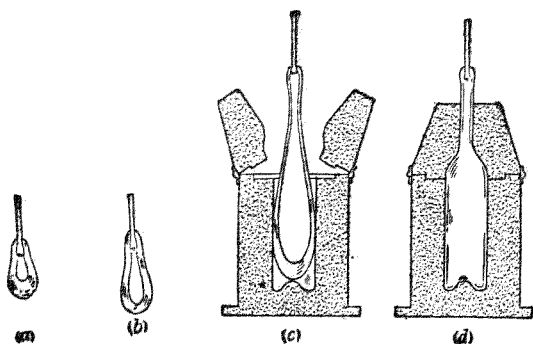
有一種極有趣味的合金，是銻50%、鉛25%、錫 $12\frac{1}{2}$ %和鎳 $12\frac{1}{2}$ %所製成；名稱叫伍德合金(Wood's metal)。最特殊的一個性質便是在70°C.便要熔解，這熔點比水的沸點還要低得多。假如用這種合金所製成的茶匙，誤被你放到熱水當中，立刻便能熔化。這種合金的外表極像白銀，而且做成的茶匙也和通常銀質茶匙沒有什麼分別；可是一進熱水，立刻熔化，用這茶匙放在茶杯中攪動的客人，豈不是因為這種情形要大吃一驚嗎！這種易於熔化的合金，還有一種很重要的功用，便是製造自動噴水器的易熔栓塞，這種栓塞在遇有火災的時候，會自動的發生作用。把含水或含別種滅火劑的滅火器上製上一根管子，管端再接上用這種易熔合金所製成的栓塞；在火災發生的時候，室內溫度一升至70°C.，這合金栓塞立刻熔化，滅火器中的水或其他滅火劑便隨着噴出。

因為我們能自由增加或減少一些合金中所含金屬的成分，換一句話說，便是成分可以隨意變更，所以通常的合金

並不是化學化合物。同時，我們除了用化學方法以外，也不能把合金中的金屬互相分拆，所以合金也不是混合物。又當我們把任何分量的糖溶在定量的水中時，不論糖的多少，總是成爲糖的水溶液；所以，有很多合金的組織，也好像兩種金屬的互相溶解，成爲某兩種金屬的固體溶液。還有許多合金，含有無數成分不同的結晶微粒，看起來和溶液又不同了。總之，我們在前面已經說過，合金的結構非常複雜，是我們很難的題材，因此，在這兒也不能多說；不過，你應該知道研究合金是一種非常有趣的事情。自從近來用科學方法檢查合金的結構以後，人們已經不能希望把某幾種金屬任意投入一只含有熔融金屬的器具中，來得着一種很理想的合金了。

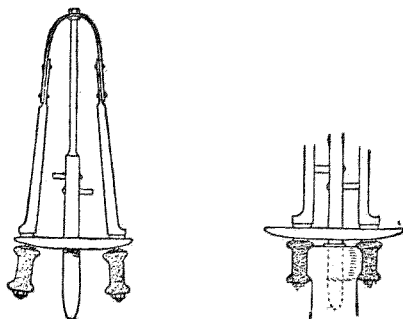
玻璃也是一種可以把某兩種物質用任意的分量溶解在一處所得的一種物質。玻璃的結構是非常複雜；不過，無論如何我們總可以說它不像糖和食鹽這一類物質，可以叫做化學化合物。普通玻璃是把砂、燒鹼（碳酸鈉）和石灰石溶解在一起所成。玻璃決不像金屬和合金等有固定的凝結溫度。假如你把一根玻璃管放在火焰上加熱，它會慢慢的一步一步變軟，和牛油受熱變軟的情形一樣；當它變軟的時間內，使你不能明白說出：「它是一個固體或已經是變成液體。」在某種溫度時，它是堅固的固體，假使溫度稍高，它會變

成像糖一樣的東西，假如用強熱燒着，它最後能像水樣的流動液體。玻璃廠中能吹玻璃，應當感謝它有這一種特性。在手工玻璃工作中，吹玻璃的工人用一根長鐵管，一端浸入熔融的玻璃中，取出後便可開始吹着。當他得到一個圓玻璃球時，玻璃還是很軟；這時候，他便可以利用各種工具，隨心所欲，把玻璃做成各種不同的形狀。假如要通常賤價的玻璃瓶，也可以利用一種模形；便是把吹在鐵管一端的軟圓玻璃球放入模形當中，繼續吹着，使這玻璃恰好和模形適稱。第133圖把製造玻璃瓶時怎樣利用模形的步驟形容得極其清楚，讀者可以參閱。要模成瓶頸，需用第134圖所繪的特殊工具。先將工具當中鈍端的棒狀物伸入瓶口，次將兩側可

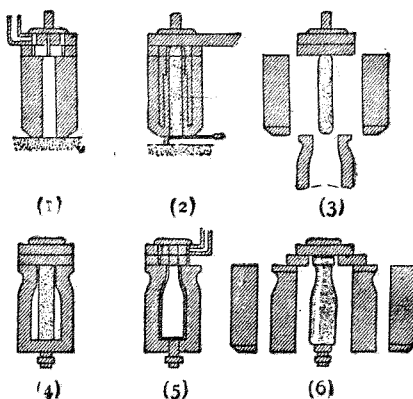


第133圖 吹玻璃瓶。先把一堆熔融玻璃吹成(a)和(b)中空玻璃球。次把玻璃球放入模形中，如(c)所示，更將模形關閉。最後再將玻璃球吹着，使適稱於模形的形狀為止，如(d)所示。

以旋轉的兩根軸狀物夾緊瓶口的外面，然後用小輪使旋轉。



第134圖 做瓶頸的方法。

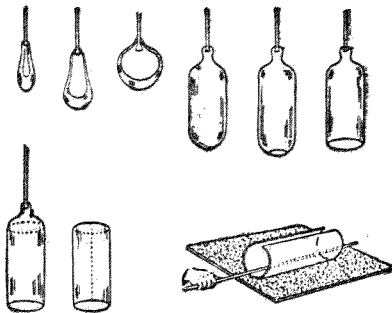


第135圖 製玻璃瓶的機器。(1)先將空模形放到熔融的玻璃表面上；(2)吸進像棒狀的一塊玻璃，次將模形撤去，另換一只瓶狀的模形如(3)和(4)所繪。(5)吹着使玻璃和模形成同樣的形狀。(6)最後移去模形。

便可得到所希望的形狀了。在這許多經過的時間，玻璃都是像生麵團樣的柔軟狀態。

近代製造玻璃瓶，都已改用機器，不過，製造的原理，還是一樣。第一步從貯着熔融玻璃的大器具中取出一定量熔融玻璃。其次，將取出的玻璃短柱放入模形吹着，使短柱中間變空，同時全體成爲模形的形狀，如第135圖所示。這好幾步手續，都是利用自動的機器完成。這種機器用六個人來管理，每小時可以製瓶1,200只，比手工法是快得多了。

和鋼鐵有一打不同種類一樣，供特殊用途的特種玻璃，也有一打之多。窗玻璃、瓶玻璃和製造實驗中玻璃管的玻璃，種類都不相同。至於用來做像望遠鏡一類化學儀器的玻璃，是屬於另一組的特殊玻璃。還有能耐高溫度的特種玻璃



第136圖 製造平面玻璃的一種方法。先用管吹成玻璃泡，把兩端切去，成玻璃筒；再從當中部開置熱板上壓平，便是玻璃片了。

和着色玻璃。有一種最著名的玻璃是熔解石英或水晶的晶體所成。熔解石英要很高的溫度，所以這種玻璃的價值很昂。這種玻璃的特殊性質是能耐突然的溫度變化；它可以在燒得溫度極高時突然放入冷水，而並不破裂；所以在化學實驗室中，有很重要的用途。通常玻璃突然受熱時，如突將沸水點濺在玻璃上，就要發生破裂，原因是玻璃外層受到高溫的部分發生膨脹作用，同時內部沒有受到溫度的部分當然仍希望維持原有的形態。這兩種應力的掙扎，結果使玻璃破裂。石英玻璃，具有受熱後並不膨脹的特殊性質，所以當玻璃一面溫度很高一面溫度很低的時候，並不會發生使玻璃破裂的應力。

第六章 有機化學：烴*類和醣†類

有機化合物的特點——碳和它的性質——石油和石蠟系——醣：糖、澱粉和纖維素

有機化合物的特點 我們曾經說過有機化學所研究的是關於由生物所產生的事物。這句話雖然不能統括整部的有機化學；可是，確可以當做有機化學的一個極好的引端。在一百餘年以前，人們便相信世界上有一種從生物所產生和金屬、岩石及地下開掘所得的鹽類等一類礦物質有完全不同性質的物質存在。在那時候，人們對於從生物所產出來像尿素、靛青、糖等一類物質，所以不能在實驗室中用化學方法來把它們製成，便是因為它的製成一定要有一種所謂生活力。可是，現在對於這些物質，已經發現着可以從無機物原料把它製成的方法，而這些無機的礦物質，我們相信它並不具有一種像生物所有的生活力。雖然人們身體上還有許多物質還沒有全部能利用人工製造，可是，我們相信，並不是我們不能製造這些物質，還是因為我們的文化沒有達到能從無機物製造這些物質的程度。假如你看見一塊很美麗精巧的中國象牙雕刻，你一定不會想到他們所以能做這

*Hydrocarbons, 又叫碳氫化物。

†Carbohydrates, 又叫碳水化物。

種精巧的工作，是因為他們具有什麼與人不同的天賦。同時，雖然你沒有這種能力來做一只一樣精巧美麗的象牙雕刻，可是，你對於你自己或你的朋友，¹¹⁷為什麼耗費了許多時間，和用了許多堅忍不拔的精神，而結果不能成功，當然說不出有什麼理由。同樣的情形，雖然我們在實驗室中，不能製造由生命所產生的全部千萬種物質；可是，已經有一部分物質，只要經過較繁難的手續，便可以製成；因此，我們對於有機物的製造，的確已具有相當的成功；並且我們可以驕傲的說，從前一定要靠着生活着的動植物才能够製造的事物，我們已經能把絕對不生活的物料放在燒瓶或試管中來製造成功了。

但是事實上要做像糖一類的有機物，比製造像食鹽一類的無機物，有什麼絕對不同的地方呢？第一，有機物中都含有碳，通常每一個有機物的分子中，都含有很多的碳。例如，蔗糖中便含有十二個碳的原子。其次，實際上一切有機物都含有氫。有些有機物，只含着這兩種元素，還有許多是多含着一些氧，或氮，或氧和氮。還有些有機物中含着無機類的金屬，不過却不能單獨成爲一個獨立的系統；像肥皂中含着鉀或鈉*，便是這種化合物的例子。

*我們已經學習了許多化學的知識，現在對於肥皂表面上沒有金屬物的

顯示，當然毋庸訝異。

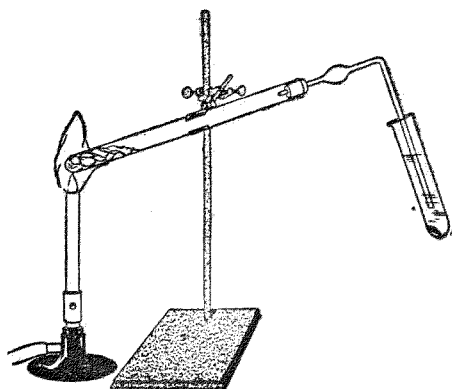
因為有機化合物中，總離不了碳的存在，所以有些人們說有機化學是碳化合物的化學。但是，像一氧化碳、二氧化碳和二硫化碳幾種化合物中都含有碳，却都分類在無機物中；所以這句話並不能算完全正確，不過我們從這句話，可以得到有機化學的大概觀念罷了。

