



中 華 文 庫

初 中 第 一 集

物 理 和 化 學

許 達 年 譯

中 華 書 局 印 行



# 物理和化學 目次

## 第一章 目力看不見的小天地

- 1 德摩克拉底斯的原子說……………二
- 2 道爾頓的原子說……………六
- 3 原子分子和原子量……………八

## 第二章 有趣的力學(固體篇)

- 4 慣性……………一
- 5 物體的平衡力……………一四
- 6 重心……………一七
- 7 摩擦力……………一八
- 8 彈性……………二一

## 第三章 機器的始祖

- 9 能夠移動地球的槓桿·····二二
- 10 滑車與輪軸·····二四
- 11 斜面·····二六

## 第四章 有趣的力學（液體篇）

- 12 巴斯加原理·····二九
- 13 阿基米特原理·····三二
- 14 表面張力·····三四
- 15 毛細管現象·····三五
- 16 波耳氏定律·····三六
- 17 可驚的大氣壓力·····三七

## 第五章 物體的運動

18 加速度運動·····	三八
19 圓運動與離心力·····	四〇
20 擺錘·····	四二
21 作用與反作用·····	四三
22 萬有引力·····	四四
23 何謂質量·····	四五
24 力的單位·····	四七
25 運動量·····	四八
26 衝突力·····	四九

## 第六章 功和能

27 物理學上的所謂功·····	五〇
------------------	----



28 動能和勢能	五三
29 能之不滅定律	五三

## 第七章 熱

30 傳熱體和不傳熱體	五四
31 對流	五五
32 熱的移動	五六
33 冰箱	五六
34 輻射熱	五七
35 保溫瓶	五八
36 膨脹	五九
37 熱量	六一
38 溶解	六一

39	蒸發	六二
40	沸騰	六三
41	臨界溫度	六四
42	液態空氣	六六
43	有趣的實驗	六七
44	液態空氣的利用	六九
45	液態氫	七〇

## 第八章 分子的活動

46	分子力	七一
47	固體分子的活動	七二
48	固體溶化的原因	七三
49	分子擴散的原因	七四

50 表面張力的原因	七四
51 失散的分	七五
52 氣體的分子	七六

## 第九章 分子的大小和運動速度

53 分子的直徑和質量	七九
54 鎗彈也不及的分子速度	八〇
55 每秒衝突百億次	八一
56 布朗運動	八一
57 限外顯微鏡	八四
58 結語	八五

## 第十章 化學的神祕

59 物質不滅	八七
---------	----

60 化合的現象	八八
61 可驚的化合力	八九
62 元素的符號	九〇
63 化學式	九一
64 分子的構造	九二
65 化學變化和熱	九三
66 接觸反應	九五
67 爆發	九六

## 第十一章 溶液和凝結

68 飽和溶液	九七
69 滲透壓	九八
70 冰淇淋的製造原理	九九

71 電離說	一〇一
72 酸性和鹼性	一〇二
73 金屬和非金屬	一〇三
74 酸性和鹽基性	一〇四
75 所謂凝結	一〇四
76 分散質	一〇五

## 第十二章 電子論

77 陰極線和電子	一〇七
78 空氣之電離化	一〇九
79 放射性之研究	一一〇
80 元素之崩潰	一一一
81 電子的本體	一一三

82 電子的大小和質量..... 一一四

## 第十三章 原子的構造

83 陽電粒的假定..... 一一六

84 原子核和原子數..... 一一七

85 規定原子特性的原子核..... 一一八

86 放射性元素崩潰時的原子核變化..... 一一八

87 質子和中子..... 一一九

88 原子核與電子的排列..... 一二二

89 自由電子說..... 一二二

90 原子價的說明..... 一二三

91 柯塞爾的原子模型..... 一二四

92 波耳的原子構造論..... 一二六

93 電子的軌道.....一二九

94 結語.....一三〇

## 第十四章 萬物電性論

95 電的自然觀之發展.....一三一

## 第十五章 鐳和其他放射性元素

96 鐳的發見.....一三三

97 鐳所甚麼很貴重.....一三五

98 鐳的力.....一三六

99 奇妙的鐳的性質.....一三七

100 其他放射性元素.....一三九

## 第十六章 相對性原理略說

# 物理和化學

## 第一章 目力看不見的小天地

何謂物質？在我們的周圍，有許多東西：書哩，桌子哩，筆哩，鐘哩，花哩，樹哩，石子哩，我們對於這些具有形狀的東西，一概稱之爲「物體」(Body)。但像空氣那樣的東西，牠雖然沒有形狀，也稱爲物體，諸君或許以爲奇怪吧？所以凡是在空間佔據一定的場所，由於我們的感覺而能證明牠的存在，這樣的東西，便改稱之爲「物質」(Matter)。至於聲音和光，雖然前者能感之於耳，後者能感之於目，但牠們都不佔一定的場所，所以不能稱爲物質。講到空氣，我們雖然不能用目力來看見牠，但把空杯倒置着放入水中，就能顯示空氣的存在了。

物理學和化學，是研究這些物質的變化，以及由這變化所引起的各種現象的學問。但在沒有講述這些問題以前，應該先明白物質是怎樣構造的。



## 1 德摩克拉底斯的原子說

### 原子的起源

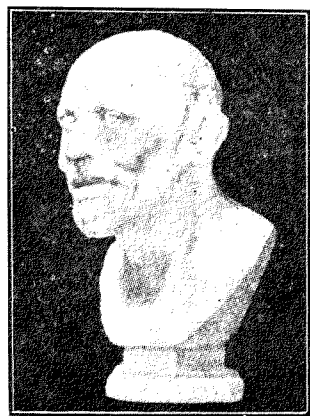
一般人的心中大都這樣想：「鐵和玻璃等的固體，或是水那樣的液體，牠們的內部大概非常緊密，沒有什麼間隙的。」我們再用擴大力最高的顯微鏡來檢查的，確，並沒有一些兒間隙發見。但是究其實際，却是完全錯了！原來無論什麼物質，精確地檢查起來，不但會發見些細微的間隙，並且牠的形狀正和海綿一模一樣，不間隙中還分佈了無數微粒，恰像在空中浮沉的塵埃一般。——以上這些話，無論誰，大概都不肯輕易相信的吧？

可是，仔細地研究起來，你說鐵和水沒有間隙，實在是錯誤的。譬如有一個人從來沒有見過山，你叫他站在很遠的地方，向山這邊望來，他一定以為山是由於平滑的岩石構成的，或者以為山上滿長着青草。你叫他走近來一看，他又以為剛才看見的一片青草，原來是遍生着的灌木。但究其實際，山上既有龐大無朋，崢嶸參差的岩石，又有很高的樹木，這些，他那裏會知道！同樣，我們以為鐵和水沒有間隙，也是因為沒有知道檢查的方法所致，正和那人遙望遠山，沒有仔細地觀察一般。這是從論理上講的話。此外，還有一個很淺近的證據，就是鐵和水，都能依照溫度的高低，有時膨脹，有時收縮，因為牠是由於微粒組成

的，其間有了間隙，才會發生這種現象；如果牠的內部非常緊密，那裏能夠一會兒膨脹，一會兒收縮呢？

以上的學說，在距今二千三百餘年以前，希臘（Greece）的學者們，早已注意到了，其中最著名的

就是德摩克拉底斯（Democritus 460—370 B.C.）



德摩克拉底斯像

第一圖

物質種類，也和現在所想像的完全不同；他把一切物質，只分為空氣、水、土、火四種，所以原子的種類，也不出這四種以外，例如：他以為火的原子，圓而又小，能够活動，因此，牠向別種物質侵入的性質頗強。

原子說，的詩化。德摩克拉底斯這個學說，後來被愛比克羅蘇斯（Epicurus 342—270 B.C.）所

擴張補充。再過幾年，到紀元前一百年左右，羅馬（Rome）有一個哲理詩人，名叫羅克蘭底斯，他更把德摩克拉底斯的學說，加以深遠的想像而詩化起來。他說：「今宇宙是無限的原子組成的。在超越了我們

視覺界限的空間奧底，也都充塞着原子。這些原子，正像冬季的雪片，從永劫的過去開始，直至永劫的未來，牠就在無窮的空間下降不絕。但這些原子有時也並不下降，稍稍向外飛散，所以互相衝突，成爲團塊；再由團塊和團塊的作用而發生旋轉運動。先是原子發生渦卷，及後便成爲地面上的固體，就是地球和一切的天體，也都是這樣產生的。無論在何處空間，這個狀態循環不絕，所以這個現象也就循環不絕了。不論在我們的上下左右，到處都有世界，或大，或小，或正在組合成功，或正在衝突破壞；或是附着許多月球，或是水也沒有。可是，牠們大家一概抱着同一的運命，決不肯在某種狀態之下，暫時停止活動，總是要從無限的空間吸引新原子，然後放出自己的原子而逐漸消滅。這樣，宇宙的任何部分，恰像流水一般，決不會暫時休止；一切的物體，也正像在夏際的空中舒展着的白雲，由消滅而產生，再由產生而消滅。」這樣的學說，不是完全詩化了嗎！

亞里斯多德的反對論。德摩克拉底斯的想像，和現今盛行的學說接很近，可知這是十分進步的。

但後來因遭亞里斯多德 (Aristotles 427—356 B. C.) 的反對，所以未得廣播。原來當那個時代，亞里斯多德的話，最爲一般人所尊重，無論什麼事，總以爲他的話是不錯的，於是雖有進步的學說，因遭一個人的誤解，再加上許多人的盲從，竟至埋沒了。亞里斯多德反對德摩克拉底斯的學說道：「如果物體是



牛 頓

五

由原子組成的，則原子和原子之間，必有間隙。但是物體並沒有間隙。既然沒有間隙，所以原子是沒有，牠們的內部都是連續着的。但德摩克拉底斯的原子說，亞里斯多德的反對討論，原本大家只根據了表面的幼稚觀察，都沒有確實的根據。因此，究竟誰的話

說得不錯，大家莫明其妙。結果，世人的意旨，便被當時一般人信賴的亞里斯多德所操縱，將進步的學說，在二千年間，全部埋沒，幾乎被世人所遺忘。

牛頓的贊成論 後來，只有牛頓 (Issac Newton) 對於德摩克拉底斯的卓見，表示贊同。他說：「我以為神之造物，是用至堅極微、可動而不可分的微粒所造成的，這些微粒，本是固體，當然比較用這些微粒構成的多孔性的物體更堅硬，我們決不能用普通的力，把牠磨滅或分割。」

和牛頓同時代的波耳 (Robert Boyle 1626—1691)，他也贊同德摩克拉底斯的學說，並且又加以擴張，用化學的變化來說明原子。他說：「化學的變化，由於原子的衝突或激動，相互集合離散而發生的。物質之能夠相互化合，由於原子的形狀有凹有凸，恰好互相嵌合；而化合物之能夠分解，則應為另外遇着一種更易嵌合的原子所致。」可是他的話，仍是沒有甚麼根據。

## 2 道爾頓的原子說

定比定律 到了十九世紀，化學已經長足的進步，各種化合物的性質也已明白，原子說才得着鞏固的根據。對於這個發明最有功的，便是道爾頓 (John Dalton, 1766—1844)。但是我在沒有敘述以

### 第三圖



道爾頓

前，關於化合物的化合定律，先說說明白吧！

凡是二種或二種以上的元素所化合的化合物，其元素的重量之比，一定不變，這在化學上稱爲「定比定律」(Law of constant portion)。例如烹煮肉湯的時候，雖然材料之配合分量稍有差異，但牠

的滋味還不致十分變更。可是化成化合物的元素比例，却不能稍稍差異。如果偶然差了些，那多餘的也必定剩留着。例如化合成水的氫和氧，總是和 $1:8$ 和 $8:1$ 之比。道爾頓關於化合物方面，又發見了下列的定律：

#### ●●●●● 倍比定律

鐵和硫黃，因爲比例的不同，能夠化成兩種化合物。一名叫「硫化亞鐵」，帶黑色；二名叫「硫化鐵」，色似黃銅。如果把這兩種化合物分析起來，則硫化亞鐵的化合比例爲硫黃 $1:7$ ；四；硫化鐵爲硫黃 $2:7$ ，鐵 $1:7$ ，四；鐵的重量雖相等，而硫黃的分量，却是一和二之比了。此外，含着相同元素的化合物間，都有這樣的關係。道爾頓分析了各種化合物以後，便對於化合物定了一個通用的定律：凡是由兩種元素能夠化成數種化合物時，對於一定元素量之其他元素量的比例，都是簡單的倍數，這稱爲「倍比定律」(Law of multiple proportion)。