現在，讓我們來看怎樣可以證明有機化合物中是都含有碳。假定我們取一些糖，從這糖的雪白、晶亮和甘甜的性質看起來，裏面決不會含有百分之四十的黑色而又沒有味道的碳。而事實上，碳的重量的確占百分之四十，其餘是兩原子氫和一原子氧合成的許多水。讓我們把糖放在試管中加熱。等一些時間之後，這糖完全融解；假如我們在這時候便停止着燃燒，讓它慢慢的冷卻，我們便可得到一種叫做大麥糖* 的黃色物質（其實這種糖和大麥毫無關係）。假如，我們把這糖繼續加熱（最好，將已冷卻過的一塊糖棄去，另換蔗糖繼續燃燒），我們便發現試管壁上凝結了許多從糖中所生蒸汽的水點；同時糖的顏色也漸漸變成棕黃。這種蒸汽是代表着化合成水狀態的氫和氧，管中遺留着的黃棕色物質叫做焦糖。假如再把焦糖加上強熱，結果成為黑色的碳。

*這種糖所以叫做大麥糖的原因，是因為我們通常用大麥所製的糖來製成的（大麥糖是透明而不結晶的糖）。

還有一個證明糖中含有碳的方法，是把糖中加上濃硫酸*，糖便慢慢變成黑色物質；這是因為硫酸吸收了糖中所含的氫和氧，而遺留下單質的碳。這是一個極簡單而又極顯明的試驗。

檢查有機物中含有碳質的最好試驗方法，是吹入可以供給充分燃燒的氧，而檢驗着是否有二氧化碳氣體的生成。供給氧氣的最便利方法，是用三倍重量的乾燥氧化銅混合着。氧化銅是銅和氧所化合成的化合物，裏面含着一原子的銅與一原子的氧，通常又叫做黑色氧化銅。把黑色氧化銅和有機物質混合着加熱的時候，氧化銅放出一部分的氧而成爲含氧較少的另一種氧化銅；便是含着二原子的銅和一原



第137圖 碳的試驗。

*假如我們用攪着一半水的酸慢慢加入，可以得到較圓滿的結果。

子氧的氧化亞銅。不過，有時候這黑色氧化銅能放出全部的氧而成爲金屬銅。其次，我們把這混合物，如紙或棉毛布和黑色氧化銅，放在硬質試管中（普通試管是由所謂軟玻璃製成，在做這試驗時很易熔解），管上塞有插着彎玻璃管的木塞，彎玻璃管的另一端通入貯有石灰水的試管；如第137圖的裝置。假如把這試管加上強熱，我們看見有許多氣泡通入石灰水，不久以後，石灰水變成混濁，便是顯示着二氧化碳的存在。假如所燒的物質是像苛性鈉或食鹽等一類不含碳的物質，當然不會有二氧化碳的生成，石灰水也不會變濁。

我們已經說過所有的有機化合物中都含有碳質。有機物中所含碳原子，有一種特殊的化學性質；便是它們一個個的互相聯着，有時候成爲一條長鏈，有時候成爲一個六角的環。我們從來沒有發現過別種元素的原子能像碳這樣的聯合；我們從來沒有發現某化合物中含有一長鏈或者一閉鏈的鈉原子、鐵原子或硫原子。我們用車的世界來做一個譬喻，如二輪車、汽車、獨輪車、火車、農人用車等許多種類的車中，只有一種火車是聯成一根長線。所以在原子的世界中碳原子和別種原子的特殊分別，便在它們能聯成直線的這一個特點。從這種結果，我們知道有機化合物中所含的原子數一定很多，不像無機化合物的分子中只含有七、八個原

子，或比較常見的無機化合物，有時候不過含着三、四個原子。我們已經知道，每一個食鹽的分子中，只含有一個氯原子和一個鈉原子；而每一個蔗糖的分子中，却含有十二個碳原子、二十二個氫原子和十一個氧原子。這許多碳原子是聯成一條脊髓骨，上面掛着這許多氫和氧的原子。

碳和它的性質 碳是一種每一個人都知道的物質，天然的碳有許多種的形式。烟灰便是碳，是一種柔軟的黑色物質，隨便什麼人都知道它可從烟囪上收集起來。通常放在火中能燃燒的煤和木料，也含有碳質；在燃燒的時候，所含的碳大部分都和氧化合成爲二氧化碳，遺留下來被燒着的碳，我們在第二章中已經說過*，成爲煤烟，從烟囪飛出便叫做烟灰。木炭又是另一種形式的碳，它是木材在沒有充分氧氣供給地方被強熱所燒而成爲一種不着火的燃燒狀態時所成的產物。你可以把木片裝在硬質試管中用本生燈強熱，以製造木炭。在強熱至相當程度的時候，發出某幾種氣體和蒸氣，遺留在試管中的黑色物質便是木炭。古代製造木炭的方法，是把許多木料堆成大木料堆，中間空着一條出氣洞；然後點着火使木料燃燒。爲避免木料燃燒過度，變成灰燼，於是把四週和上面都用泥土封蓋成一個木炭窯。這便是許多神怪小說中常見的燒木炭人的工作。現在英國還有許多地

*參閱上冊第一編第32頁。

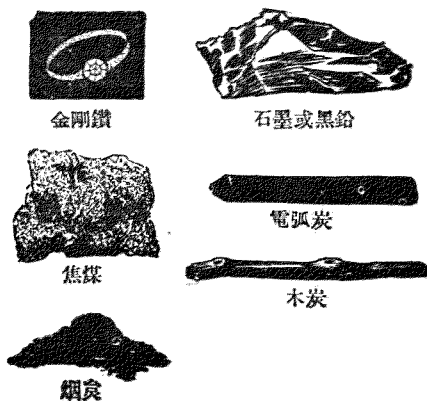
方的人，尤其是甘得 (Kent) 和秀類 (Surrey) 地方的人，還靠着這種製造木炭的方法爲職業；可是製造木炭的近代方法通常是把木料放在叫做鐵甌的封閉鐵器中加熱。這是因爲在木料燃燒時發生的氣體和蒸氣中，含着許多木醋（醋酸）、木精（木醇）、酮和焦油等許多有用物質，假使都讓它逃散，很是可惜，所以要利用封閉的鐵甌，以便把它們收集起來。像法國和許多木材產量豐富的國家，木炭的用途，仍然非常廣大。木炭是製造火藥的三種原料中的一種，其餘的兩種一種是硫，一種是硝石*。把煤蒸餾着以製造燃料煤氣†的時候，鐵甌中往往可以得着比木炭較硬重的另一種形式的碳。還有一種形式的碳是從煤油燈上收集的烟炱，叫做燈煤。燈煤可以製造印刷用的印墨；所以通常把原油燒成大量燈煤，以供印刷的用途。最後，焦煤也是一種形式的碳。

所有許多形式的碳，看起來差不多都很像烟炱；有些是柔軟而粗鬆，有些是較重而較硬；可是，都同是一種深黑色的物質。惟一的區別，不過是結合的鬆緊罷了。不過，還有幾種性質完全不同的碳質。石墨是一種黑色發光的物質，觸到手指上非常的滑膩。它是一種很容易互相滑過的一種薄片或結晶體所構成。純粹的石墨完全是碳，可以用來製造鉛筆

*硝石便是硝酸鉀。火藥的成份爲15份炭、75份硝石和10份的硫。

†參閱第七章煤氣製法。

鉛，因而得着石墨的名稱（因為英文中 Graphite 的來源是從希臘字 Graphein 而來，而 Graphein 的意義便是寫的意思。通常鉛筆的鉛字的來源是這樣：鉛筆是1566年時所發明，在那時候，人們誤把石墨當做鉛，所以通叫鉛筆。塗火爐的黑鉛也是從石墨造成，和鉛毫無關係）。石墨有時候可以



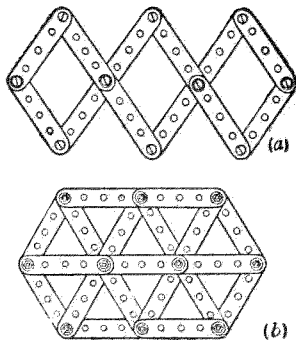
第138圖 碳的各種形式。

用來代替滑潤油做機器上的滑料。鉛筆鉛並不是純粹石墨所製成，裏面還混合許多陶土。賤價的鉛筆，往往含着很多陶土，並且陶土的質地，也不很好。

最後，我們還有一種令人聽着要發生驚詫的碳，便是價值連城的金剛鑽。金剛鑽也是一樣的碳，不過是由某種方法所成的結晶碳。假如把金剛鑽放在氧氣中加強熱燃燒，它也

會燃燒而成爲二氧化碳，並且也一點沒有什麼遺留；因此我們證明金剛鑽也是純粹的碳質所構成。這是一個比較多費用的試驗，也許你沒有這種幸運來試驗。還有一個證明金剛鑽是純粹碳質所構成的事實是這樣：現在有許多人造的金剛鑽和天然產生的完全一樣，製造的方法，便是把碳放在高壓下結晶而成，這也可算是很有力量的證明了。從這種方法所造成的金剛鑽是很小的結晶，而實驗的費用倒是很大，所以實際上是得不償失。

你對於這種說話，一定會發生很大的疑惑，並且你一定要問着假如金剛鑽、石墨和炭都是碳所組成，並且一些不含其他的物質，爲什麼看起來是完全不同的事物呢？我們說它們都是碳的意義，是表示它們都是由碳的原子所構成，並不



第139圖 用同樣質料的薄片所組成不同的結構。

含其他的雜質，而且碳的原子都是一樣大小。假定你有許多同樣大小、同樣質料所製成的竹片條；你可以把它們結構成可以收緊或拉長像第139圖a所繪的事物；同時，你也可以把它們結構成像第139圖b所示的固定不動的形狀。像(a)種結構，是非常的不堅固，假如用手從兩端向中部推着，便會縮在一堆；至於(b)種結構，便非常牢固，無論你怎樣推拉，一定是固定不動。現在，讓我們想一想碳原子結構的情形吧。我們可以把它們當做無秩序的結合在一堆，成為很粗鬆的木炭或烟炱。在另一方面想，它們也可以結合成一種叫做結晶體的固定結構。結晶體結構中，我們還可以分做兩種：一種是柔滑的叫做石墨，另一種是堅硬的叫做金剛鑽。至於碳原子結構所成的模形，並不是像第139圖所繪那樣；第139圖所繪的形式，不過是用來說明碳原子可以有各種結合的一種譬喻。金剛鑽或石墨中碳原子結構的情形，是還要複雜得多呢。在這兒，我們要牢記的事情是只要知道有一種原子可以構成好幾種形式不同樣的物質，至於結構的情形，我們却不很明瞭。

同樣原子能成各種形式的物質，並不是只有碳一種。例如硫又是一個例子。通常出售的硫，是條形硫、塊形硫和硫花三種形式。假如把少許的硫花溶解在刺激性很大而又有惡臭的二硫化碳的液體中，然後再把這溶液放在蒸發皿中

蒸發（二硫化碳在普通溫度時蒸發很快，用不到用火加熱，例如誤把它加熱，會引起可怕的燃燒），便會看見斜方形很美麗的硫黃結晶體。復次，假如把硫花放在試管中先熱至熔解，再強熱至沸騰，然後把這液體硫倒入冷水中，便可以變成像粘土或生麵團樣可以捏成各種形狀的一種物體。這種形式的硫叫做膠體硫，膠體硫在空氣中經過相當時間以後，仍然變做通常的硫。

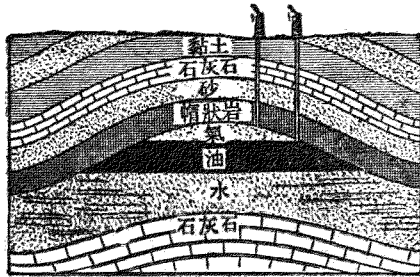
因此，每一個元素的各種性質，並不是完全隨着它的物質來決定，並且也要看它是怎樣的結構。現在，我們還是回復到碳的問題，並且知道有許多碳化合物中的碳原子是重要的角色。

石油和石蠟系 有一類很簡單而又很重要的有機化合物，裏面只含有碳和氫並沒有氧的存在。這一類的化合物叫做烴或碳氫化物。最重要的烴類便是石蠟系中的許多物質。從這名稱，我們便知道這系中各化合物的普遍性質；因為石蠟系的英文名稱是 Paraffins，是從拉丁字Parum 和 Affinis 所演化，這兩個字含有“不能聯合”的意思；因此，即使把它們和別種化學用品相混，也不會很快的發生化合的作用。石蠟系的物質都不能溶解在水中；即使和金屬發生很猛烈作用像硫酸或硝酸等，普通酸類與石蠟系的各物質也不會發生作用；至於鹼類，那更不必說了。

在英國文字中，說到石蠟大家便會想到是油舖子裏面發售的一種燈油（在英文中 Paraffin 可以當煤油解）。事實上這種點燈的煤油是化學家所謂石蠟系幾種物質的一種混合物。每一個人都知道煤油是不能溶解在水中；同時，假使我們把少許的煤油和酸或鹼同時放在小試管中，的確也看不見什麼變化。人們身體所分泌的一種消化液是一種化合物，也和煤油不發生任何作用；可是却和許多植物油，像橄欖油一類的油能發生變化。石蠟系中的油類，沒有一種可以用來製造人們或畜類的食品。並且連微菌都不能把它們當做食品，所以放着永遠不會腐壞。

石蠟系天然的來源是叫做石油的礦物油。石油礦分佈在世界各處的地層中，尤其是美國、俄國近裏海的地方，維來露拉(Venezuela)、墨西哥和波斯的產量最多。石油的成因是由於幾千萬年以前的動物和植物。像許多有歷史以前的蜥蜴和遠古的濕原植物埋在地下的屍體，也許是石油成因的一種；不過近來大家都相信大半是由於像第一編中曾經談過的雙原子植物和許多微細海草一類的海中生命所變成。我們一定要記着在遠古以前很廣闊的海洋現在已經變成我們的大陸。總之，無論如何，我們說石油總是由於遠古以前的生物所化成，是可以毫無疑義的。在世界各處，凡是地層的情況適合於貯藏石油的才可以覓到石油礦。在那些地方，

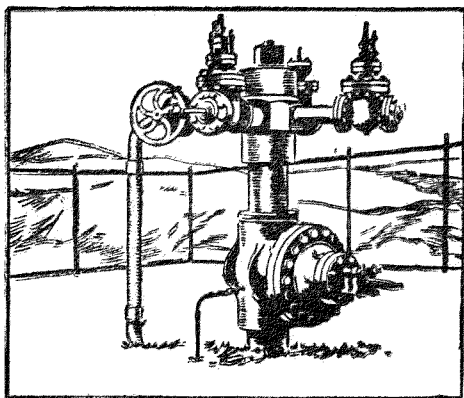
一定也和海邊上有很濕的砂可以保持海水的滲漏一樣，也要有許多的多孔岩石或砂來阻着石油的滲漏。有些地方，油是浮在岩石空隙中的水面上如第140圖所示；不過，還有一



第140圖 油田中地層的剖面。油是藏在兩種石層間的空隙中，上面是蒸氣，下面是水。

些地方的油，便是貯在岩石中。在油層上面有一層像蓋的岩石蓋着，集着許多不能逃散的蒸氣。因為油層上面蓋着這一層蒸氣的緣故，所以石油層所受的壓力是非常的大；因此，假如把地土中和岩石蓋上鑿着的空洞一達到這油層的時候，這油層中的油，就好像街道上的水管破裂時水便射出一樣的從地下射着。因為油層比水管中的壓力實際上大得多，所以射出的力量，也極其偉大。這地洞中通常都安置着一根粗鐵管，在鐵管的上端裝着一個龍頭，以便開閉，免得石油的耗費。這種開關的龍頭，很像一只巨大無比

的水龍頭，如第141圖所示。這是俄國油田中所用的一種最近代的式樣。

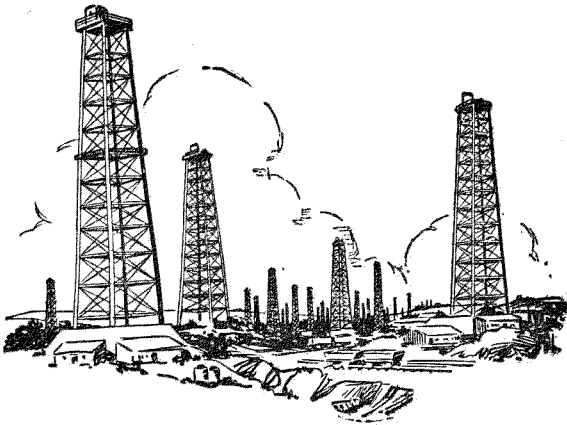


第141圖 石油井口。



第142圖 穿石油井用的穿孔器具。圖正中立着一人正檢驗着重鋼鑽，用鐵練舉至極高度後任其落下。

最簡單的一種鑿地洞方法，如第142圖所示。圖正中立着的人正在檢驗着鋼製極重的所謂鑽，是利用鐵練舉至極高度時任其墜下；如此，可以把地層上鑽成洞穴，使油噴出。還有一種方法也是用鑽來鑽孔。通常所穿的孔，差不多有一英里半的驚人深度。利用天然壓力把煤油射出的油井叫做自流油井；等到油井中天然壓力減少，自己不能流出的時候，可以再另用特種方法把油向外吸取。美國加利福尼亞省 (California) 地下的大油池上，建着許多叫做油塔的鋼骨建築(第143圖)，以便做鑽孔的工作。



第143圖 油田。

從地中剛吸取着的石油，是像黑色糖漿樣很厚的液體，顏色有時是綠棕色，有時是黑色。從這種原油，利用蒸餾方

法來分析，可以得到很多的不同產物。將要蒸餾的原油放在極大的鋼製器中和第一編中所述水蒸餾法相同。利用水蒸氣加熱，再把上昇的蒸氣冷凝收集。惟一不同的一點，便是在原油中混合着叫做純石蠟系的各種有機化合物；而這許多化合物的沸點都各不相同。分離這許多不同的產物，便是完全利用沸點不同的這種性質。主要產物是汽車油（美國叫做汽油）；焦油腦（可以做溶媒）；可以做洗滌溶媒的石油精*；通常用來燃燈的火油，或石蠟油；輕油；重油等。這許多油類的次序是依着沸點的次序排着，起首的沸點最低，最後的沸點最高。在分離的時候，這些產物都變成氣體蒸發，遺留在鐵甌中的差不多只有原油的三分之一。餘留的高沸點油，可以當做輪船或工廠中的燃料。

上面所述的，便是把石油分離為各種用途的產物的方法。通常沸點愈低的油類流動性便愈大。汽油較燈油易於流動，燈油比柴油又易於流動，柴油有時候和糖漿一樣厚。低沸點的許多油當然非常容易蒸發；這些蒸氣假使和空氣混着，很容易着火爆炸。這就是何以靠近汽油的地方要禁止點火的原因。天然煤氣的收集，總是在油田的附近（第140圖）。這種天然煤氣在古代多不知道利用，可是，現在世界各處，都已利用氣管導着來做加熱功作。在美國必斯堡（Pitts-

* 注意勿誤當做叫做苯的重要有機化合物。

burg) 地方,天然煤氣是用來做大煉鐵廠中的燃料。世界每年所產的天然煤氣差不多有一萬萬萬立方英尺以上(大半都在美國),這產量比用煤製成的煤氣,差不多已有四倍。

有一種成薄片的岩石,有的像石板石一樣軟,有的像炭一樣黑,叫做頁岩。許多頁岩中很富有石油,可以從氣味嗅得。它們是石蠟的天然產物。頁岩在蘇格蘭及其他地方都出產很多。很多量的石蠟,都是把這種岩石蒸餾所成。石蠟是用來做洋燭和電的絕緣紙。裝售冰結漣等物的紙杯和紙匣,都會浸過熔着的石蠟,使能不滲漏液體。

現在,我們要討論一下化學家所謂石蠟的真義了,石蠟是純粹的化合物,並不是許多純粹化合物的混合液體。最簡單的石蠟是一種氣體,並不是液體。這種簡單氣體叫做甲烷;或更普通一些,因為池沼或陰溝中常常會發生這種氣體,所以叫做沼氣。著名化學家道爾頓(Dalton)氏曾從小溝中收集過一廣口玻璃瓶的沼氣。他把廣口瓶倒埋在水中,另用一根竹竿攪動池底的污泥,有些上昇的氣泡便可昇入瓶中,取至別處。在曼徹斯特(Manchester)的市政廳,現在還掛着一張他集取沼氣的寫真(因為曼徹斯特地方是道爾頓氏生長和讀書的地方)。

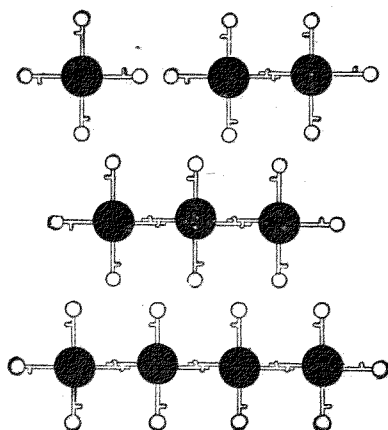
很不幸的,甲烷不但是產生在石油聚集的地方和池沼陰溝裏,並且在煤礦中也產生得很多。煤礦中時常發生的爆

炸慘禍，都是因為這種氣體，所以煤礦工人叫它做坑氣。這種氣體在點燃的時候，雖然是非常安全，可是，假若和空氣相混，遇火便會發生很猛烈的爆炸；也和通常的燈用煤氣一樣的性質。例如，10% 甲烷與90% 空氣的混合氣是非常危險，偶然點着這種混合氣，在過去常常使煤礦穴中蒙到可怕的危險。近代的安全燈，在第二編第四章中曾經說過，已經使煤礦中減少却坑氣所發生的危險了。約克州 (Yorkshire) 地方的大煤礦中每二十四小時可以產生 700,000 立方英尺的甲烷，不過這分量的甲烷是和更大分量的空氣混着，使它既不能產生危險，也不能當做燃料。最屬危險的，便是礦穴中突然有這種氣體沖出。最後，世界各處的天然煤氣中，也含着不少的甲烷。