爲甚麼會總是倍數比例的呢？粗看起來，似乎是很奇怪的，但道爾頓却說，這是因爲物質由原子所構成而生的當然結果。例如把鐵和硫黃化合的比例，當化合硫化亞鐵時，鐵的原子一個，硫黃的原子也只有一個；但化合硫化鐵時，鐵的原子一個，而硫黃的原子都有了兩個。因此，對於鐵原子一的硫黃原子數，成爲一和二之比了。再，我這樣的敘述以後，則關於「定比定律」也能够獲得相當的說明了。

道爾頓對於原子的結合和分離，也應用了牛頓的「引力說」，創出了一個新學說。我在前面已經講過，德摩克拉底斯一派的學者，他們以爲原子的形狀，有凹有凸，所以能夠結合。但據道爾頓說來，原子的形狀，都是一律的，牠們之結合，完全由於牛頓所說的引力，互相吸引而已。道爾頓又在自己所知道的原子中，選擇最輕的氫原子，作爲重量的單位，以之測定二十餘種物質的原子量。

在德摩克拉底斯的時代，大家不過依據了物質的差別，對於原子毫無根據地想像罷了，但道爾頓却以數量的化合定律爲根據，所以不得不說是異常的進步。

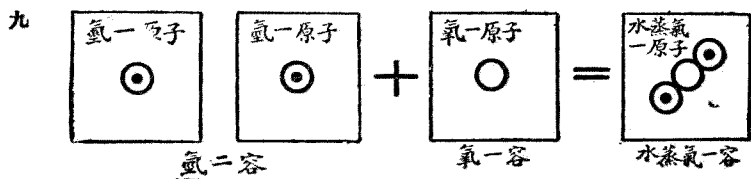
### 3 原子分子和原子量

氣體反應定律 在道爾頓解釋原子說以後，不久，又有一個新學說發生，這便是法國的給呂薩克

(Gay-Lussac 1778—1850)發明的。他說：「同類的氣體化合時，體積的比例也有簡單的關係。」例如：氫和氧化成水蒸氣時，牠的體積比例是：氫二，氧一，成爲水蒸氣二。但這必須在化合的氣體和化成的氣體，牠們的溫度和壓力都相等。這便稱爲氣體「反應定律」(Law of gaseous reaction)。

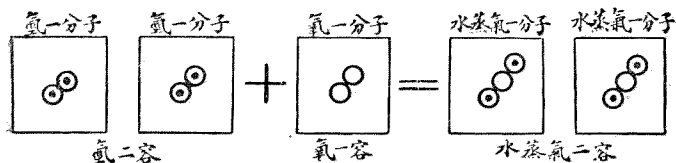
據道爾頓說起來，凡是各種氣體的溫度和壓力相等時，則同體積的氣體，必含同數量的原子，當化成水蒸氣時，是氫原子二合氧原子一化合的，所以氫和氧的體積也是二和一之比。但據道爾頓的學說，氫原子二和氧原子一所化合的，成爲一個原子，這些種類不同的原子合成的，也稱「原子」，名爲「複合原子」，即是化合物的最小微粒，他說是「複合原子」。但經給呂薩克實驗所得的結果，氫二氧一化合的水蒸氣，却有二容積，於是道爾頓和給呂薩克發生了激烈的爭論：道爾頓根據學理，給呂薩克根據實驗，大家旗鼓相當，誰也不肯退讓。這時，就有仲

第 四 圖



道爾頓研究得到的化合法





亞佛加德羅研究得到的真正化合法

裁的人出來了，這個偉大的仲裁人，便是意大利的化學專家亞佛加德羅 (Amedeo Avogadro 1776—1850)。

原子和分子之確定。亞佛加德羅以為道爾頓的學說有錯誤，他

的所謂原子，實在是兩個原子結合而成。所以道爾頓以為氫二原子和氧一原子化合的水蒸氣，實在是氫四原子和氧二原子化合的，化合的結果，便成水蒸氣二原子，因此，氫二容積和氧一容積化合時，即成爲二容積的水蒸氣。當然，這些用定比定律和倍比定律來說明，也無不可。於是亞佛加德羅指道爾頓所說的原子，是兩個原子所結合的微粒；而道爾頓所稱的「複合原子」，確是化合物，不是原子，所以另外給他取個名字，稱爲「分子」(Molecules)。即氣體的最小微粒，不是原子，乃是分子。

何謂原子量。亞佛加德羅又說：「在同溫度同壓力之時，同體積

中的一切氣體，含着同數的分子。」根據這個假定，可以在某容積中算

得某分子的數量，更可將各分子的重量一一算出。所以當時便算出了各種分子的比較重量，稱爲「分子量」(Molecular weight)。例如把同體積的甲乙兩種氣體的重量算出，其比重爲一與二，則由此可知牠們各分子的比重，也定是一與二之比。既然知道了分子量，則各原子的比較重量也不難知道了。這原子比較的重量，即稱爲「原子量」(Atomic weight)。由此可知所謂「原子量」，決不是指一個原子的本來的重量。

現在，物體是由於分子集合而成的，這句話，雖然已經得到了確實的證據，但這些分子的狀態如何，却須另用種種的事實來證明。關於這個問題，後來的學者也有了很巧妙的說明。不過，我們在沒有敘述以前，應該先把物質的各種性質研究一下。

## 第二章 有趣的力學(固體篇)

### 4 慣性

●●●●●  
兩種慣性 桌上的墨水瓶，沒有人去動牠，牠便靜止着不動，無論經過一年、兩年、十年，永遠是如此。

凡是靜止着的物體儘是靜止，便稱爲「靜止慣性」。

其次，正在運動着的物體，祇要不阻礙牠或更其加速牠，不加以任何種的作用，便會儘是向同一的方向並以同一的速度而動着過去，這叫做「運動慣性」。凡屬物體，俱有這兩種性質，所以又叫做「慣性定律」(Law of Inertia)。

靜止着的東西儘是靜止着，這事是明白易懂的；至於運動着的東西儘是運動着，這事粗粗想來似乎是不大容易想得明白的。也許有人這樣說：運動着的東西，如果果真是儘是運動着的，那麼，發射出去的子彈，豈不是應該儘是一直飛向前去了麼？殊不知發射出去的子彈，既有空氣在阻礙牠的進程，又有地心吸力在吸引牠落下，因此，牠的飛勢便逐漸慢起來，終至於跌到地上。關於運動慣性，加爾略 (Galileo 1564—1642) 曾經巧妙地加以證明過。他說：設有一斜面，如把一個球從該斜面上滾下來，那球便愈滾愈快，直至滾到底下爲止；如再以前述滾下來的狀態而把那球滾到另一斜面上去，則那球的滾狀便逐漸慢起來，及至滾到剛才那斜面的高度地方，牠便停止；即使牠後者那個斜面的傾斜度改爲平坦些，也依舊會滾上到同一的高度，祇不過移動距離較長，因而移動狀態慢下來的程度也較小而已。如在斜面逐漸平坦下去，或全不傾斜而成爲平面的時候，那麼，這球便不會慢起來而始終如一的移動過去。

的約言之，凡曾經一度受到力而轉動的球，就會始終以同一的速度而轉動的。

●●●●●●●●●●  
日常習見的慣性

把墨水瓶放在一張紙上，如果能動作很快地把紙抽去，墨水瓶便會還是留着在原來的地方。這是因為墨水瓶由於牠的慣性之故，所以這樣儘是靜止着在同一的地方。至於爲甚麼要動作很快地抽去那張紙才能這樣呢？那是因爲如果不很快地抽，則在墨水瓶的瓶底與那張紙的中間，便有我們將在後面講的那種摩擦力生出來，墨水瓶隨着那張紙一同動了的緣故。祇要沒有摩擦，那怕怎樣抽得很慢，墨水瓶也依然會靜止着在原處的。又，當我們坐在火車裏，當火車突然開駛的時候，我們的身體所以要摔倒下去，也是因爲我們的身體雖欲保持靜止的狀態，但脚底却由於摩擦之故，而想與火車一起移動的緣故；反之，當火車突然停止的時候，我們的身體所以要側向前去，乃是由於運動慣性之故，身體雖想前進，但兩足却因摩擦而不隨身體一起動作的緣故。再，如電車開駛着的時候，車中的乘客，是以同於電車的速度而在移動着的。從開駛着的電車裏跳下來的時候，身體雖以同一的速度而在移動，但踏在地上的兩隻脚，却因摩擦的緣故而不能移動，所以身體便要向前倒下去。當電車疾駛着的時候，如果從車上跳下來，身體的上部就因那速度之故而撲倒在地。因此，在跳下來的時候，應該把身體充分灣向後面，如此，才可在慣性發生作用而身體前傾的當兒，恰恰立直；如果那樣猶不足以抵禦

慣性的作用，則再向前走二三步，如此，即可安然無事。觀於以上所述，即可知不明這樣的道理而從電車或火車上跳下來，實在是非常危險的。

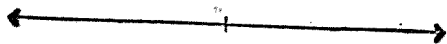
## 5 物體的平衡力

力之合成 用繩繫於石上，拉之而使其移動，不消說，乃是原於力的作用所致。但是，如果再繫上一條繩，由另一個人從反對方用同樣的力來拉，這石便一動不動。這樣的狀態，名為「力之合成」(Composition of forces)。如用線的長短以表示力的大小，用箭頭以表示方向，則力之合成，即如第六圖所示。

當三種力於石頭的一處上發生作用而石頭一動不動的時候，該三種力便已合成；至於這時力的大小與方向的關係究竟怎樣，可說明如次：我們如用圖來表示那些力的大小和方向，用表示其中任何兩種力的線來畫一平行四邊形，再畫一對角線，則牠的長度恰恰與表示騰下來的一種力的那條線相等，而方向則正相反。

合力與分力 這用對角線來表示的力和那用平行四邊形來表示的兩種力，都

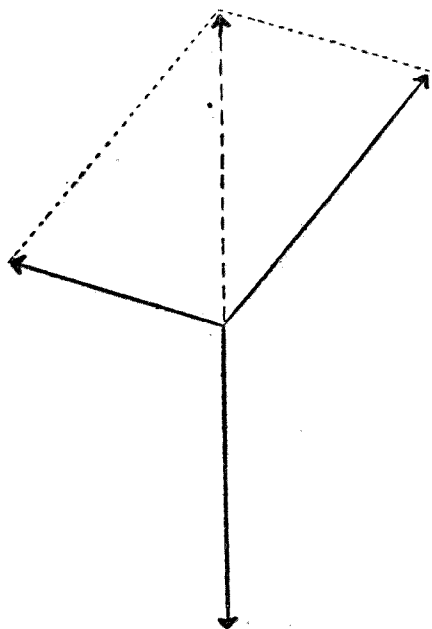
第 六 圖



和另一種力合成在一起，故可知其作用是相等的。

根據以上所說，可知凡作用於一點上的兩種力，牠的作用，與那把表示牠們的線畫成二邊的平行四邊形的對角線所表示的一種力，是完全一樣的。這就叫做「力之平行四邊形定律」(Law of Parallelogram of forces)；而用對角線來表示的那一種力，叫做用兩邊來表示的力之「合力」(Resultant forces)。

第七圖



合力

用兩根繚繩繫在一隻船上，在兩岸拉向前去，這時，就有這樣的合力發生着作用。當三種以上的力發生作用的時，首先依照右述而求兩種力之合力，次則求該合力與另一種力之合力，如此順次求去，即可求得全體之合力。

反之，一種力，可將其分為相當於形成對角線的平行四邊形之兩邊的兩種力。並且，還可以分成無



點，即爲物體的重心。

## 6 重心

觀測重心的方法。像圓和正方這一類正規形而全體的性質又屬一樣的物體，牠的重心(Centre of gravity)則在形的中心。就是因爲作用於物體各部分的引力之合力集中於該處之故，所以祇要支持該一部分，就毫不會偏傾倒任何一方去。如果是圓形的物體，祇須支持牠的中心便足了事。至於不規則形而性質又不一樣的物體，其屬扁平者，可照下述的方法而求其重心：首先，把該物體的一端用線吊起，在靜止時，於該線的延長線之兩側的部分內，一定有同樣的引力在作用着；因爲，否則，該物體一定會動來動去的。所以，重心必在該線的任何一處之中。其次，再把另一端用線同樣吊起，重心也必在延長該線的線內。由此即可知重心即在該兩線相交的地方。但重心這東西，未必一定是在物體的內部的，有時因形狀的關係，也有在物體之外部的。

平衡的穩度。把桌上的墨水瓶稍稍用手一推，手一放開，立即便恢復原狀。這是因爲墨水瓶的重心雖因被手一推而略略高起，但手一放開，便即刻有引力發生作用而使之降低的緣故，像這樣的狀態，