甲烷是很易燃燒並沒有光亮火焰的氣體（甲烷的火焰是透明的淡藍色）。通常家庭中用做烹煮或燃燈的煤氣中約含25至35%的甲烷。甲烷的分子包含一個碳原子和四個氫原子。我們可以理想着每一個碳原子像一個黑色球，球的四週插着四根尖端有一小環的鐵絲，在這小環上可以再縛着別個碳原子的小環；如此可聯成一根許多碳原子的長鏈。當然真正的碳原子決不會生成這種樣子；這不過是一種使我們容易明瞭碳原子化學作用的一種理想模形。假如在某一個碳原子模形的四根鐵絲尖端上，都裝上一只代表氫的

白色小球，便成爲一個很好的甲烷模形。

最簡單的石蠟便是 CH_4 ，如第 144 圖左上角所示。代表次簡單石蠟的圖，可以把甲烷上再加一個碳原子和兩個氫原子。在我們的模形上，可以把兩個氫原子裝在碳原子相對的兩根鐵絲上。其次便是把這碳原子裝上甲烷，第一步手續是把甲烷上先取下一個氫原子，讓出一根鐵絲來把新碳



第144圖 四個最簡單石蠟的模形。

原子接上。這時候新碳原子還有一根鐵絲是空着，我們可以把適才從甲烷碳原子上取下的氫原子補上。這樣我們便得一個如第144圖右上角所示，性質和甲烷相似的乙烷(C_2H_6)分子。你從圖上可以看見每一碳原子有一根鐵絲互相接着，

其他的鐵絲上都裝着氫原子。

其他的石蠟可以依次把乙烷上加上一個碳原子和兩個氫原子(CH_2)而成。從我們的模形中,我們加上 CH_2 ,便成爲第144圖中間所繪的 C_3H_8 ,叫做丙烷。四碳的石蠟繪在第144圖的下部,可以寫成 C_4H_{10} ,叫做丁烷。這並不是石蠟系中最末的一個化合物,因爲我們已經知道的石蠟分子,有複雜到像 $\text{C}_{62}\text{H}_{126}$ 的。要覓出石蠟系產物所有氫原子數,我們只要把碳原子的數目倍起來,再加上兩端的兩個氫原子便得了。例如8碳原子的石蠟,叫做辛烷,是 $\text{C}_8\text{H}_{2 \times 8 + 2} = \text{C}_8\text{H}_{18}$ 。

首四個石蠟是氣體*。其次的一個戊烷(C_5H_{12})是容易沸騰的液體。其次的石蠟,沸點隨着碳原子的增加而增加,直至十六烷,是一種極其容易熔解的固體。自十六烷以後,便都是固體石蠟,熔點也是隨着碳原子增加。

從蒸餾石油所得的各種不同產物,每種都是由相隣的幾個我們適才敘述的純粹石蠟混合所成。因此普通汽油便是由6碳、7碳和8碳的 C_6H_{14} 、 C_7H_{16} 、 C_8H_{18} 叫做己烷、庚烷、辛烷混合而成;普通固體石蠟便是從十八烷 $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ 到四十三烷 $\text{C}_{43}\text{H}_{88}$ 的混合物。

糖:糖、澱粉和纖維素 有一類很重要的有機化合物叫

*這是說在普通溫度的時候,當然受冷可變成液體。

做醣，又可叫做碳水化物。它們和許多別種有機化合物一樣，含有碳、氫、氧三種元素。可是，它們所以叫做碳水化物的原因，是因為它們所含的氫和氧正好是兩個氫原子相當於一個氧原子，成爲水的比。因此，普通蔗糖的分子可以寫成 $C_{12}H_{22}O_{11}$ ；恰巧是22個氫原子和11個氧原子，或2:1。葡萄糖的分子可寫成 $C_6H_{12}O_6$ ，氫和氧的比又是2:1。像通常酒精便不屬於碳水化物的一類，因為酒精(C_2H_5OH)中含六個氫原子只有一個氧原子；芝蘭質*是有芝蘭特殊香味的物質，分子可以寫成 $C_8H_8O_3$ 。由此，很明顯的你不能單獨說醣是含有碳、氫、氧的化合物，並且不能誤把醣類當做只包含碳氫兩種元素的碳氫化物或烴。

最著名的一種醣類便是普通的糖，化學叫做蔗糖。這種糖是從甘蔗汁，或從甜蘿蔔汁所製成。從味覺和嗅覺檢驗這兩種來源的蔗糖，只要都是經過精密的提煉，一些沒有什麼分別。這事實正和我們從兩種鐵礦中所鍊成的純鐵，不能有絲毫的區別是一樣。

甘蔗的外層，和竹一樣，有一層很堅厚的皮包着；中部是許多管狀物，便在這管中貯藏着很多甜漿。要榨出這裏面

*近代用化學方法製造，當香水冰一類物質用的芝蘭質，是天然芝蘭精（熱帶地方一種籐本植物所提出的香料）的代替品。這也是化學家從無生物能製造生物所產生的特殊產物的一個很好的例子。

的甜漿，可以把甘蔗放入有凹槽或有刀口的滾軸裏面磨碎。把甘蔗汁收集起來經過淨煉的手續再放入鍋子裏面蒸發；等水分都被蒸發，遺留下來的便是固體的糖。

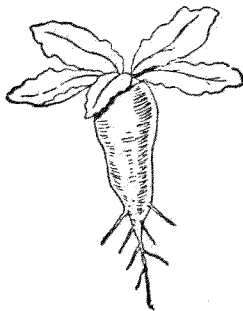
假如把甘蔗汁放在開着蓋的鍋中沸煮。溫度略高，糖質



第145圖 甘蔗。

便會受着損害。我們在第二編中已經說過，假如把液體上面的氣壓降得很低，因為蒸氣易於逃散，它的沸點便也會隨着降低。蒸發這種含有13%種質的糖漿，我們需要用一種真空鍋。真空鍋是很大並封閉着的鐵鍋，鍋頂上裝着一根可以抽去空氣和水蒸氣的鐵管，通出去的水蒸氣，可以用通常冷凝法把它凝結成水。蒸發鍋中的壓力，差不多減少至七分之一個大氣壓力，如此，可以使糖漿在 55°C .時沸騰，糖質在鍋內結成晶體。這樣製得的糖，帶着一點棕黃的顏色，通常可以用木炭或其他物品來除却黃色以得白色的結晶糖。

甜蘿蔔和通常紅蘿蔔的形狀、大小都差不多，不過裏外都是白色。在1747年才發現這種根內含有糖質，雖然最初時所含糖質只有6%，可是，經過慎密的栽培和種子的選擇，現時生產的甜蘿蔔所含糖質已可以超過16%；有一種特殊的



第146圖 甜蘿蔔。

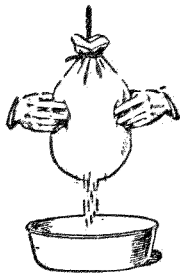
變種竟含到20%的糖。從甜蘿蔔製糖的時候，先把蘿蔔切成薄片，然後浸在水中，由水吸收糖質。把這溶液經過過濾和提淨手續以後，也和從甘蔗製糖的方法一樣，放在真空鍋內結晶。在歐洲大陸和北美洲，大部分的糖都是從這方法製成，英國製糖，也有用這方法的。至於世界產糖的各地，如南非洲、英屬西印度羣島、奎蘭(Queensland)、爪哇(Java)、夏威夷(Hawaii)，都是從甘蔗製糖。

有些和蔗糖化學組成略有不同的糖類，可以從別種原料製造。葡萄糖是含在成熟果品中的一種糖，可是也能從價值較賤的澱粉中製造。這種糖沒有蔗糖那麼甜，但比較容易被身體吸收，所以通常用在煮調，當做補品。乳糖是可以從牛乳製成的一種糖。麥芽糖是由麥芽製成，我們在敘述發酵作用的時候，再詳細的說到。

各種糖的化學成分都很相似；例如，麥芽糖和乳糖，都含有一樣多少的碳、氫、氧原子；不過分子的構造略有不同。這種分子中所含原子及原子數完全相同而結構不同的現象，在有機化合物分子中，時常遇到，並不是可以奇怪的事情。譬如，假使我們把三種顏色不同的許多小木塊分給幾個小孩，每小孩所得每種顏色和小木塊的總數都是一樣。幾個小孩却能各組成互不相同的事物；可是，我們並不覺得驚奇呀。

澱粉有很多的種類，是一種極其重要的碳水化合物。每一個澱粉的分子是很多個 $C_6H_{10}O_5$ 原子組所組成。可是，每一個澱粉分子究竟有多少組的 $C_6H_{10}O_5$ 原子組，化學家到現在還沒有覓到。因此，澱粉的分子也許是 $(C_6H_{10}O_5)_3$ 或 $(C_6H_{10}O_5)_5$ *。各種綠色植物都含有澱粉（在第二編中，已經詳細的敘述過），不過，像馬鈴薯等一類塊根†，耶路撒冷 冷薊類 (Jerusalem artichokes)，像米麥等各種五穀，都含有很豐富的澱粉。用來漿衣服的漿粉是米的澱粉；用來製造涼粉一類甜糕的澱粉是玉蜀黍的澱粉。麵包、小麥、米和馬鈴薯中所含的澱粉量，是食品中重要的部分。

澱粉的製造是非常容易，只要把含澱粉的植物先行磨

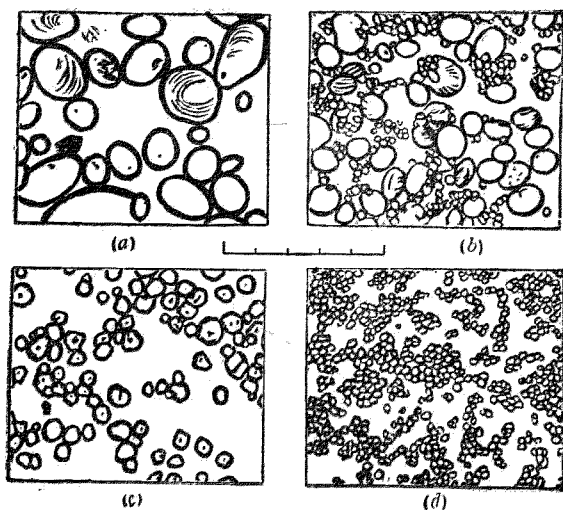


第147圖 從麵粉取澱粉。

*這正和你看見一個分子構造模形，你只知道這模形是由許多原子小組組成，可是你不知道究竟怎樣組法一樣。

†像馬鈴薯等在地下多肉的根，叫做塊根。

碎(便是把澱粉粒細胞膜磨碎),用水調和,經過過濾以除去較大的固體粒,澱粉便慢慢從濾液中沈積在器具的底下。普通麵粉已經有過磨碎手續,要從麵粉取得澱粉,只要把麵粉加水,用麻袋捏過(代表過濾作用),濾下像牛乳樣的液體放在淺盆中,便可得着沈積的澱粉。遺留在麻袋中黏質物便是粉麩。麩中含有一種蛋白質,這種蛋白質,在第二編中已經說過,是組成身體的一種物質。把馬鈴薯切成小片浸在水中,也可以得到一種像牛乳樣的液體,把這液體經過沈積,也可以得到澱粉。



第148圖 從(a)馬鈴薯、(b)燕麥、(c)玉蜀黍、(d)米中所得澱粉粒。圖中央的比例尺表示一英寸的千分之五。

假如把澱粉放在顯微鏡下觀察，它含有許多小粒。這許多小澱粉粒，如第 148 圖所示，都各和製造這種澱粉的物質相似。像馬鈴薯的澱粉粒，便極像馬鈴薯的形狀。

利用一種發酵作用，可以把澱粉變做糖質，經過情形，在下節中再為說明。假如把澱粉放在水中沸煮，它吸取和水中氫氧成比例的氫和氧，便成爲一種糖汁。從這種糖汁，可以製造上述葡萄糖和蔗糖的結晶體。事實上，用來做糖果醬的葡萄糖，便是由澱粉製成。把隨便那一種澱粉（如燕麥、米、馬鈴薯等物質中所取得的澱粉）加氫氯酸在高壓下沸煮，一樣的這些物質中的澱粉吸取着氫和氧變成糖質。

我們已經知道植物怎樣產生澱粉和糖；水果中包含着多量的糖；根、葉、塊根、穀粒多包含着澱粉。可是，除此而外，還有第三種的重要碳水化物，便是通常所謂纖維素。纖維素是各種樹木植物組織中的主要部分，所以它是所有有機物質中最普通的一種。吸墨水紙差不多是純粹的纖維素，棉花也是纖維素。它是一種從碳、氫、氧組成的很複雜的化合物。它所含的碳、氫、氧三種原子的原子數，和澱粉恰巧成爲比例，惟一的分別，便是組織的方法不同。纖維素的分子是和澱粉分子一樣，由幾組的 $C_6H_{10}O_5$ 原子組所構成，可是原子的結構方法，完全不同罷了。纖維素也許有幾種不同的種類，不過一直到現在，化學家還沒有正確地知道這種分子

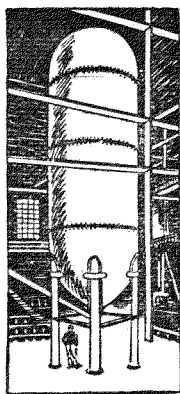
的結構方法。

從下面所說的簡單性質，可以利用着分別糖、澱粉和纖維素。糖能溶解在冷水或熱水中；澱粉與水煮沸，可以微微的溶解，可是不溶解在冷水中（我們在前面已經知道，澱粉在冷水中會沈積下來；即使我們再把它攪動，它仍然會重複沈澱）；纖維素無論在冷熱水中都不能溶解。纖維素這種不溶解的性質，對於人們可說是有很大的益處；假使它也會溶解，豈不是吸墨水紙碰到熱溶液，或衣服浸在熱水中，便立刻都會消滅不見嗎？能溶解羊毛的沸騰苛性鈉稀溶液，也不能溶解纖維素。因此假如把羊毛和棉紗的混合織品放在稀苛性鈉溶液中沸騰，羊毛溶去而棉紗依然存在。這是一個很有用的試驗：假如你把買來的羊毛棉紗混合織品放在稀苛性鈉溶液中沸騰，結果是依然不變，你便會知道這織品沒有多少羊毛。

植物的細胞膜是纖維素所製成，所以我們可以從各種植物、草或木質中製取纖維素。很多量極重要的物質，如紙、人造絲和一些炸藥都是由纖維素製成。

紙是從植物纖維素所製成：普通紙從木料製成，較好的紙從棉織破布製成，最好的紙從麻布碎片製成。還有許多植物質，如西班牙蒲草，也可以製紙；即使稻草，也可以用來做黃棕色的包裹紙。麻和棉差不多是純粹的纖維素；把破布洗

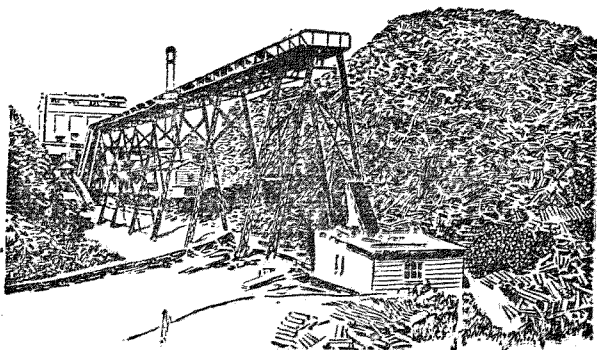
滌後可以做成含有一根根纖維素的紙漿。假如用木質造紙，必須先把木料中叫做木纖維的一種堅硬物質除去；木纖維是一種很像纖維素的有機化合物。這方法是先把木料鋸成小片，與一種可以除去木料中雜質的化學藥品一同放在大蒸鍋內沸煮。通用的化學藥品是酸性亞硫酸鈣，通用的蒸鍋差不多每次能煮30噸的木片。煮成後含着木纖維素的溶液可以棄去，所餘的紙漿，便是在工業上叫做亞硫酸紙漿。極大量的木材都是用在製造這種紙漿，第149圖所繪的蒸鍋每



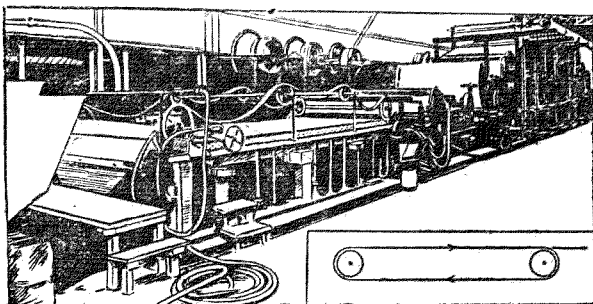
第149圖 製新聞紙時用來煮沸木片和酸性亞硫酸鈣的大蒸鍋。

年可出紙漿4千萬噸。北美洲的大森林都是用來做這種用途，因此，假使人們不趕快的造林，世界上的木料，一定會到缺乏的一天。

無論是從破布或木料所造成的紙漿，裏面都含着很多的濕纖維。用機器壓緊成一片，便成爲紙了。機器壓紙，可以分做幾個步驟；第一，先把紙漿送到在兩只水平轉軸上轉動



第150圖 預備製紙漿的木料堆。這圖同時表示着造紙所耗去的木料分量。



第151圖 造紙機器。右下角所給的圖是顯示着循環的布帶的工作情形。帶上的物質是在從左側移到右側的小擱板上。

不停而面上向一定方向前進的金屬布帶上，在這裏，紙漿可以滲去水分漸見凝集。其次把這厚紙漿通過轉軸成爲較厚的紙，最後再經壓榨，便成乾紙片了。轉軸的作用和把布蒸乾的軋布機中的轉軸一樣。由這樣造成的紙是非常輕鬆和吸水紙及濾紙的形狀差不多。各種寫字的紙和印刷的紙還要經過上膠的手續；這就是把某種物質加在紙面上，使不能多吸墨水；上膠手續，通常都是在紙片通入轉軸以前便要施行。最後把紙再從熱轉軸當中壓過，使紙面光亮平滑。這一部手續叫做紙的研光。你們通常寫字的紙是塗過膠而又壓

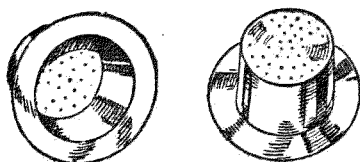


第152圖 放大150倍的寫字紙。上面的纖維是顯示得非常清楚。

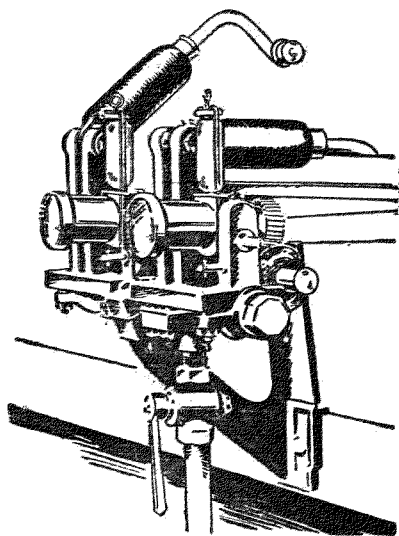
成薄片的纖維素結合。假使把很強的光線射在紙片上，並用一隻顯微鏡來視察，你便可以看見紙面正好和第152圖的形狀一樣。

人造絲是用特殊的方法處理纖維素使成一種極平滑、

明淨、濃厚的溶液。製人造絲的主要方法至少可說有四種之多，不過都很複雜，在這兒不能細說。這種很濃厚的液體是從小孔中壓向熱空氣中或溶液中（有的用酸，有的用水），



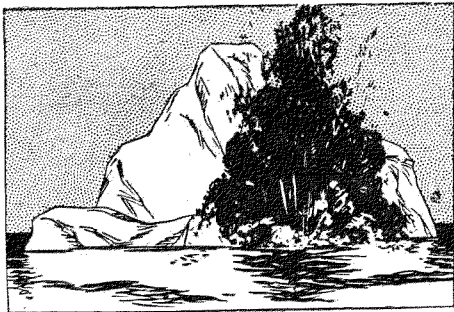
第153圖 人造絲壓射器的兩種察視。濃厚液體從小孔中壓出。



第154圖 人造絲的壓榨機。這壓榨機把人造絲從第153圖所繪的壓射器小孔內射出。這圖上有一只壓射器正昇高着，有許多纖維從裏面射出；另一只是浸在槽中使絲變硬。

把壓出的纖維素變成細長的絲狀紗。把這小絲繞成很細的線，外形和絲線一樣。普通包在糖果紙烟上的一種透明玻璃紙，也是由同樣質料經同樣方法所製成。和人造絲不同的地方，不過是壓榨着從小縫射出成爲片狀罷了。

炸藥這種事物，並不是像人們所想，除了戰時可以做可怕的殺人利器而外便沒有用途；事實上就是在平時，也有很大的用途。硝酸纖維素是一種重要炸藥，是混合純棉、硫酸、硝酸所製成。在製造這種硝酸纖維素時，全靠硝酸對棉絮作用的程度來決定產物的是否純粹。化學家叫這種作用的程度做“硝化度”，而這種硝化度完全是根據着這兩種酸類混合時的比例來決定。有一種硝酸纖維素叫做火藥棉，火藥棉的用途，在戰時可以炸燬橋樑或障礙物，平時可以用來毀壞森林中巨大的樹根。硝酸纖維素常用以配製平時用的轟



第155圖 平時應用的猛烈炸藥；炸燬阻礙航線的冰山。

炸混合物，但專指這種用途，它還不及硝化甘油的用途來得重要。硝化甘油並不是一種碳水化合物，不過我們因為談到炸藥，所以附帶的說明幾句。

硝化甘油是從甘油製成。人們都知道甘油是從脂肪所製成的一種很濃厚、黏稠的甜味液體。把甘油放在硫酸硝酸的混合液中處理，便可得着一種很像油狀的液體，這液體便是硝化甘油，極容易爆炸的一種炸藥。只要加上一個很大的震動，它立刻能發生爆炸。過去這種液體曾經用來做過像開礦等一類的工作，不過因為遭遇了意外的危險，所以現在已經不用了。諾貝爾 (Alfred Nobel) 氏又發現假使用木炭等類的空鬆物質來吸收着硝化甘油，便可得到一種能用手握着很安全的固體炸藥。實際上用來吸收硝化甘油的物質是一種叫做黑砂 (kieselguhr) 的乾細砂末；而這種火藥便叫炸藥。炸藥可以裝箱、運輸；即使受着震動，比較總是安全。有許多用來做轟炸用的物質都含有硝化甘油；也有和硝酸纖維素混合在一處的。例如膠質轟炸藥便含有90%的硝化甘油，9%的硝酸纖維素，和少許的白堊。

所謂“轟炸”，便是利用炸藥來轟碎地土或岩石的意思。例如，在開礦或開掘運河等類的工作，都用得着轟炸。單獨英國一個國家，每年用在採石或開礦上的炸藥，差不多有一萬五千多噸；從這個數量觀察，便可以知道我們靠它幫助