名爲「安定平衡狀態」(State Stable equilibrium)。可是，如果把墨水瓶倒放在桌上，用手稍稍一推，瓶便倒下，這是因爲在被推的時候，重心向下，而引力益發將其吸引下去的緣故，像這樣的狀態，稱爲「不安定平衡狀態」(State of unstable equilibrium)。再把墨水瓶橫在桌上，瓶便在任何位置都靜止着，即使用手推牠，也因重心並不上下之故，仍靜止於原來的位置上，像這樣的狀態，稱爲「中立平衡狀態」(State of neutral equilibrium)。

前面我們講用手把墨水瓶一推，瓶仍會恢復原狀，但這是指從重心引下來的鉛垂線 (Plumb line) 仍在瓶底下而言；如果推勢過猛，而該鉛垂線逸出了瓶底之外，則便不能再恢復原狀了。再者，倒放着的墨水瓶，祇要牠的重心不離開瓶塞與桌面接觸的部分，便不會傾倒。就一般而論，通到重心的鉛垂線愈不容易離開接觸基底的物體的底面，平衡便愈穩定。由此可知，凡物體之重心在下端而底面大者，其平衡的穩度必大。

## 7 摩擦力

何以斜面上不能停放物件。把放着墨水瓶的木板傾斜起來，那怕稍微傾斜一些，墨水瓶也一定

會滑下去的，但實際上，至某一程度如果一不傾斜，便不滑下去。再者，設桌子上有某一樣很重的東西，那東西因為受重力作用的緣故，所以從上面拿起來要有一種力才行，但重力因為祇從下端發生作用，從橫端並不生何作所，以那怕怎樣小的力，如果從橫端加上去，就一定會動的。但實際却是需要大的力的。這全是因為在物體和木板接觸的表面，有一種力在反抗物體的移動之故；這一種力，稱為「摩擦力」(Frictional force)。

**摩擦的定律** 在水平面上放一物體，把連結於該物體的細繩通過滑車，在細繩的一端吊一小盤，再逐漸把有重量的法碼放到小盤裏去，這樣，等到法碼到相當的重量時，物體就移動起來。這時的摩擦力，稱為「最大摩擦力」(Maximum frictional force)。物體雖開始移動，但摩擦力是依舊在發生作用的，祇不過較之開始移動時候的力（即最大摩擦力）多少小些罷了。用這裝置來改變物體的重量而仔細實驗下去，就可以明白最大摩擦力是與物體的重量成正比例的。又，即使物體的重量不變，而和水平的接觸面或大或小地變化，最大摩擦力還是絲毫不變的。要之，摩擦祇不過與重量有關係，與接觸面的大小是毫無關係的。

**摩擦力發生的原因** 摩擦力的發生，是由於物體的表面與接觸面俱有細小的凹凸，因而互相錯

合之故。物體愈重，這錯合愈深，故摩擦力也愈大。同一重量的物體，如接觸面大，則錯合淺，面小則深，故結果還是一樣。根據以上所說，可知接觸面愈光滑，則摩擦力就愈小。又，如果放些油一類的東西進去，則因為兩面的凹凸不相錯合，而油面很光滑的緣故，故摩擦力就益見減小。像這樣所說的減少摩擦的東西，名叫「潤滑劑」(Lubricant)。

**滑動摩擦與轉動摩擦** 把墨水瓶橫放在木板上，即使略略把木板一傾轉，也立刻就滾下去。然而，即使像這樣所說的情形，也並非是完全沒有摩擦力，祇不過非常小罷了。像前述物體滑下時的摩擦，稱為「滑動摩擦」(Sliding friction)；滾下時的摩擦，稱為「轉動摩擦」(Rolling friction)。

一般的車子，在車輪和地面接觸的地方與車軸的地方，俱有摩擦力發生，但前者因為是轉動摩擦，所以非常小，至於車軸的地方，則可用油來減少摩擦力，故較之放在地上拖，還可以用小小的力而搬運貨物。腳踏車和汽車的車輪，因為在車軸的周圍有鋼鐵的珠和圓柱放着，已把滑動摩擦變成轉動摩擦，所以就轉動得益發輕快。

**摩擦力之功效** 這樣，我們人類似乎非常討厭摩擦力，而想竭力減少牠，但在另一方面，摩擦力却是有着非常重要的任務的。舉一個最大的例，就是：我們能在地面上或別的平坦地方行走，就因為有摩

擦力的緣故；如果沒有摩擦，兩足發滑，我們勢必至於寸步難行了。

## 8 彈性

用手把橡皮拉起來，橡皮就能伸長，手放開後牠就縮成原狀。用手把竹竿彎曲，竹竿就彎曲了，但手一放開，就立刻恢復原狀，用手把汽球壓下去，球就變小，但手一放開，就又立刻變大。像這樣一受外力就變更其形狀或體積，外力一去就有恢復原狀的性質，稱爲「彈性」(Elasticity)。這性質，自古以來，即曾被五花八門地利用過，即在現在，也還在被應用於各式各樣的機器上。

物體一受外力所生之形狀或體積的變化，名爲「應變」(Strain)，這應變，如果爲勢太大，不但不能恢復原狀，而且要碎裂或折斷，換言之，即有一定的限度，這名爲「彈性限度」(Elastic limit)。這限度，係隨物體而異，限度大者，即所謂富於彈性，橡皮和彈簧一類的東西，即是顯例。但是，即使在彈性限度以內，如果力的作用過於長久，也還是不能恢復原狀的。

## 第三章 機器的始祖

## 9 能夠移動地球的槓桿

工具的肇端

有一塊很大的石頭，我們要移動牠，試問用什麼方法？把那塊石頭底下的泥稍稍掘

幾下，插進一根堅牢的棒去，在靠近那塊石頭的旁邊，放一樣充當墊子的東西，把棒向墊子用力壓下去，

石頭就移動起來了：這是誰都知道的一件事。不消說，這便是叫做「槓桿」(Lever)的一種工具。人類

從有史以前起，就曾經左思右想地設法用小的力而使生出大的力，這槓桿就是其中最著名的東西。人

類在最早當時就會握棒，大概在揮弄棒的時候，不知因何機緣，而知道這樣是可移動石頭一類的東西

的吧。我們祇須一看埃及的壁畫，就可明白他們在搬石頭來造金字塔的時候，或在搬動石像的時候，都

曾經用過這槓桿。我們對於槓桿，因為天天看慣的關係，所以並不覺得什麼神妙不可思議，但仔細一想，

用手推起來一動也不動的石頭，一用槓桿，就容容易易地移動起來這事，實在可說是神妙不可思議的。

據說甚至連從前希臘的大哲學家而被稱為數字之鼻祖的亞里斯多德，雖曾研究過其中的理由，也終

於弄不明白。到阿基米得 (Archimedes 287?—212 B.C.) 方才明白槓桿的原理；但真正的理由還

是不明白。到後來，才被根據力之合力的道理而完全解釋明白。就是因為加於槓桿的兩極端的力之合

力，於支點上發生作用而合成了的緣故。

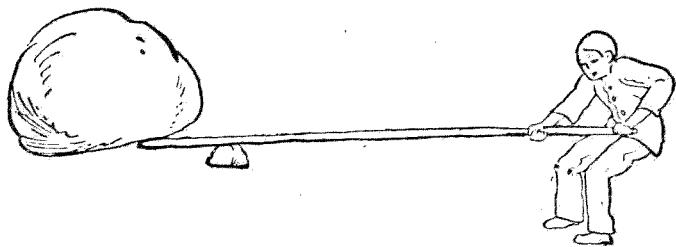
阿基米得氏原理 在物理學上，凡是在一個支點上能自由

移動的棒，叫做槓桿。就前述移動石頭的例來說，充當墊子的東西即為其支點。誰都知道，在用槓桿來移動石頭的時候，應該儘量用較長的棒，而支點物應該儘量靠近石頭；因為當石頭被槓桿移動起來的時候，在棒的一端有石頭的重量加上着，在另一端有手力加上着，而兩者即合成於支點物上。所以，作用於槓桿兩端的平衡力的大小，是與隔離支點的距離成反比例的。就是假設石頭的重量為四〇公斤，手力的重量只有四公斤，如用槓桿來把牠們合成，應該把支點物配以距石頭為一，距手為一〇的比率。這就是阿基米得氏原理。這原理，易以另外的話來說，就是凡是自支點至手的距離愈遠，手力便愈可減少，依這道理來說，則如把那距離成爲非常遠，任憑怎樣重的東西，也沒有不會移動的。因此，據說阿基米得

圖

八

第



槓 桿

曾經這樣說過：「在地球以外的地方，如果能有適當的立足地和支點，那麼，就可用非常長的棒來做槓桿，而把地球移動給人看。」

槓桿的應用 襲用槓桿的原理而增加力的效果的工具，不知有多少，諸如鐵鉗及手揷抽水機等即是。還有天平 (Balance) 和桿秤 (Steelyard)，也是根據槓桿的原理，用以測物體重量的東西。

## 10 滑車與輪軸

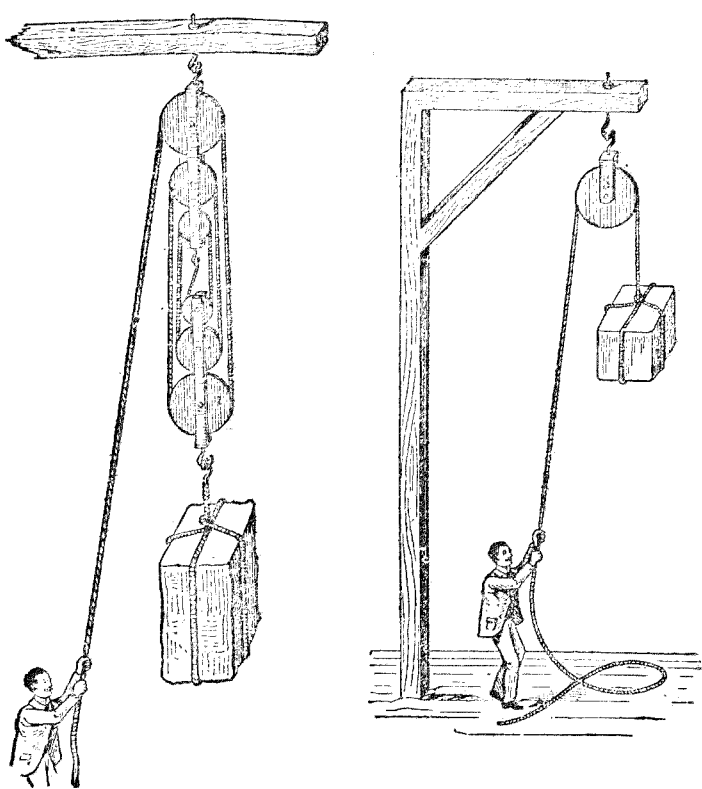
滑車的原理 在鄉間，有一種吊井水用的桶，在橫木下置一個軸能轉旋的圓木，木上就懸着一根繩，兩端各有一個汲水的桶，左端上升，則右端下降；右端上升，則左端下降，於是就可以循環不息地汲水。這個圓板，即稱滑車。滑車還有兩種：他們軸固定不移的，稱為定滑車；能夠自由旋轉的，稱為動滑車。

滑車的構成，也是應用槓桿的原理，即以中軸為支點，圓木的半徑距離處為力點，與支點的距離相等。這樣，力的方向變更之後，懸着的重東西，只要加以半份的力，就可以提起來了。

輪軸 要把水面上的船，拖向岸上來，大多採用一種絞盤車。這是在一根粗的軸上，於直角處插入數支幹木。軸上繫着繩，扳着聯絡在軸上的幹木，沿着一定的方向旋轉，使軸上的繩環轉，則被繫在另一