的地方是很多了。譬如開掘巴拿馬運河，差不多要掘起 1.75 萬萬立方碼的泥土和岩石，假如不利用炸藥來做這工作，簡直可以說是不可想了。大致的說，一磅的炸藥能炸碎一噸的岩石。除了硝酸纖維素和硝化甘油而外，還有許多炸藥，也是從有機化合物所製成。例如三硝基甲苯 (Tri-nitro-toluene, 或 T. N. T.) 是從下一章要敘述到的甲苯所造成。用無機物也可以做炸藥，便是我們在前面說過的黑火藥了。

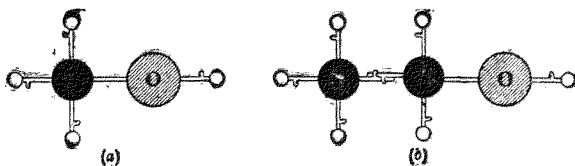
醋酸纖維素，是一種把纖維素和醋酸作用時所成的化合物，能溶解在醋酸戊烷中 (amyl acetate, 一種像梨汁氣味的溶媒)。把各種樹膠和松香加入這醋酸纖維素中，可以成爲汽車上所用的噴漆，在噴上噴漆的時候，往往用一種像噴射香水所用的器具。

由此，纖維素當然是一種很重要的物料。我們可以用它開礦及開運河，做食品，做紙和衣服，油漆和其他像製造人造革、賽璐珞、電影膠片等一類的許多我們未曾說到的用途。因爲這個緣故，所以有許多聰明的人們耗費着畢生的時間來研究這種纖維素的化學，以希望再能得到沒有發明的油漆、炸藥等物。

第七章 有機化學:醇類和煤焦油

醇和發酵——煤和它的產物:苯

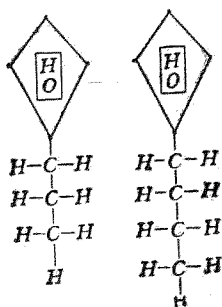
醇和發酵 我們在前面已經好幾次說到一種叫做酒精的普通物質，並且我們也已說過酒精中含着很多的乙醇和加入的很少別種物質，這是使它變味以免人們竊的。乙醇是醇類中最普通的一種物質，所以常單稱做醇；其實醇類中所含的種類很多成爲一組，各有特異的性質，和前面所說的石蠟系是一樣情形。醇中最簡單的一種，換一句話說，便是含最少數原子的一種，叫做甲醇，其次便是適才所說的乙醇，再次是丙醇和全組的許多醇類。和石蠟系中每一種純石蠟比前一種多一個碳原子和兩個氫原子一樣，醇類中每一醇比前一種也是多着一個碳原子和兩個氫原子。各種醇類相似的一點，也是各種醇類和石蠟類相異的一點，便是醇類中有一個氫氧原子所合成的化學家叫做羥（OH）的原子組。這羥原子組便是使各種醇各有相似點，或叫做同族相似



第156圖 醇分子的模形:(a)甲醇,(b)乙醇。

點的主要原因。

假如要用原子模形做一個醇，我們得另外加上一個氧原子的模形。氧原子在和別種物質發生作用時，好像有兩個聯接點，所以氧原子的模形上一定要有兩根鐵絲。假如把氧原子模形的某一根鐵絲上裝上一個氫原子，我們便可以得到一個 OH 原子組。假如我們從石蠟模形上拔下一個氫原子，再把這 OH 原子組裝上，便成爲一個醇的分子模形了。假如我們從甲烷做成的醇，便是甲醇，從乙烷得着乙醇



第157圖 醇像紙膏。

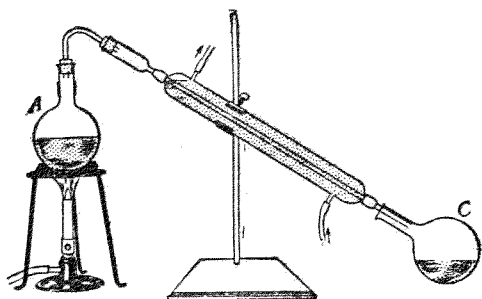
(C_2H_6O)，但假如我們要使自己記得醇是含有CH原子組的話，我們可以把它寫做 C_2H_5OH ；從丙烷得着丙醇(C_3H_7OH)；從丁烷所得的是丁醇(C_4H_9OH)；如此類推。從此，你可以看見在有機化合物中，某一組或族中某特殊化合物的分子結構，是多麼簡單的一回事情呀。

爲幫助我們的記憶，我們可以理想着以紙鳶來比醇的分子。 OH 好比紙鳶的本身， CH_2 好比尾上的紙，再裝上一個 H 原子使成爲一根完全的尾，如第157圖所示。有些紙鳶的尾巴很長，有些紙鳶的尾巴很短；它們的區別全在尾巴上 $\text{H}-\text{C}-\text{H}$ 紙的多少。化學家有一種特殊的方法來檢查化合物中原子的結構，所以我們知道醇中有 OH 原子組。每一類物質，如石蠟類和醇類，有一種相同的特殊結構，便能使全組的化合物都有相似的共同性質；這是有機物中普遍的現象，可是無機物便沒有這種特徵。

乙醇是普通用途最多而又是最重要的一種醇，所以我們先講一講乙醇。在遠古以前，便利用發酵的方法來製備乙醇，所以現在先要說明發酵的情形。讓我們把燒瓶中放上一些糖（約每夸容積加糖一盞），瓶上裝一只插有玻璃管的木塞，把玻璃管的另一端通入貯石灰水的另一只燒瓶中。鬆下木塞，將燒瓶中放上一些啤酒酵母（我們在第一編第七章中已經說過），再塞上瓶塞，任燒瓶擱置不動。等一些時間以後，燒瓶中發生許多氣泡，被壓向石灰水中，石灰水因而變濁，這是顯示着這氣體是二氧化碳。水中是很明顯的沒有二氧化碳所含的碳，自然這二氧化碳一定是糖被酵母作用後所發生的了。貯石灰的瓶上，也要裝上一只木塞，木塞上穿着兩個孔，一個孔是插着通另一燒瓶的玻璃管，另一孔

插上一根末端通到苛性鉀管的玻璃管，有了這種裝置，才可免却空氣中二氧化碳的逃入。

等這裝置擱置了相當時間（如經過一晚），使酵母得到充分工作的機會；然後我們把燒瓶中的液體取出，並做一種有機化學家最常做的所謂蒸餾*工作。我們曾經說過水的蒸餾方法，和石油一類物質的工業蒸餾法。這種蒸餾的方法，是實驗室中用來分離兩種沸點不同物質的最普通方法。把燒瓶和一只複壁的長管相連，長管的下部有一只可以把冷水通入使內管受到冷凝作用的小口，這冷水的出口在長管的上端。長管裝置成傾斜狀態，使長管的內管中的物質只能向下流到接受燒瓶C，而不能復返到燒瓶A中。假如在A燒瓶中的是兩種沸點不同的混合液體；當然受熱後沸點低



第158圖 蒸餾有機物的儀器裝置。

*這種液體只含約1%的乙醇。

的一種物質先變做蒸氣。於是這種先放出的蒸氣便在長管中受着冷凝，仍然變成液體流入接受瓶中。在這時，當然，別一物質的液體也要蒸發，不過因為它的沸點較高，不易沸騰，所以放出的蒸氣是非常的少。因此，我們在C燒瓶中所得的仍舊是一種混合液體，不過這混合液體中，比原來的混合液體含有較多的低沸點物質。假如我們把C燒瓶中的混合液體取出，重行放到A燒瓶（當然是另一燒瓶）中，再蒸餾一次，結果我們所得的液體中，便含有更多的低沸點物質。假如我們重複的蒸餾好多次，實際上，可以得到純粹低沸點的物質。

現在我們可以實行蒸餾遺留在含有酵母的燒瓶中的液體，第一次蒸餾所得液體中，可以再加上些能幫着吸收水分的生石灰，再任其擱置過相當的時間。其次，我們舉行第二次蒸餾；從這一次蒸餾所得的液體，是沒有顏色，並且帶着一種甜蜜愉快的氣味。假如把這液體取少許放在蒸發皿中，用火點着，燃燒時能發生一種無色火焰。它能溶解樟腦或松香，並能溶解油漆。要看它是否能溶解油漆，可以取一小滴放在油漆過的舊木器上，便可知道。從蒸餾所得的這種液體，便是乙醇。乙醇的沸點是 78°C ., 所以化學家可以再進一步求得它的沸點來證明它是乙醇。它的密度是每立方公分0.79公分重；假如我們有多餘的時間，我們也可以再做關於

沸點和密度的證明。

由此我們知道酵母的作用，能使稀糖溶液變成乙醇，同時並放出二氧化碳氣體。這便是所謂發酵作用的一個最普通的例子，並且也是普通人們認為惟一的發酵作用；其實，所謂發酵作用，還可以應用於其他許多利用微菌或微生物發生的化學作用*。二氧化碳的生成，便是顯示有些已經被微菌作用的糖分子已經破裂，一部分變成酒精，一部分變成二氧化碳。人們一定會常想到要產生發酵作用，必須用生活着的酵母；不過，從實驗的證明，我們知道把已死的酵母試驗，也一樣的可以產生發酵作用，並且和生活着的酵母有一樣的作用。這種作用是由於一種叫做酵素的物質所產生，近代工業上有許多發酵作用都是利用一種特殊的酵素，所以酵素是十二分的重要。例如，醋的製造，便是利用一種叫做醋母(*mycoderma aceti*)的微生物中酵素和乙醇發生作用。由糖製造檸檬酸，又是利用別一種酵素。在發酵作用時，只要酵母或別種微生物中酵素的一小部分，便可使發酵作用向前進行，最後結果中，並沒有從酵素變成物的存在，所以

*有些人把凡可以從酵母、微菌、微生物所引起的化學作用都叫做發酵；還有些人只把從糖變做酒和二氧化碳的作用叫做發酵，其他的都叫做“酵素作用”(enzyme action)。所以這“發酵”兩字的意義，因此發生了問題。不過，假使我們能清楚地知道作用情形，也就不成問題了。

酵素也不過是幫助作用。這好像人們做工的時候，假如有人從旁鼓勵或者喝采，可使工人格外興奮；假如不用這種方法，簡直一些工也不能做是一樣。

發酵最普通的一個用途是製造麵包。把酵母放在生麵團中，能使麵粉中所含的糖質發酵。結果，產生着乙醇，但非常的少。同時，二氧化碳的氣泡使生麵膨脹，重量減輕；這便是我們所以在麵中要加酵母的原因。不用酵母做成的麵包是粗重而且結實。

很大的量的乙醇是從含有多量澱粉少量糖的穀類所製成。正和發酵作用能使糖變成乙醇一樣，用着另一種酵素的作用，也可以使澱粉變做糖。例如，在製造啤酒的時候，通常都用大麥 (barley)。在大麥中，含有植物自然能播種的一種酵素，這酵素的功用，能把植物種子中儲着的澱粉變成糖當做幼植物生長時的食料。在釀造中，把大麥浸潤在水中，使大麥發芽；等到穀粒中的澱粉有相當部分變成糖時，把大麥取出晒乾，便是麥芽。麥芽中含糖很多，所以非常的甜。把麥芽製成麥酒時，先將麥芽放在水中煮沸，待冷後加入酵母。酵母和糖又發生發酵作用，把糖變成乙醇。在釀造時加入的酵母花不過是一種香料；所以像普通人們所說麥酒從酵母花的作用生成，就等於說燉煮的食品是從鹽和胡椒所煮成是一樣不的確呵。從穀粒製成麥芽糖，麥芽的發酵，是