端繩上的船，就能輕易地提到岸上來了。只要用很小的力，就能牽引重物，其原因，完全是減少懸點的摩擦力，同時，也使力的方向變更。現在凡是汽車、汽船、火車及電

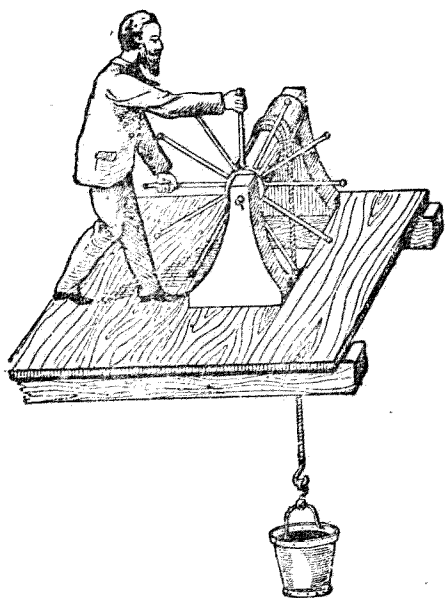
第九圖



右：定滑車；左：動滑車



第十圖



輪 軸

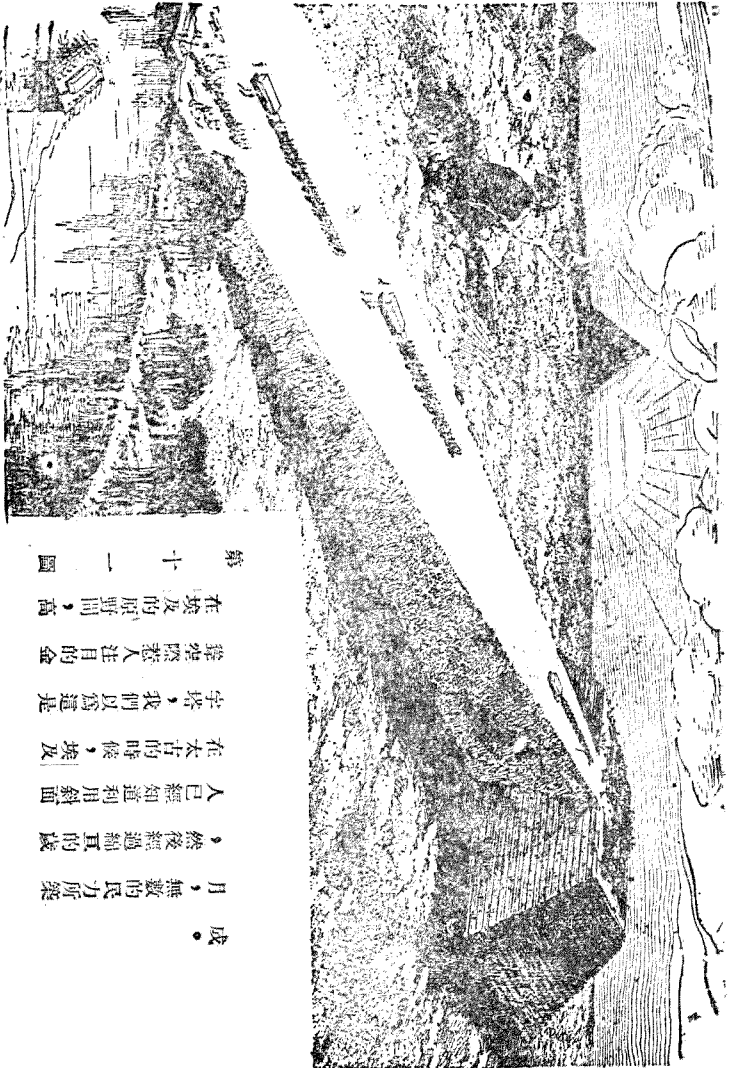
車等的方向轉盤，都是利用這輪軸的原理而構成的，所以應用的方面頗廣。

11 斜面

斜面的利用 槓桿以外，在

有史以前的人類，就知道利用來減少重力的方法，便是斜面。當以狩獵為生的野蠻時代，獵得獸類

以後，立刻帶回家去，走到斷崖的地方，他們就覺得遠不如斜面處的容易搬運，這或就是發見利用斜面的開端罷。埃及人建築金字塔時，據說先從尼羅河至廣漠的平原上，鋪成斜面，然後由船舶運來的大石塊，才能用人力搬運。就是現在，要把在低處的貨物裝到高處的車上，也必定按着斜面敷設一條板，才能把貨物載到車上，這是最普通的事。此外，例如驅車上山，必須循着傾斜着的山道，緩緩地向前進行，都



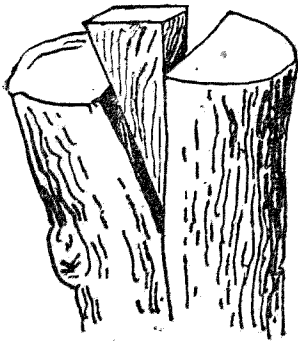
成。  
 月，無數的民力所築，然後經過綿亙的歲  
 人已經知道利用斜面  
 在太古的時候，埃及  
 字塔，我們以為這是  
 擊擊礮人注目的金  
 在埃及的原野間，高  
 第十一圖

是利用斜面的方法。

斜面的原理 斜面之傾斜度愈滯緩，則搬運物體所耗的力也愈少。在數學上研究起來，斜面上物體的重和支之力之比，正與高度和斜面的延長度成等比，即高一公尺而斜面長二公尺，則四十公斤的東西，只要有二十公斤的力就可以支持了，正當物體的重量和支持力為二與一之比。斜面的原理，是從前意大利的加利略由槓桿所發見的，所以又可視為槓桿之變相的活用。

劈尖 依據斜面的原理而製成的用具，種類很多，劈尖(Wedge)也是其中之一。普通所謂的斜面，

第十二圖 劈尖



大多是斜面靜止着，加力於斜面上的物體，而劈尖則反是，別的物體靜止，却在斜面處施用一種力，使物體的兩側，循着斜面而增加其距離，卒至不得不兩相分離。例如分割物體的刀和斧頭等，都是其代表者，不過刀的稜角較小而已。

螺旋 螺旋也是利用斜面的原理而構成的。他有雄螺旋和雌螺旋之別，前者把空隙繫成小槽，後者使隙壁成小槽而恰巧適合雄螺旋的螺條。

有一種螺旋榨壓器，效用很大，並且牠是有非常強的力，只要使用小小的力，就便產生強激的壓力，原來牠是湊合槓桿、輪軸、斜面三種原理而組成的。此外，利用這三種原理而製成的用器，竟是不勝枚舉，所以這實在是所有工具的基礎，看來雖很簡單，而應用之造成的工具，却是複雜得難以數計了。

## 第四章 有趣的力學（液體篇）

### 12 巴斯加原理

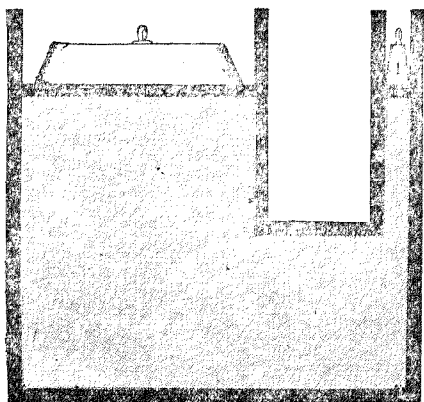
固體的體積和形狀，都不大容易變化。但液體便不同了，牠的體積雖也不大容易變化，可是，牠的形狀却很容易變化。又據彈性來說，則固體具有形狀的彈性，而液體却可以說完全沒有。

把壓力加到固體上去的時候，牠祇能傳達到那個方向；但液體則不然，加到一部分上去的壓力，牠可以傳達到各方向去，而且是以同一的力傳達開去的，這是液體獨具的特性之一。例如，把一定面積的一種力加上到一部分上去，水的全部便都有一定面積的一種力生出來。設在A、B兩個大小的圓筒下通以管子，把水盛入其內，再在水面上密合一活塞。假定A水面的面積為B水面的面積之十倍，則當前

者壓有一的重量的時候，後者便生出十的重量的力。所以，非壓有十的重量，便不能合成。這是法國的巴斯加 (Blaise Pascal 1623—1662) 根據實驗而明白的；有名的所謂「巴斯加氏原理」(Pascal's principle) 就是指這一回事。應用這原理，便有各種用小的力而使生出大的力的器械造出來。那種器械就叫做「水壓機」(Hydraulic press)。但是，因為小水面的移動距離和大水面的移動距離，對於力成反比例的緣故，所以，要把壓力加到小面積上去，必須用唧筒(Pump)來不絕地供給水，而繼續不斷地反覆着。

水愈深的地方，因為在其上面有水的重量壓着的緣故，所以壓力就愈大，並且，因為那壓力是四通八達的，所以，容水的器具，愈是在下端的器壁，便愈受到強烈的壓力。這祇須一看從水缸裏噴出來的水勢就可明白的；就是，愈是下面的洞眼，所噴出來的水勢便愈強。築防水堤等等的時候，所

第十圖



巴斯加氏原理

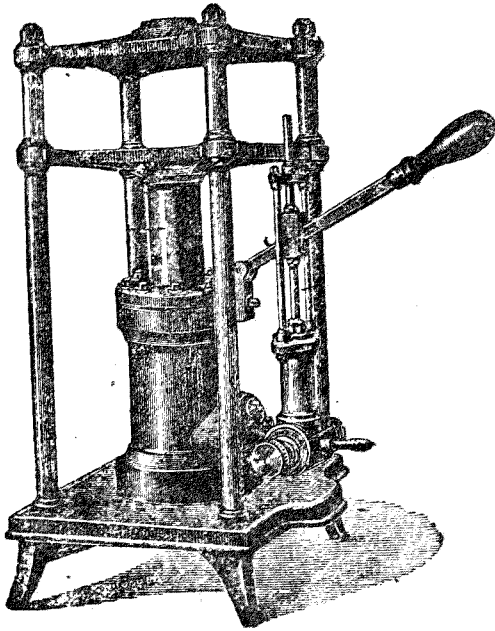
第十四圖

以堤的下部愈該築得厚些，就是根據這樣的理由。

把水放在僅僅底面相同而上面分門的或上面狹窄的器具裏，如果水面的高低相等，則遍及底層

全部的水之壓力，就老是一樣的。由此可知，水中的壓力，僅不過與深淺有關係而已。

盛在底下相通的管子裏的水，所以會保持同一的水平面，也可用右述的道理來說明。因為，如果水面的高低不同，那麼，高的一方面的水的壓力既大，水就向水面低的一方流去，於是便得保持平均。



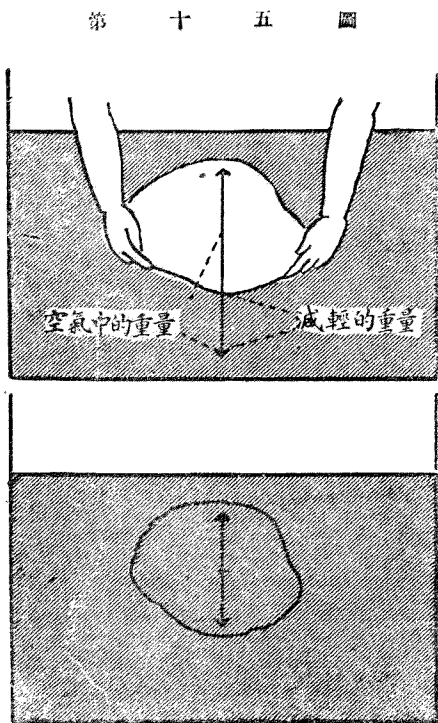
水 壓 機

大都市中所用的自來水，因為蓄水池大都是在較市街為高的地方，所以，流在裝遍於街道下面的

鐵管裏的水，就自然具有強烈的壓力。水的所以能從自來水管裏噴出來，就因為這緣故。

### 13 阿基米得原理

誰都知道，在水裏面把一塊石頭拿起來，遠比在陸地上拿起來較為輕些，這是因為有水的壓力把



阿基米得原理

力的合力和重力恰好合成的緣故，於是這一塊水就得以靜止了。這壓力的合力，便稱為「浮力」(Buoyancy)。

石頭推上來的緣故。倘使在靜止的水中有一塊水，從四面八方有壓力加上着。水的壓力，在愈深的地方愈大，所以這壓力，也是愈在下面的便愈大。因此，這些壓力，結果都是向上的。在這一塊水裏面，有重力在作用着。而因壓

yancy) 現在，我們如果把這一塊水換以同樣大小的物體，則在該物體的表面也有浮力和重力的作用。如果物體的重力大，則該物體即下沉，物體的重力小，則浮力獲勝而物體即浮上。即當物體沉下的時候，浮力也一樣會發生作用而把牠推上來，所以該物體的重量就因而減輕，浮力因與那一塊水的重量相等，所以物體的重量就因而減輕。其所減輕的分量，適與物體同樣大小的液體的重量相等。這便是有名的「阿基米得原理」(Archimedes principle)。

船能夠浮在水面上，乃是因為沉在水下面的部分的容積（即船所排擠開的水的容積）的重量，和船全身的重量相等而合成了的緣故。所謂排水量幾噸，即不過是用所排擠的水的重量來表示船身的重量吧了。

**比●計** 測量液體之比重的比重計 (Hydrometer)，是一種藉液體而利用浮力不相等的器具。就是，使玻璃管的下端膨脹，在下面吊一重錘，在上面刻以度數。把牠放入液體中，使管直立，上端一部分透出液面；因為比重計所排擠開的液體的重量，等於管子的重量，所以液體愈重，管子便愈不沉下。這樣，根據了刻在上面的度數，就可以知道液體的比重。



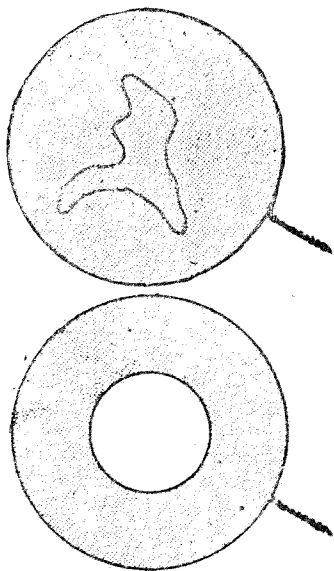
## 14 表面張力

如同美觀的露珠一般，水滴的成爲球狀，乃是從古以來的一個不解之謎，但到後來，方才明白這是因爲液體具有「表面張力」(Surface tension)之故。關於這表面張力，可用下面的實驗而分明地看到。我們把針灣成一個圓圈，浸在肥皂水裏，便有一層薄膜張着，先用一根細線連結那圓圈，起初細線在薄膜上成爲不規則形，但及至一用針來刺破線圈內的薄膜，便立刻成爲正圓形了。這是因爲肥皂水的好像橡皮一般，想要縮緊的緣故，這

便是表面張力。因爲想要縮緊來而表面很緊張，所以名爲張力。

表面張力隨液體的種類而有強弱之別。水的表面張力，因爲比油和火酒等來得大，所以如果落一滴油到水面上去，因爲油面的收縮力

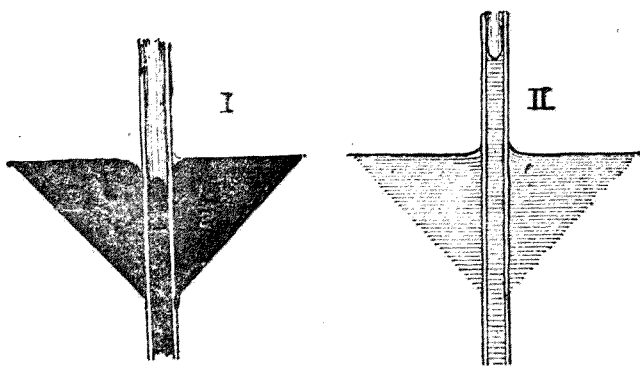
第 十 六 圖



表面張力的實驗

比水面的收縮力小，所以水便把油面拉開，油便逐漸大於水面上。

第十七圖



毛細管現象

I. 玻璃管插在水銀中 II. 玻璃管插在水中

15 毛細管現象

喫過飯後，在食桌上喝茶的時候，把兩只筴放到茶裏去，茶稍微昇上到筴和筴的當中，這是無論誰，從孩子時候起便認為不可思議的一回事。把玻璃管插到水當中，水也一樣會昇上到管子裏來，管孔愈細，水就愈昇得高。這樣的現象，稱為「毛細管現象」(Capillary phenomena)。

原來，凡屬物質，都有一種想要互相凝集的凝集力，還有一種想要和他種物質相附着的附着力；表面能力，即係基於凝集力；毛細管現象，就是由這附着力和液體的表面張力而發生的。倘以前述的

玻璃管來作爲例子而加以說明，則第一，玻璃管插入水中，管外面的壁和水面相接觸，因玻璃管和水的附着力較水的凝集力來得大，所以就有一些量的水沿管壁上昇，如果水沒有表面張力，則液面將成直角，但因有表面張力的緣故，液面就盡量變小，對重力起反作用而把水提高，成爲彎曲的表面了。因此之故，表面張力恰和水的重力相合成，而水便祇能提高到相當的高度。其次，再觀察管的內部，則依同一的理由，水雖上昇，但因爲所提高的水量很少，所以能提高到比管外來得高的地方。可是，如果把管子插到水銀裏面去，則情形便完全相反。其原因完全因爲水銀和管壁的附着力，比凝集力來得小，所以水銀不附着於管壁，又因表面張力之故而想要變小，所以水銀和管子接觸的地方就凹下了。

## 16 波耳氏定律

氣體，不但其形狀可以自由變化，而且其體積也能因壓力而起變化，這是牠和固體及液體不同的地方。氣體因壓力而體積發生變化的比，是和壓力成反比例的；如果壓力加倍，那麼體積便變成一半。壓力加上三倍，體積便變成三分之一。但這是指在一定的溫度下而言，如果溫度變化，那麼，氣體的體積也要照樣變化。關於這一點，且待到後面講熱的時候再講。——上面我們所講的壓力與體積的關係，就是

有名的所謂「波耳定律」(Boyle's law)。

## 17 可驚的大氣壓力

地球的周圍，全被大氣包圍着，我們是生活在大氣的海底下。氣體也和液體一樣，愈深的地方，壓力就愈強；並且也和液體一樣，牠的壓力也是通到四面八方的。地面上的大氣壓力，相當於水銀氣壓計的七六〇公釐的高度，這等於每一平方公分的大氣，有一公斤的重量。

把這大氣的異乎尋常的壓力顯示於人的眼前面的，是德國馬德堡(Mazdeburg)的市長葛利克(Otto von Guericke 1602——1686)。他在距今三百年前，把兩個堅牢的銅製的半球密密地合攏，把裏面的空氣抽出，然後在兩方面各用八匹馬來拉，可是，結果還是拉不開。他曾在大庭廣衆之前舉行這個實驗，因此而驚動了全世界。

普通汲井水用的抽水機，就是裏面沒有空氣而使受着大氣壓力的水吸到裏面去的東西。地面附近的大氣壓力，係相當於氣壓計十公尺的高度，所以，在這高度的範圍以內，水可以吸上來，但比這更深的井，却是不生效的。





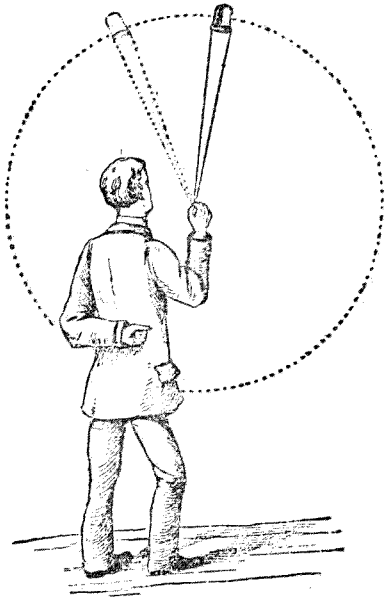
的鎗彈，也成這同樣的拋物線，最後成爲對稱線而落到地面上。那條線的曲法，雖爲最初的速度和被射出去時的角度所左右，但如以同一的速度射出去，則直到落下爲止，距離之最長者，是在用四十五度的角度射出去的時候。可是，因爲有空氣的抵抗，所以在這樣的時候，與真正的拋物線是多少不同的。

## 19 圓運動與離心力

把一塊小石頭繫在繩子的一端，用手揮起來，小石頭便作旋轉運動。小石頭在以等速度作旋轉運動的時候，牠的運動狀態，恰如拋出到空中去的物體：就是，小石頭想要筆直飛去，但因爲繩子用同一的力拉住牠，不使牠飛去，所以便成爲旋轉運動了。一切物體，凡是要作圓運動（Circular motion）的，必須以等速度運動，同時又必須要用一定的力不斷地從一個點上牽引着。據理論的昭示，那力是和物體的重量成正比，而和圓的半徑成反比例。但關係最大的是速度，是與速度的自乘成正比的；即速度如果加倍，牠就必須加至四倍，速度如果是三倍，牠就必須加至九倍。因此，當急速地揮的時候，那牽引小石頭的力便立刻增加，這是我們手上可以很靈敏地感覺到的。如果繩子經不住那力的牽引而斷了，那麼，小石頭便沿着圓的切線的方向飛去。這是什麼道理呢？原來小石頭本依其慣性而要作直線運動的，

但因為有繩子牽引着，阻礙了牠的進程，所以牠不能那樣待至阻力一消失，於是便發揮牠的慣性向外飛去了。

第十九圖



把水放在杯子裏，用力旋轉，水也不會潑出來的實驗。

會放開來，這就是由於離心力的緣故。再者，把雨傘撐開，在雨裏面旋圈子，手把傘旋一個圈子，傘骨立刻水便會因離心力之故而集中於四周的邊上，最後從傘骨的尖上向直角的方向飛去，這離心力已被應用於工業用的各種器械上——有人用一根繩繫在一只杯子上，把水放在杯子裏，用手揮起來，這些都是離心力所造成的現象。而水所以一些也不潑出來，也同樣是由於離心力的緣故。

照這樣講來，作圓運動的物體，屢有欲向切線的方向和去的傾向。換句話說，就是想要離開圓的中心，而那力則和在中心牽引的力合成着。這力便叫做「離心力」(Centrifugal force)——頂摺攏着的雨傘，用



## 20 擺錘

把物體拋到空中去的時候，牠的速度逐漸減少，終於靜止，這和落下來時候恰恰相反。物體在斜面上落下來時候，重力分爲對斜面成直角的力和沿斜面的力，對斜面成直角的力發生摩擦作用，而使物體落下的力則不過是沿斜面的力。這力，不消說是很小的，所以加速度也就很小，物體就慢慢地落下。根據這情形，我們就可考察落下運動的情狀。設把兩個斜面相對地放着，把物體從一邊的斜面上落下去，則物體因落下去而得到速度，所以，由於慣性的緣故，能爬上到另一個斜面去，又因重力的緣故，速度逐漸減少，結果，物體一定會在那斜面上爬上到同樣的高度的。爲甚麼呢？因爲，如果爬上到比原來的地位更高，那麼，就可利用重量而把物體提得很高了，但那樣的事是不會有的。再者，如果不爬上去，則情形正屬相反，根本不能使物體爬上到高處了，這也一樣是不會有的事。所以，物體是一定會爬上到原來的高度的。這是加利略的主張。但撇開斜面，改以在細線的一端吊一重量的擺錘（Pendulum）來談，情形也復相同。就是，當擺錘移動到一邊去，因重力的關係而生出加速度；一到垂直的位置，因慣性的關係而移動到相反的一邊去，但因有重力妨礙牠，所以逐漸生出負加速度，而到了原來的高度就靜止；但因

爲擺錘立刻又開始了相反的運動，所以擺錘就能這樣的繼續來去地運動。假使細線吊着的地方沒有摩擦，沒有空氣的抵抗，那麼，擺錘便始終不會停止這運動。

擺錘每往返一次的時間，稱爲「振動週期」(Vibration period)；振動的一端到他端的長度，稱爲「振幅」(Amplitude)。擺錘有一個值得注目之點，就是，如果是同一長短的擺錘，振動週期和振幅的大小及錘的輕重毫無關係，永遠是相等的。這叫做擺錘的「等時性」(Isochronism)。

時辰鐘(Clock)的始祖，便是最初發明的擺錘鐘，牠是利用擺錘的等時性所創製的。那是用一個金屬製的錨環(Anchor ring)狀物，擺錘每振一次，兩端交相上下，調整齒輪的旋轉，因此而把時間表示出來。齒車的旋轉，從前是靠擺錘的力量但現在則都已改用發條。

## 21 作用與反作用

分坐在兩只小船裏的兩個人，各各握住放在兩船中間的一條繩的兩端，如果一邊把繩一拉，則另一只船就靠近攏來，但在同時，自己坐着的那只船，也以同一的速度靠近過去。由此看來，可知另一只船也在以同一的力在拉這一只船。所以，凡一種物體，使另一物體發生力的作用，該物體必從另一物體受

到方向相反的同一的力，前者稱爲「作用」(Action)，後者稱爲「反作用」(Reaction)。所謂力，就是兩物體間的交互作用，但我們在平常很多祇能看得到牠的一方面。用手掀牆壁，牆壁用同一的力回掀手。我們坐在椅子裏，椅子雖被體重鎮莊着，但在同時，椅子也在以同一的力推我們的臀部。

聽了上面所說的話，或許有人要發生一種疑問也說不定。那就是，如果把力加到一種物體上去的時候，該物體也用同一的力推回轉來的，那麼，該物體豈不是永遠不能推動了麼？然而，這疑問，根據下面所說的例子，即可全告冰釋：坐在大的船裏，用繩子把小船一拉，雖其兩方面都移動，但大船却動得較少，即發生作用與反作用的兩種物體，愈重的物體便愈動得少。如在陸地上拖小船，則動的便僅是小船。放砲的時候，砲彈擁着向前方去的反作用，原可使砲後退，但因砲身很重的關係，所以毫不後退。又如，坐在小船裏，用篙子撐着陸地，這時，作用雖加在陸地上，但却由於反作用而船反而移動。此外諸如這一類的情形，都可以不難依此推想而知。