麥酒釀造中的兩種主要作用。

酵質作用在我們生命上很為重要。例如，食物的消化，便是藉着人身中所自製的酵質的作用。在這許多酵質中，像口中唾液腺所分泌的一種酵質，和大麥發芽的酵質一樣，也能把澱粉變做糖質。假如把麵包放在口中很久的嚼着，便會覺得很甜。

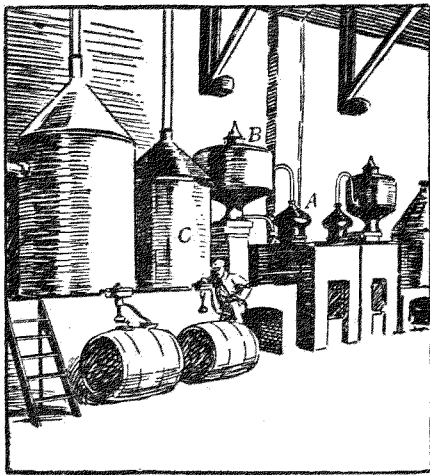
工業酒精或摻過甲醇的酒精，可以做油漆、照相乾片和其他很多的工業品。英國每年要用四百萬加倫乙醇做工業酒精；假使這樣大分量的酒精，都是從大麥或別種穀製造，那是太耗費了；所以工業用的酒精，都是從一種把原料糖淨煉時所得的一種叫做蜜糖*的糖漿所製成。在德國，工業酒精都是從馬鈴薯中的澱粉製成。其他含澱粉的物質，如米，也可以當做製造酒精是原料。

你也許曾注意到，我們在試驗糖的發酵作用時，所用的糖溶液是稀薄溶液；很明顯的事實告訴我們，凡是濃糖溶液，便不會有發酵作用；事實上，糖可以做防腐劑，所以多加糖，反而阻止酵母的作用了。罐頭濃牛奶常常加上很多量的糖便是因為這個緣故。還有薄酒很容易變成酸醋，但濃酒便沒有這種作用；因此，我們知道純粹的乙醇，也是一種防腐劑。各種發酵作用都需要許多水分，釀造時的發酵作用只有

*蜜糖出產在古巴。

溶液能把石蕊紙由藍變紅時才會發生，換一句話說，便是酸性溶液才會發生酒的發酵作用。

發酵和蒸餾是兩種最古應用的化學方法。遠古時代便有釀造的方法，在許多古書上，都有這種方法的敘述。在聖經上，和古希臘詩人荷麥(Homer)的著述中，我們看到凡大讌會時都已用葡萄酒，至於麥酒，古埃及人便已製造。葡萄表皮上的粉，便是含有能使葡萄糖變酒的醇質的酵母，所以



第159圖 蒸餾白蘭地酒。

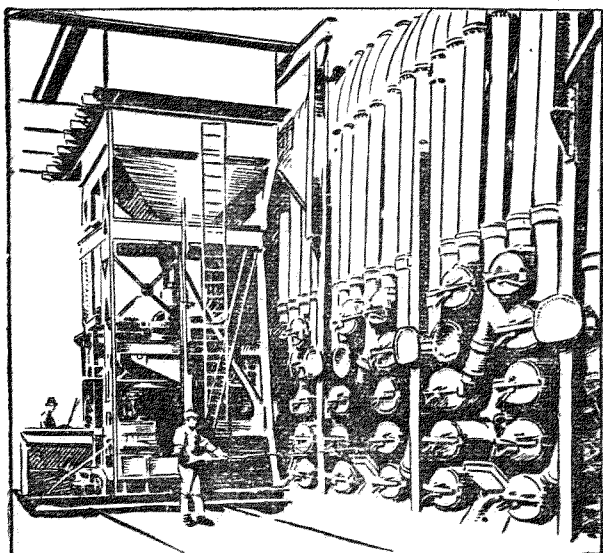
只要把葡萄汁壓榨出來貯藏着等它自己發酵。這兒必須要申明的，假使要做很好的葡萄酒，當然不能用這種簡單方

法。蒸餾法也是在很古的時代使用來提取濃酒。現在從葡萄酒中提取白蘭地酒，便是這方法的一個很好的例子。白蘭地酒差不多含一半的酒精（體積的一半）是從含約 7% 酒精的葡萄酒蒸餾而成。只須蒸餾一次，便已足夠。這蒸餾要很小心的在銅製蒸餾中器舉行，銅蒸餾器包含着蒸氣鍋 A，叫做凝氣鍋的 B，和冷凝器 C。冷凝器是一組被冷水包圍的螺旋形銅管，如第一編第 93 圖所示。凝氣鍋的作用，是約束着最容易凝結的蒸氣使返入蒸氣鍋，以免流到冷凝器中把白蘭地沖淡。

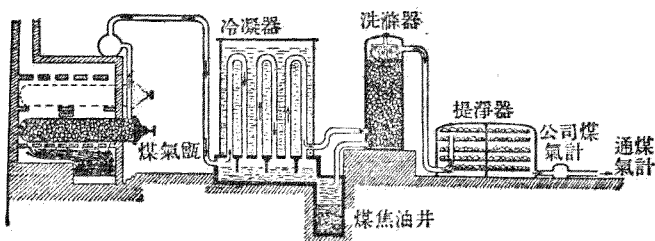
煤和它的產物：苯 我們已經不止一次講到從煤塊所製成的煤氣可以供給家庭或工廠中的熱和光。在製造煤氣時所得的別種產物在有機化學和工業中都很重要；所以現在我們要更詳細的敘述煤氣的製造。

煤氣甌是很長的火泥管，在近代煤氣廠中，都是列成一排，用機器由鐵軌上將煤裝入管內，如第 160 圖所示。把這種火泥管用強熱燃燒的結果，不但可從煤中發生煤氣，同時還有蒸氣狀態的煤焦油和氣，並有一點含氣體硫的氣體。假如硫與煤氣燃燒，就成為有害於身體、織造品和皮革的二氧化硫氣體。假如讓大量的二氧化硫逃散空中，它溶解在雨點中成為一種能毀壞有鐵頂的房屋和某種岩石建築物，所以煤氣公司應該把氨和煤焦油分離，並除去二氧化硫氣體。

這許多從煤氣甌所發出的混合氣體，一出煤氣甌後，便集中在叫做煤焦油總管的大管子中；在煤焦油總管中有一



第160圖 煤氣甌。

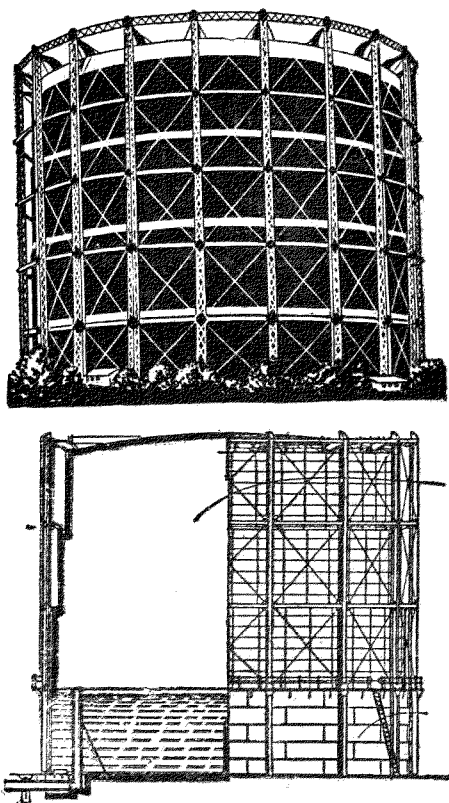


第161圖 煤氣的提淨。

部分的煤焦油蒸氣便凝結而成煤焦油。由此，這混合氣體再通到總氣室中第161圖。從總氣室，復通到四週有冷水包圍着的長管中；在這兒，差不多所有的煤焦油蒸氣都凝結成煤焦油，流入叫做煤焦油井的深井中，井底部分通着管子，便是煤焦油的出口。混合氣體次通入一個叫做洗滌器的塔中，利用水把煤氣洗滌。塔中滿貯焦煤或金屬小鑽，水從塔頂像雨點樣落下，這樣，可以增加混合氣體和水接觸面積，以便先把很易溶解在水中的氨除去。溶着氨的水從塔下流入煤焦油井中。這種氨水不和煤焦油混合，浮在上層，因此可以分別取出。從洗滌器流出的氣體，復通入提淨器中，提淨器中放着適當的化學品，可以把全部的二氧化硫除去。經過提淨器以後的氣體，是非常乾淨，可以直通到公司的大煤氣計內，度量過所產的分量後，便集中儲氣塔中；從此便可通入小管送至住宅或工廠使用了。

住在城市中或靠近城市的人，對於偉大的煤氣儲氣塔，一定都非常熟悉。儲氣塔的構造，也非常有趣。舊式的儲氣塔表示在第162圖中，一只是繪着外形，一只是繪着剖面，以便說明它工作的情形。儲氣塔中有一只很大的集氣器，器底向上，像一只倒置的水盆；四周的金屬壁分做好幾層，每層間像望遠鏡的鏡管，可以上下滑動，最下一層的下邊是沈在恰巧可以容納這集氣器這樣大這樣深的水池中，池中的水

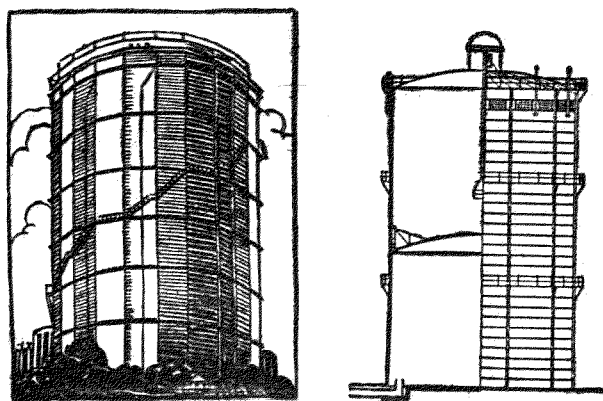
是用來阻止煤氣的漏散。儲氣塔中壓滿着煤氣的時候，各層都全部伸張着如第162圖所示；同時儲氣塔本身的重量正好可以把煤氣壓送各處。等到塔中的煤氣減少，塔頂便會下



第162圖 升降式煤氣儲氣塔。上，外觀；下，剖面，指示着工作情形。

降，然後一層一層的下降，以至煤氣用罄為止。每層接縫的處所，都是用特殊方法製成。

新式的儲氣塔建築得格外高大，因為裏面沒有水池，所以叫做乾燥儲氣塔。這種儲氣塔工作的方法很為簡單，因為它是一隻很簡單的大管子，管頂下降時便能把煤氣推送出去。因為邊牆不能移動，所以你不能照觀察舊式儲氣塔一樣，從外面看出裏面煤氣的多少。你一定要奇怪為什麼原理這樣簡單的儲氣塔，直到現在才用着。這理由是因為從前沒

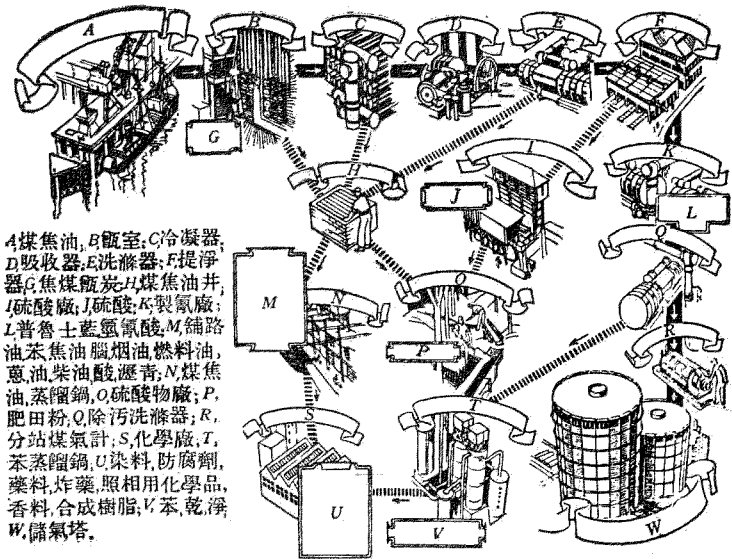


第163圖 乾燥儲氣塔。左，外形；右，剖面。

有發明這種接縫法，直到最近，才知道用煤焦油封着塔頂和圓筒的接縫，使塔頂上下升降而沒有漏氣的弊端。還有一種乾燥煤氣塔是用橡皮圈儲着氣體。

隨便那一個人對於離了儲氣塔的煤氣，大概多少總有些影響，便是說怎樣用來熱着工廠爐灶，怎樣用來烹飪，怎樣用來煖室，怎樣用來點燈。讓我回轉去看在提淨時分離出來的許多物質的情形。把氨水沸着，可以逐出溶解在內的全部氨氣。這氨氣再與硫酸作用成爲白色晶體的硫酸銨，用做肥田的肥料。這種物質又叫做人工糞。遺留在煤氣甌中的是焦煤，可以做燃料的用途。它惟一的優點是燃燒時沒有烟灰，並且不像生煤那樣消費了許多氨和煤焦油。有一種特別堅硬的焦煤，慢慢積在甌的內壁，叫做甌炭，可以用來做電弧上弧炭和很多別種用途。

從煤蒸氣中凝結下來叫做煤焦油的一種濃厚、黑色、粘性物料，是一種很著名的物質。它裏面和煤油一樣，含着很多的有機化合物。煤焦油的蒸餾，可以分做四步，蒸出的物料，依着沸點的升高次序，是叫做輕油、中油、重油和煉焦油。約有70%的物質遺留在蒸餾甌中，這便是你所知道用來鋪路、油氈屋頂等一類用途的瀝青。從其餘的30%，可以製成大套的重要有機物品，如防腐劑、殺蟲劑、香料和足以驚奇的許多染料。從煤焦油中所製成的這許多有機化合物，和前面所敘述過的石蠟類、醇類、糖和一切已經說過的有機物，都是完全不同。最主要的是苯、甲苯、二甲苯、酚、甲酚、萘、蒽、吡啶、噻吩等物質。我們並不須學習這許多物質名



A煤焦油, B甑室, C冷凝器, D吸收器, E洗滌器, F提淨器, G焦煤瓶炭, H煤焦油井, I硫酸廠, J硫酸, K製氫廠, L普魯士藍氫氰酸, M綉路油, N煤焦油, O, 燃料油, P, 肥田粉, Q, 除污洗滌器, R, 分站煤氣計, S, 化學廠, T, 苯蒸餾鍋, U, 染料, 防腐劑, 藥料, 炸藥, 照相用化學品, 香料, 合成樹脂, V, 苯, 乾淨, W, 儲氣塔。

第164圖 蒸餾煤所得各種產物的一覽。

稱,所以把它們列在這兒,也不過使你們聽見這許多名稱,或者還記得它們是煤焦油產物罷了。這當中有一、二種物質,也許你曾知道它的俗名;例如酚便是普通用來消毒的石炭酸;有一種白色結晶有臭味的蛀蟲丸(俗叫樟腦丸,其實和樟腦無關),便是萘所做成。

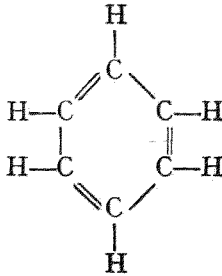
這許多有機物中最簡單而又最重要的是苯,我們在前面已經說苯和石油精是完全不同。叫做安息油的液體是一種不純粹商用苯。苯是刺激氣味、明淨、稀薄的溶液,沸點是

80°C。它很容易燃燒，燃燒時火焰上有很重的烟炱，從這種烟炱，我們便知道苯裏面一定含有多量的碳。苯不能溶解在水中，但能溶解像脂肪、油類、油膏、樹脂和許多不能溶解在水中的物質。因為這個緣故，所以“乾洗”的衣服，往往都用苯來洗。

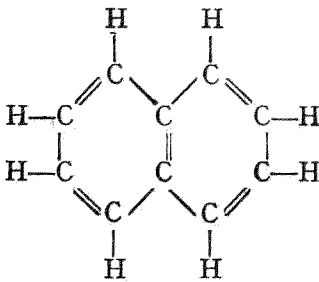
苯是法拉第(Farady)在1825年所發現，在發現後很長久的時期中，它只能使化學家發生興趣，而沒有實際的用途。在1856年，拍琴(Sir W. H. Perkin)還是一個十八歲的孩子，從煤焦油中製成第一個叫做苯胺紫(mauve)的染料。在歐洲大戰以前，由煤焦油製造染料的工業，從英國傳到德國人的手裏。可是，自從大戰以後，在英國也有了從煤焦油製造染料的工業。近年英國每年所產的煤焦油染料約有15,000噸；從世界每年165,000噸的產量看起來，並不能算很大的產量。記着每一隻大船可以裝到10,000噸的染料，從這一點，你大概可以明瞭用有機化學方法從煤焦油中所製成染料的分量了。

苯是 C_6H_6 ，有六個碳原子和六個氫原子。用化學家的眼光來看，最顯着的一件事情便是這六個碳原子不能聯成一條長鏈，而是聯合成六角形的閉環。假如我們仍舊用我們的原子模形來結構成苯的分子，我們發現着每一個碳原子都空出一根鐵絲；這是因為每個碳原子有四個鐵絲臂，除了有

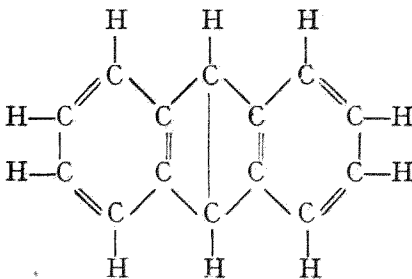
一根裝着氫原子，兩根和兩隣の碳原子相接以外，恰巧還空着一根無所系屬的鐵絲臂。我們對於這個空着的臂，只有把兩個碳原子空着的兩根自己再聯接起來成爲雙標，於是這環中有三個雙標和三個單標。這種結構方法的理由是非常複雜，在這兒當然不好解說。這樣一來，每個碳原子便都有四根標了。



這六個碳原子通常寫成這種樣子，成爲一個六邊的圖形，或六角形；可是化學家說起來都叫它做苯環。我們在過去所說到的一切有機化合物，碳原子都是聯成一條線，而這線的兩端都是開着；這是的確真實的事情，所以化學家叫做開鏈。不但是苯一種物質，凡是從煤焦油蒸餾所得到的產物，差不多不是由一個環做成，便是由幾個環組成。因此萘 ($C_{10}H_8$) 便可寫成：



同時，萘（ $C_{10}H_8$ ）便可寫成：



所有從煤焦油所製造的化合物都是把原子聯接這種鑷的角上的製備方法所成。

很多的鑷狀化合物都是帶着芬芳的香味，所以屬於這全部的有機化合物都叫做芳香族；不過，事實上，它們中有許多毫無氣味，甚而至於有許多有很不愉快的氣味。凡是開鏈的物質，像石蠟類、醇類和醣類，都叫做脂肪族。脂肪族和芳香族，便是有機化學中的兩大類。有機化學中，充滿了許

多很有趣的字，像四甲二氨二苯基甲酮 (tetra-methyldiaminobenzophenone) 可以說是極平常的字。

從苯、硫酸、硝酸三種化合物，可以做成有杏仁氣味叫做硝基苯的液體。從硝基苯，可以製造一種叫做苯胺 (aniline) 的物質；從苯胺可以製成一套顏色非常鮮明的染料。人們常常把苯胺染料也稱為煤焦油染料；這是一種極大的錯誤，因為有許多苯胺染料是從煤焦油以外的有機化合物所製成的。例如，人工靛，便是從萘所製成（記着，萘便是做蛀蟲丸的原料）。發明着在化學試驗室中做靛的方法是化學家的一種很大的勝利，並且告訴我們“科學能做些什麼”的一個好例子。

靛是一種深青色用來染毛織物的染料（像海軍制服的顏色），在本世紀的初葉以前，完全靠着生長在印度的一種植物所製成。這種植物有這樣大的重要性，所以用好幾萬英畝的地方去種植；每年生產差不多值到4,000,000金磅。這種染料每磅的價值從八先令到十二先令。自從德國人發明了從萘製造人造靛的方法以後，每磅的價值還不到一先令。不過，我們要弄清楚從萘所製成的人工靛，並不是植物靛的同樣物品，不過是同樣的化學物質罷了。

關於怎樣發明靛青，有一件很有趣的故事。在製靛手續中，有一部手續進行得不很快速：化學作用是的確發生了，

不過進行得太慢，不能適用商業用途。有一天插在這混合化學品中的一枝溫度計偶然折斷，忽然這作用進行得很快，正適合於所需要作用速度。由此，我們知道這作用進行時，假如有汞的存在，便可非常順利，這便是從偶然事件得着成功的一件事實。在學校中常常折斷了許多溫度計，而除却發明了玻璃有脆碎性的老發明外，一些事情都沒有找到呀！像這種水銀的作用又可以當做連帶講到酵質作用的另一個例子。這種加入的物質仍舊保全着，並沒有在作用時用却。不過它的存在只能使作用向前進行罷了。很多的化學變化中需要這種鼓勵物，叫做催化劑，因而從催化劑所生的作用便叫做催化作用。由此，假如有許多小孩要做足球的遊戲，但是他們都不能決定怎樣分配兩隊，一等到教練員到場，便立刻組織成隊伍；可是，教練員自己並沒有加入遊戲；這種，你便可以叫他做催化劑，催成了這個遊戲。覓出某一作用的適當催化劑是化學中很重要的工作。例如，在做假牛酪的時候，在某一過程中要把鎳的細屑和液體油混合幫助着油和外面壓進而可以使油變硬的氫分子化合。可是，在假牛酪中，絕對沒有鎳化合在裏面，這是和水銀促成靛的作用是完全一樣。

古時最寶貴的染料是泰埃紫 (Tyrian purple) 是從一種貝殼動物所製成。這種顏料的稀少，達到只有皇族可以保

藏的程度。在幾年以後，發明着從煤焦油中，製造成和它完全一樣的染料；因此，現在只要花費幾個先令，便可以結上一根染着皇族紫的領帶了。除了染料以外，還有很多的事物，可以從煤焦油中製成。乙鹽水楊酸(aceto-salicylic acid)商業上叫阿斯匹靈(aspirin)便是從酚所做成；同樣來源的水楊酸甲酯(methyl salicylate)或叫做冬青油，都可以用來塗擦風濕症的創口。各種香水、新殺蟲劑、炸藥和香料，都是更進一步的煤焦油產物。

標商冊註