## 22 萬有引力

關於牛頓 (Sir Issac Newton 1642——1727) 看見蘋果落下而發見了地球的引力，這個故事，

差不多三尺的孩子也都已知道了；但在實際上講來，地球的引力這東西，是在牛頓以前，早已爲一般學者所想到了的。那麼，牛頓所發見的，究竟是什麼呢？那就是發生地球重力的「萬有引力定律」(Law of Universal Gravitation)。

在牛頓發見萬有引力的八十多年前，刻卜勒 (Johannes Kepler 1571—1630) 觀測天體的運動，而曾經闡明天體運動是按照一定的定律的；但後來牛頓却首先研究月球環繞地球的圓運動。圓運動，正如前面所講過，是起原於從中心地方不絕有一種力發生作用而起的現象。牛頓以爲月球的圓運動，一定是由於使蘋果落下的地球重力所引起的，計算的結果，又闡明其餘的行星也因太陽的重力而作圓運動，於是更闡明宇宙間所有一切的物質，都是互相牽引着的，這就是所謂「萬有引力」。牛頓曾說過，這萬有引力是在這樣的定律下發生作用的，即：兩物質間的引力，與兩物質的質量之相乘積成正比，與兩物質間的距離之平方成反比例。

## 23 何謂質量

可是，這所謂質量 (Mass or Quantity of matter) 究竟是甚麼東西呢？

從古以來，以爲物體裏面是含有一定的質量的，相沿呼之爲質量。這質量，如體積增加，牠就增大，但即使是同一的體積，也因物體的種類而異其分量，例如鐵多於石，石又多於木，總之，質量愈大，則便愈重。可是，到後來，知道物體的重量是原於地球引力的緣故，把引力解釋作生出重量的力，而就稱之爲重力。就是，明白物質的輕重是爲地球的引力所吸引之強弱程度如何而定的，於是遂用引力的強弱來表示物體的質量。可是，引力係隨空間的所在而不同的，即使是地球的表面，也是高的地方比較小，所以在那樣的地方，物體就來得輕。隨着和地球一點一點遠起來，引力就小起來，所以物體也就輕起來；如果到了和月球的引力相合成的地方，則重量就完全沒有。就是用引力來表示的物體的重量，因爲並不是絕對的，所以就有將物質的量離開重力而加以規定的必要。因此，牛頓使用所謂物體的慣性來加以規定而的，慣性因爲是不問有無重量，乃物體所具有的性質之故，所以用慣性來規定的質量，乃是物體所固有的東西，慣性愈大，則質量就愈大。再詳細些說，就是在使牠運動或靜止時所需要的力愈多，即質量愈大。如果照學理方面來說，則就是：質量和使變化運動的力成正比例，和加速度成反比例。

在地球上的一定所在，落下的加速度是相同的，所以質量僅和重力成正比例。因此，質量即使用重來比較，也並無不可的。再者，質量雖並不是重量，但通俗一些，就叫牠做重量也並不礙事的。現今用爲質

量單位的公分，就是水一立方公釐的重量。

密度與比重 普通把單位體積所有的質量的數，稱爲該物質的密度 (Density)，如單位體積爲一立方公釐，則規定其質量在水爲一公分；所以，水的密度爲一，鐵爲八，金爲十九。再者，在把同一體積來比的時候，對於水的重量的比，稱爲比重 (Specific gravity)。如將密度照上述的樣子來規定，則密度和比重就完全一樣。

## 24 力的單位

比較力的大小，我們平常都以重力當做標準而說一公分或二公分。這稱爲「重力單位」(Gravationa Unit)；但這重力單位原是爲重力所左右着的，所以並非是絕對的。因此，牛頓就排除重力而另定一種力的單位。

前面我們會講過，要規定質量，可以用慣性，這是根據以下所述牛頓從實驗的結果上得來的定律。那就是，如不絕的把力加給於物體，物體即生加速度，而該加速度係和力成正比；又在質量不同的物體，則加速度和質量成反比由於這條定律，牛頓便不用重力，而以作用於一公分的物體，生每秒一公釐之

加速度的力作爲力的單位，把這稱爲「達因」(Dyne)，這就叫做「力的絕對單位」(Absolute unit of force)。如果每秒生二公釐之速度，則該力即爲二達因；如在兩公分的物體上生那樣的加速度，則該力即爲四達因。換句話說，力等於質量和加速度的相乘積。

在地面上落下來加速度，因爲牠每秒的時間永遠是爲九八〇公釐，所以作用於一公分物體上的重力，就恰恰等於九八〇達因。

## 25 運動量

一達因的力，不斷作用於一公分的物體上，就會每秒生一公釐的速度，但如果那物體本來是靜止着的，而那力祇能發生一秒時間的作用，則那物體在一秒中間便祇能得到一公釐的速度，以後，速度並不增加，即以等速度而運動。這樣運動着的物體，如在一秒當中靜止下來，則就可明白那一達因的力祇作用了一秒工夫。如果物體以每秒一百公釐的速度移動過來，則要在一秒工夫裏使牠靜止，就必須有一百達因的力；同樣，如有一百公分的物體以每秒一百公釐的速度移動過來，則要在一秒工夫裏使牠靜止，就必須有一萬達因的力。要之，凡質量和速度的相乘積愈大，則要在同一時間內使牠靜止，就愈需

更大的力。由於反作用的道理而被靜止了的物體，也以同一的方向相反對方向運動。正在運動中的物體，因其有這樣一種量，所以就把它這一種量稱爲「運動量」(Momentum)，完全是用質量和速度的相乘積來表示。運動量，如果單就速度來考量的時候，則通俗些也可稱之爲勢，就是動得愈快，勢便愈盛，但在實際上，運動量和質量是有密接不可分的關係。任憑速度小到怎樣，質量大的東西，運動量就大；慢慢地靠近過來的巨船，祇要略略一撞船埠頭，船埠頭即被撞壞，就因爲這緣故；再者，質量小而輕的物體，速度如大，則運動量也大；撞在腳踏車上而受到出乎意料之外的大傷者，就是因爲這個緣故。

## 26 衝突力

在一秒工夫裏加作用於靜止的一公分的物體，而使每秒生一公釐的速度的力，是一達因。在二分之一秒裏，加上作用而要使生同一的速度者，需二達因的力；在百分之一秒裏，加上作用而要使牠那樣者，需一百達因的力。那是因爲愈要急急地使物體移動起來的時候，就愈需要大的力。要使物體靜止，在一秒工夫裏使每秒以一公釐的速度而運動着的一公分的物體靜止下來的力，也是一達因；在兩分之一秒裏要使靜止下來，就需二達因的力；在百分之一秒裏要使靜止下來，就需一百達因的力。就是愈要



急急地使物體靜止下來，就愈需要大的力。從被靜止下來的一邊來說，則愈當速度的變化（即運動的變化）顯著的時候，就愈發生大的力。用鐵椎敲東西，該先把鐵椎提得高然後敲下去，就因為要增大鐵椎的運動量，增大敲着東西時的運動量的變化，使生出大的力的緣故。玻璃杯一摔在石頭上，立刻破碎，但摔在草蓆上，就不破碎，這是甚麼道理呢？因為石頭堅硬，玻璃杯所撞着的地方一動也不動，所以運動量的變化很猛烈；但草蓆却柔軟些，和玻璃杯一起運動，所以運動量的變化就緩慢。火車相撞的時候，要發生可怕的慘禍，也就是由於運動量的變化猛烈之故。

## 第六章 功和能

### 27 物理學上的所謂功

我們於日常談吐間，時常用到「功」(Work)這一個字眼。譬如講到某某人家的孩子，在學校裏好學讀書，就說他用功，意思是指他使用肉體或精神上的勞力而獲得某種結果之謂。在物理學上，也用到這功的一個字。但物理學上的所謂功，意義並不是那樣含糊的，乃是指「在一定的時間之內，施力於

物體，而使物體依力的方向移動。」至於功的多少，是用力和物體移動距離的相乘積來測量的。例如，用一千達因的力而使移動一公尺的功，即爲用同一的力而使移動二公尺的功之半。

加力於物體而使物體移動的時候，一定有力在一定的時間內作用着。靜止着的物體移動起來的時候，在從靜止狀態到以同一的速度移動之前，生出加速度，何以會生出加速度，那定是因爲有力在一定的時間內作用的緣故。因此，即使在略略把物體推一推而使物體移動了的時候，力雖爲時甚暫，但已在一定的時間內作用過。又在未到獲得加速度之前，已移動過一定的距離，所以在這時候，功就已告完成，可是，從以同一的速度移動的一剎那間起，力却並不發生作用，是由於慣性而使移動的，所以，以後不論移動什麼地方，就不能數到功的範圍內去。

物體依力的方向行移動的距離，對於功的計算是非常重要的。在這一點上，通常所說的功和物理學上的所謂功，意義便大不相同。例如，有一個肩上揹着一個包裹來搭電車的人，照通常的意義來說，那個人確已將功告成，應該向他說聲辛苦辛苦，可是，照物理學上的見解來說，那個人實在無功可言。爲甚麼呢？因爲，那個人雖然揹着一個包裹而使力作用於上半身，但包裹却並不會移向上邊去。

功的單位。功的單位，平常所用者種類頗多，但依照萬國公制法，則在用一達因的力而使移動了一

公釐的時候的功，稱之爲一達極，並另有專名稱之爲「爾格」(Erg)，但因爲通常用時嫌其太小，所以另外又將爾格的一千萬倍作爲一個新的單位，叫做「焦耳」(Joule)。此外，也有用「呎磅」(Foot pound)來作爲單位的。

機器並不助成功。利用槓桿或斜面，而用小的力來移動重的物體的時候，人所加上去的力雖然很小，但移動距離却很長。反之，在不用那一類東西的時候，被移動的物體雖重，但移動距離却很短。所以把兩者的功計算起來，是全然相等的。因此，照一般來說，無論怎樣的機器，雖能巧妙地使用力，但於功上却是毫無得失。

工率。平常單單講到功，是還並不會把完成功所需要的時間加以顧及。但在實用方面，完成功所需要的時間是很重要的，必須將某單位時間內所成功之大小加以比較。因此，就用所謂「機器工率」(Mechanical power)這稱呼來表示某單位時間內的功之多少。普通是把在一秒鐘裏用一磅的力來移動五百五十呎的功用爲工率的，單位稱之爲一馬力(Horsepower)。

至於物理學上的所謂「能」(Energy)，是專指完成前面所講的功之能力；能的多少，即是用牠所能完成的功之多少來表示的。

## 28 動能和勢能

譬如，有一個以速度  $v$  在移動的質量  $m$  的物體，據計算下來的結果，到靜止時能完成  $\frac{1}{2}mv^2$  的功，所以，該物體所有的能，是比較靜止時多  $\frac{1}{2}mv^2$ 。像這樣繼續移動着的物體，就具有着能，至於能的多少，係關於重量和質量的比例，這我們在前面已經講過了。至於繼續運動着的物體所具有的能，則稱之為「動能」(Kinetic energy)。

其次，高處的水，如果落下來，就得到非常的速度而具有動能，完成功。換言之，即高處的水，即使靜止着，也有着能；至於牠的多少，如以  $h$  為高度，以  $g$  為原於重力的加速度，則計算的結果，計為  $gh$ 。像這樣隨位置的高低而定的能，就稱為「勢能」(Potential energy)。

把拉足的弓一放下，箭就立刻飛去，那枝箭就有着動能，但那是從被拉足了的弓得來的，我們應該認那只弓具有能，因此，就把物體在某種靜止狀態時所具有的能也稱為勢能了。

## 29 能之不滅定律

這樣，物體所具有的能，可完成功；但反之，如把功施於物體，則該物體即會具有能。以上述的弓當做例子來說，則拉足了弓的能，是由手藉功而給牠的。靜止於高處的水的勢能，在落下來時候，變成動能。用棒打動的彈子，碰着另一顆彈子，就可以推移動牠，而本身則靜止下來；這時候，運動的能，已照樣傳給了另一顆彈子了。這樣，功變為能，能變為功，能又從一物體移往另一物體，或變為動能，或變為勢能，但其量却絕無變化。除出勢能和動能之外，另外還有各種的能，火車、輪船、汽車在開駛時所有的動能，係原於煤或油的燃燒熱，因為熱是有能的；而那熱能是在油發生所謂燃燒這化學變化的時候生出來的，牠的根源，就是藏於油裏面的東西。此外，音和光也有能，還有電氣和磁氣的能。

這許多的能，雖然隨同種種的現象而不絕的千變萬化，但能的量却毫不變化；換句話說：存在宇宙間的能，從無窮的過去直至無窮的將來，總是不生不滅，牠的總量，總是不增不減，永遠不變，這就叫做「能之不滅定律」(Law of conservation of energy)

## 第七章 熱

同屬物體，以手觸之，一則覺冷，又一則覺熱，這是甚麼緣故？那是因為物體中含有一樣東西，由於牠所含分量之多寡，於是便有冷熱之不同；這東西，就是「熱」(Heat)。熱離開物體雖不存在，但物體不論在冷的時候或熱的時候，牠的重量毫不變更，所以可知熱並不是物質。再者，把鐵篸的一端插入火中，牠的另一端也立刻發熱，但木棒則否，即使一端炎炎地燒着，另一端却並不發熱，這是因為一則有熱傳至內部，一則不傳至內部的緣故。這樣說來，物質裏面是有傳熱的物體和不傳熱的物體的區別，但其程度則係隨物質的種類而各殊。容易傳熱的稱為熱的「良導體」(Good conductor)，不容易傳熱的稱為熱的「不良導體」(Poor conductor)。

照一般的情形說來，金屬容易傳熱，而其中尤以銀最容易傳熱；銅和鋁較次，鐵等則最慢。木材和布，幾乎是不傳熱的。液體和氣體便全然是不良導體，尤其是氣體，最不容易傳熱。

### 31 對流

由於前節所述的理由，故液體和氣體，即使其一部分已經受到了熱，而別的部分却不會溫暖；但液體一部分一受到熱，就有膨脹的性質，在下面受到熱，膨脹起來，重量變輕，昇到上面來，上面那冷的部分

便代之下去，於是也被燒熱了，這樣循環往復，最後也就全部被燒熱。但如果液體的上部受到熱，則無論經過多少時間，牠的全部永遠不會熱的。凡是熱傳到物質的內部去，稱爲傳導；像液體和氣體那樣由於循環往復而傳得熱，就稱爲「對流」(Convection)。

### 32 熱的移動

良導體的一部分一受到熱，那熱就立刻傳擠開去，全部就成爲同一的溫度；再者，即使把冷的良導體接觸到熱的良導體上去，兩方面的熱也會平均起來，如同盛在兩只器具裏的高低不同的水面，一用管子把兩只器具接通，水面的高低就立刻平均起來一樣。用手觸金屬東西，手所以覺得發冷，是因人體上的爲熱傳到金屬物，而手的熱減少了的緣故。照一般情形講，凡是手觸着物體而感到冷，就是有熱被從手上奪去；反之，凡是有溫度的東西，就不會奪熱。一穿衣服，身體就暖熱者，是因爲衣服和肉體當中的空氣是不良導體，且不易流通，因而身體的熱不易逃走的緣故。

### 33 冰箱

冰箱，是利用熱的時候而冷卻飲食物的裝置。照學理上講來，冰是放在箱內的最高部，因為上面有冰放着，被冷卻了的空氣就變重而下降，下面的暖空氣昇上來又被冷卻，空氣如此循環對流，所以裏面的空氣就永遠是冷的，冷氣這樣滿佈箱內，箱內的飲食物就不致腐敗了。

### 34 輻射熱

把手伸近熱體，就覺得熱。把手伸在熱體上面的時候，雖可說明是因為有被燃熱了的空氣昇騰上來，所以覺得熱，但就是伸在下面，事實上也一樣覺得熱的，這是因為從熱體上有一種類於光的東西（即電波）放射出來，所以就和肉眼感到光一般，手就因而感覺到熱，這稱為「輻射熱」（Radiant heat）。但雖稱為輻射熱，性質和熱不同，這是從有熱的物體上發生出來的。太陽不止射出光，同時又射出強烈的輻射熱，因此我們的世界就溫暖。

輻射熱因為是類於光的東西，所以，既會依直線前進，也會反射，也會屈折。因為是依直線前進的，所以太陽的輻射熱是和光一同發射出來的；愈當着太陽的雪愈容易溶化，就是這緣故。熱的反射，則祇須用下面所說的實驗方法，就可以明白：用一面凸鏡正對着太陽光，日光就集中於一點上，把易燃性的藥



品放在那一點上，便立刻會發火。至於牠的會屈折，用下面的實驗方法，也很容易明白：用一面凸鏡對着日光，日光依舊集中於一點上，把易燃性的藥品放在那一點上，就立刻發火。祇不過牠的屈折和反射的程度，和光稍有不同，用三稜鏡來加以分散，再用寒暑表來一檢視，就可知道是在赤光之外的。

輻射熱和光完全一樣，牠幾乎會透過空氣和玻璃一類的東西，射在白色的東西上會反射，射在黑色的東西上也會被吸收，一被吸收，那東西的熱度就增高。混着泥土而積在地上的不潔淨的雪，所以比潔白的雪容易溶化，就因為那緣故；在夏天穿白色的衣服，目的並非單在看上去發生涼快之感，另外還有驅除日光的輻射熱的作用。

凡是有熱的物體，就全都發射輻射熱。地球上的物體，因為由於太陽的輻射而都保有着熱，所以全都發出輻射熱。但從低溫度的物體發出來的輻射熱，波長頗短，那樣的輻射熱，不會透過玻璃，溫室裏面所以溫暖，就不外是因為太陽發出來的輻射熱，透到裏面來，而裏面的輻射熱不會透出的緣故。

### 35 保溫瓶

保溫瓶，就是根據前面所講的熱的性質而製成功的東西，就是，牠裏面有兩重壁，兩重壁的中間是

空的。所以，熱就不會因對流而傳播；又在兩壁的內側，塗有一層薄金，使輻射熱相反，裏面的不容易射到外面去，外面的不容易射到裏面去，因此，瓶裏面的物體，就能長久保持同一的溫度。

## 36 膨脹

**膨脹係數** 一切物體，一受到熱，牠的體積就要增大，這就名爲「膨脹」(Expansion)。至於膨脹的程度，氣體最大，液體和固體非常小，尤以固體爲最小。寒暑表就是利用液體因溫度之高下而膨脹，藉以測量溫度的東西。

因溫度一度上昇而行膨脹大的體積，稱爲「膨脹係數」(Coefficient of expansion)。例如某物體因溫度上昇一度而膨脹千分之一，則某物體的膨脹係數即爲千分之一。

**固體的膨脹** 固體膨脹係數的值，都非常小，照長度說起來，沒有超過原來的十萬分之三的，可是，就是那一點點的膨脹，有時也不能忽視。用爲長度單位的數的原器，雖用膨脹係數極小而質地極硬的白金和銥(Iridium)的合金製成，但如要依據牠爲精密的標準，也應該用在○度時候的長度。掛鐘的擺錘，長度一不同，鐘遂不準；所以，準確的鐘，應該適當地配合兩種膨脹係數不同的金屬，使之成爲即使

溫度變化，長度仍不會發生變異。

液體的膨脹。液體的膨脹係數，比固體得多。照體積來說，則像酒精一類的東西，溫度每增加一度，可以膨脹到從千分之一至二光景。水的膨脹係數較小，約為一萬分之四。水是一種不可思議的液體，從〇度到四度，雖然溫度增高，却會縮小，以後才開始膨脹而起旋渦。

氣體的膨脹。氣體的膨脹和收縮的程度，是隨溫度的高低而有一定的。就是，每升高一度，就膨脹〇度時體積的二百七十三分之一。但氣體的膨脹，和所受的壓力大有關係，壓力大，牠便收縮，愈欲膨脹，壓力愈大，所以不能照前面的比率膨脹。因此，上面所說的，係指在一定壓力之下的情形。在使氣體冷卻的時候，情形便相反，每一度縮小〇度時的二百七十三分之一。如果一直照這比率縮小下去，那麼，冷卻到〇度以下二百七十三度的時候，氣體的體積應縮小為烏有了，但實際是並不然的。關於這一點，我們將後面講牠，但在理論上，為便利計，可不妨那樣說，而把那時的溫度稱為絕對〇度，以後所計算的溫度，稱為「絕對溫度」(Absolute temperature)。照這度數來說，則攝氏寒暑表的〇度，即等於二百七十三度。沒有物質存在的空間的溫度，即為絕對〇度。



一放入水中，就即刻溶解掉；可是，你如果把一只寒暑表放在那水裏面，就可知道，冰在溶解掉之前，溫度絲毫不會超出零度，等到全部溶解掉之後，水的溫度方才升高。這是因為熱被專誠用去溶解冰，水並不被弄熱，熱好像不知潛伏在什麼地方一般，所以，這叫做「潛熱」(Latent heat)。反之，水變成冰的時候，在未變成冰之前，也不會降下到零度以下的。用來溶解冰的熱，是非常大的，需要使同一重量的水的溫度升高一度的熱的八十倍。

大多數的物質，是因一定的溫度而溶解或凝固(Solidity)的，所以，正如冰的變成水，水的變成冰一般，液體和固體的分別是明白可見的；但在化學成分極複雜的物質，溫度並不是那樣準然有定的，所以隨着溫度的升高，便漸漸溶解，倏地變成液體，如蠟和膠那一類的東西，就是這樣的。

### 39 蒸發

把水放在杯中，會漸漸減少；再者，濕的東西，隔了一會兒會乾燥。這是因為水變成了水蒸氣而發散的緣故，這便稱為「蒸發」(Vaporisation)。

杯中的水，雖然能夠漸漸地蒸發掉，但如在杯上覆了一個蓋，密密蓋住，則起初水雖仍蒸發，但到裏

面水蒸氣達到一定的分量，便不再蒸發。因此，杯裏的水便再不減少。這時，杯裏面的水蒸氣，稱爲已經飽和，那時候的水蒸氣的壓力，稱爲「飽和壓力」(Saturated tension)或「最大壓力」(Maximum tension)。杯內水蒸氣的分量，是隨那時的溫度而異，溫度高則多，低則少。即，最大壓力是隨溫度而大小的，因此，不從杯外加上熱去，內面水蒸氣的量就增多；一冷却，則一部分的水蒸氣就恢復成水。這樣，飽和狀態中的壓力，雖隨溫度而異，但裏面有無他種氣體，却毫沒有影響。不過，如有他種氣體，則蒸發較慢，如果是真空，則較快而已。如不把這一點好好地記在腦中，即不能理解發生於大氣中的蒸發。

大氣中的水蒸氣量，因爲大抵是並不達到飽和的，所以杯中的水或溼東西上能有水蒸氣蒸發。在海面或河面上，也不斷有水蒸氣蒸發的。溫度高的時候，雖然達到飽和，但因爲還需要水蒸氣，所以蒸發就爲勢頗盛；但到溫度一降，便達到飽和狀態；溫度再降，便有賸餘的水蒸氣凝結附着於物體上。夏天早上之所以多露，就因爲白晝蒸發的很多水蒸氣，在近天亮的時候，溫度降低，就凝結的緣故。

## 40 沸騰

加熱於水，水中就有蒸發的水蒸氣成爲氣泡。在那氣泡裏，有壓着水面的大氣壓力和水的壓力兩

者在作用着，等到水的溫度升高，氣泡的壓力增加，而要克服前述的壓力的時候，氣泡逐漸膨脹，最後浮到上面來，這就稱爲「沸騰」(Boiling)。要之，沸騰是在水蒸氣的壓力和氣壓相等時候然後開始的，這時候，是在溫度一百度的時候。這就是何以水要到一百度才沸騰的原因。

水一開始沸騰，以後無論怎樣加上熱去，水的溫度也不會升高。這正和冰在未熔解掉之前，牠的溫度不會升高一樣。這時候的潛伏在不知什麼地方的熱，也依舊叫做潛熱。

在普通氣壓的地方，水到百度才沸騰，但在崇山峻嶺那樣氣壓低的地方，不到百度就開始沸騰。這是因爲水蒸氣的飽和壓力和那地方的壓力相等了就開始沸騰的緣故，而那時的溫度則較百度爲低。因此，在崇山峻嶺那種地方煮飯，因不能得到相當的高溫度，便不能煮到透熟。反之，在比大氣壓力更高的地方，即使到百度，也不會沸騰。在大氣壓力的兩倍壓力的地方，非到百二十度，便不會沸騰。在深深的洞底下，則正和崇山峻嶺上相反，煮飯的時候，雖然不十分沸騰，但即使不沸騰，飯也會煮得很熟。

#### 41 臨界溫度

設有一器具，其中的水蒸氣正達飽和，如把牠一冷卻，則飽和壓力就減少，一部分復成爲水，這是我

們已經在前面講過的了，但如使溫度照舊，把壓力加於該器具，要使水蒸氣的壓力增大，則水蒸氣因為要成為相當於那溫度的壓力，所以一部分也還是復成為水。因此，可知要使水蒸氣變為液體，祇須把牠冷卻，或者加以壓力就可以了。

照這樣說來，似乎不管溫度，祇須加以壓力，水蒸氣就一定變成水了。但實際，那是不成的。水蒸氣的溫度一到三百六十度以上，那怕怎樣加上強烈的壓力去，也不會變成水的。所以，加上壓力去而使之液化，是有溫度的限制的；這溫度，稱為「臨界溫度」(Critical temperature)。在這溫度以下，祇要加上大氣壓力一九五倍以下的壓力，就一定會把水蒸氣變成水。至於溫度，愈低，就愈祇須小小的壓力也可濟事，那是不待講的。

以上雖祇是就蒸氣方面講，但別的氣體，情形也一樣，祇不過因種類的不同，達到飽和壓力的溫度不相同，因而臨界溫度也就有差異罷了。因此，不論那一種氣體，祇要一面充分冷卻到牠的臨界溫度以下，一面加以壓力，便沒有不成為液體的。

氨和碳氧氣，一加壓縮，就容易液化，但減少壓力而使牠蒸發，因為要奪去多量的熱的緣故，溫度也就同樣會降低。人造冰就是利用這一點而製成的。

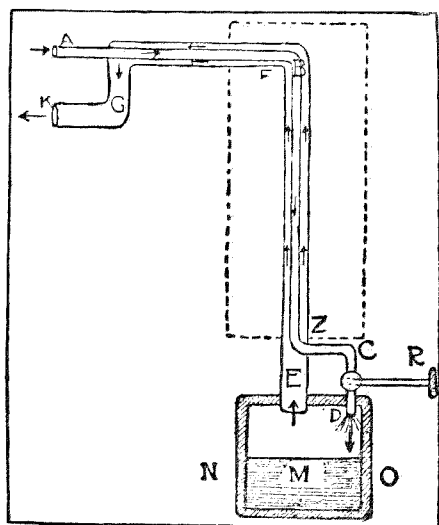


## 42 液態空氣

在從前，由於那怕怎樣把空氣、氮、氧一類的氣體加以冷卻，並加以強烈的壓力，也不能成液體，所以斷為決不能成爲液體的，而把那類氣體名爲永久氣體 (Gases)；但自從獲悉所謂臨界溫度後，就想像到從來所用的冷卻方法，因爲不能使冷卻到臨界溫度以下，所以不能液化，於是遂研究一種使冷卻到非常低的溫度的方法。等到該方法告成，果然也能使那些東西液化了。至於這一類氣體的臨界溫度，則氧爲零下一一八度，空氣爲零下一四〇度，氮爲零下一四六度，氫甚至爲零下二四一度。

林得的裝置。那麼，怎麼能夠使氣體冷卻到這樣低的溫度呢？就是利用氣體的壓縮之則生熱，膨脹之則失去熱的性質。例如，在液化氣體的時候，對氣體加以很高的壓力，把由之而生出的熱拿掉，減低溫度，然後使之膨脹，則溫度便會比不拿掉熱而使之膨脹的時候來得低。液化氣體，就祇須把上述的手續反覆幾遍便可以了。空氣的液化，到公曆一八九五年才經林得 (Linde) 的研究而告成功；至於他所發明的裝置，則如第二十圖所示。

可是，如果把特意製成成功的液態空氣放入在普通一般的器具中，則從溫度的比率上來說，是全然



林得的空氣液化裝置

把溫而被200氣壓壓縮的空氣，自 ABCD 的管子進來。用活塞K加以調節，空氣就從C走進NO的裏面，但因為NO裏的壓力祇有20氣壓，所以便立刻膨脹而冷却到程度很深。冷却了的空氣，經EFGK的管子而回出去，那時，ABCD管子內的空氣正被冷却，所以，在走入NO裏面而膨脹的時候，就較前更加冷却。後再經EFGK的管子而使ABCD管子裏的空氣益發冷却。這樣，ABCD管子裏的空氣便更加冷却，最後就成為液體而積於NO裏面的底下。從EFGK回來的空氣，因唧筒而再被200氣壓所壓縮，因為生出了高度的熱的緣故。實際上，被點線圍住的部份，此數百公尺的管長，已經很容易使空氣冷却了。

和把水放到炎炎的火爐裏去一樣轉瞬之間，就要因沸騰而變為沒有的。於是，因為要保存牠，就有杜瓦 (Sir James Dewar, 1842—1923) 研究成功的裝置，那就是保溫瓶的起源。由於這保溫瓶，就可把液態空氣保存到幾個星期，又可輸送到遠地方去。

液態空氣，是略帶青色的透明的液，比重和水也沒有多大分別。但是，一把牠盛入在器具中，牠的周圍就立刻被濃厚的霧所包圍，從邊上溢出來，成爲美麗的雲。

這是因爲液態空氣非常冷，牠的旁邊的空氣中的濕氣凝固了的緣故。液體空氣，正如這樣所說，是水一樣的東西，但用手碰上去，却是了不得的，正和被火燙傷了一般，手會爛起來，經幾個月的功夫也醫不好的。但如稍微碰碰，就祇不過覺得和碰柔軟的坐墊，完全一模一樣，此外別無什麼礙事。

這是因爲手的溫度比液態空氣來得高，立刻生出空氣的蒸氣，皮膚並不直接碰到液態空氣的緣故。把液態空氣洒一二滴在皮膚上面，就如同碰着了血紅的熱鐵一般，也會灼傷的。因此，凡外科醫生在要燙去傷處的時候，就時常應用液體空氣。

●●●●●  
火●上●成●冰●  
●●●●●  
用液態空氣，可以從事許多

第 二 十 一 圖



在冰上面沸騰的沸水壺

神妙不可思議的實驗。把液態空氣注射在冰塊上，就立刻噉地響一聲而發散完結。這是因爲冰的溫度要比液態空氣高出一百八十度，全然像把水淋到燒熱成血紅的鐵板上去一般的緣故。把液體空氣盛入在沸水壺裏，放到冰上面去，就頃刻以猛烈的聲勢而沸騰，從壺口裏噴出白的水汽來。如果放到炭火上面去，那麼，不消說，自然益發沸騰得利害，頃刻就變成沒有；但那時候如果把水倒進到沸水壺裏去，則水便立刻變成冰，沸水壺的下面還覆有一層固體的碳氣和冰。就是在火上面，可以使碳氣和水蒸氣凍結。而且，這是在與炭火僅僅離開三裡的地方發生的現象。更其可驚的，是向盛有液體空氣的器具吹一口氣，裏面的水蒸氣就立刻成爲雪而被吹回來。

#### 44 液態空氣的利用

當液態空氣恢復成爲空氣的時候，便成爲普通溫度和壓力下的空氣的七百五十倍的容積。因此，如把牠密閉在器具中而從外面加上熱去，就會猛烈地爆發，如再混以油一類的東西而燃起火來，牠的爆發力便益加厲害。這是因爲當液態空氣一蒸發，就生出濃厚的碳氣，油遂迅速地燃燒的緣故。實際上，開煤礦等的時候，時常用牠來代替炸藥，因爲牠沒有炸藥那樣的危險。炸藥往往會炸傷人，這是因爲逢

牠不炸而在走去拿回來的途中忽然爆炸了的緣故，但液態空氣却不然，如果在幾分鐘裏不爆發，則因為已幾蒸發完了，決不會再炸，所以沒有危險的。

空氣是氮四和氧一的混合物，而氮的沸騰點為零下一九五度，氧的沸騰點為零下一八三度，故在液體空氣沸騰的時候，其中沸騰點低的氧首先成為氣體，繼後則氧成為氣體。因此，利用這，就可將牠們兩者劃分清楚。工業上用的和醫病用的氧，就是這樣造成的。

## 45 液態氫

液態氫 (Liquid hydrogen) 這東西，是杜瓦開始製成的，同樣是壓縮在二百氣壓下，但要把牠冷却，却用液態空氣。這樣，一冷却到零下二五·六度，氫便成為液體。液態氫雖有不同於液態空氣那樣的作用，但有一極不相同之點，就是牠是非常輕的。氫的重量，為水的十四分之一，實在是比截至目前為止所知道的任何液體為輕。不論是軟木塞、木片、或是油，放到水裏面去，都是浮在水面上的，這是誰都知道的事。但如果把那些東西投在液態氫裏，却非常奇怪，立刻就沈到下面去，完全像把鉛投到水裏去一樣。當液態氫蒸發的時候，因為奪取熱的緣故，所以益發冷却，如果冷却得厲害，騰下來的液態氫就成為

像冰一樣的固體，那時的溫度，是零下二五八度，距絕對零度實際祇不過十四度。在最近，曾告成用同樣的方法將氦（Helium）加以液化，到這樣的程度，那沸騰點是絕對零度的四五度，由那蒸發，可以冷卻到絕對溫度的三度。這實在是人類所能造成的最低溫度。

## 第八章 分子的活動

### 46 分子力

在本書的第一章裏，我們曾經講過：一切物質，都是稱作分子（Molecule）這一種微粒（那是小到用肉眼來看固不消說，就是用顯微鏡來看也看不出的）的集合；而那分子則又為原子的集合。這樣的學說，是站在很確實的根據上的。以下，我們就要講那分子究竟是在怎樣的狀態下組織成物質的這一個問題。

現在首先講固體。固體物，牠的形狀不變，要把牠分裂為兩部分，需要相當的力，這事，祇須一想到固體分子密接而互相以強力牽引着這一點，就能詳細說明。那所謂牽引力，就是牛頓的所謂引力，分子非

常接近，那力非常強，所以特別稱之爲「分子力」(Molecular force)。就是，分子藉分子力而互相牽引，保持着牠的位置。那麼，分子可是全然靜止着的麼？分子因爲是那怕用顯微鏡來看也看不到的，所以，不消說，要解決這問題，就應該用別的什麼間接的方法。

#### 47 固體分子的活動

正如前面所說，熱是一種能：熱變成功，功變成熱。現在，假定有一物體靜止着，則那物體即沒有能。因爲，這也正如前面曾經講過，一種物體的動能，是和牠的質量及速度的平方成正比例的，而靜止着的物體，則速度爲零，故動能也爲零。可是，加熱於那物體的時候，那物體的溫度雖升高，但速度却毫不變化，依舊是零。速度既爲零，則那物體的動能自然也一樣是零，因此，就可明白那熱的能祇不過是外觀上的動能，並不會加於物體上。那麼，那熱的能到什麼地方去了呢？要說明這一點，祇須把下面所講的思想就可以。組織成固體的分子，在一點的周圍運動着，被加上去的熱能，增加牠的動能，又因隨分子運動的加甚，那物體所發的熱就增多，所以物體遂發熱，這就叫做「分子運動」(Molecular motion)。

## 48 固體溶化的原因

固體的分子運動，可認為有兩種：一種是自得其樂般的旋轉運動，又一種則是像擺錘一般在一點的前後左右振動的運動。現在先就後一種運動講。物體如受到多量的熱而熱能的增加頗多，則分子的運動也大，分子的速度逐漸增加，振動變大，離開原來的一點漸遠。可是把分子牽引攏來的分子力，因為距離一增加，就立刻減少的緣故，所以，當一個分子和隣近的一個分子離開得過分遠的時候，就不能再把牠牽引攏來。再者，逃走開去的分子的速度愈大，要牽引牠就愈需要大的力，所以，即使根據這理由來說，分子和分子也是很容易脫離的。而且，熱度一高，到最後分子相互間便不能保持各自的位置，互相雜亂無章地行動起來，不能保持原來的形狀。這時，地球的引力發生作用，於是就滴瀝滴瀝地流落下來。這就是所謂溶解的現象。

這樣，分子如果要互相脫離隣近的分子的束縛而自由行動，就必須要完成相當多的功，於此就甩掉很多的能。因此，固體在未溶解成液體之前，即使加上熱去，牠的溫度也不會上昇。冰未溶解完之前，水的溫度不會昇高到零度以上，就因為這原因，這便是溶解的潛熱。



## 49 分子擴散的原因

固體即使溶解成爲液體，也決不是完全不受近旁的分子的分子力，比之固體的時候，力量雖非常薄弱，但依舊是互相束縛在一處的。所以，分子的速度，是不甚快的。再者，分子和分子中間的距離，因爲也是很狹窄的，所以也時常起衝突。因此，分子雖不能很快地從這一點飛往他一點，但一切分子，都是漸漸在移動牠的位置的。

由這一點，就可很明白地證明擴散的現象。試在一只玻璃杯底下放入一些硫酸銅的溶液，再輕輕地注一些水到牠的上面去，則因爲硫酸銅的溶液是很重的，故在這兩液之間，就生出很明顯的界限：就是界限上面爲無色，界限下面爲青色，但隨着時間的經過，那界限逐漸模糊起來，過幾天之後，就混和爲一，這便是擴散的現象。硫酸銅的分子重，水的分子輕，所以，如果牠們不運動，則兩液的界限就永遠會判然劃清着的。然而，這樣的現象的所以會發生，如果不以爲是分子在移動，便決不能說明。

## 50 表面張力的原因

就液體的一個分子來加以考察，則那分子是被周圍一切分子的大同小異的力所牽引着，不管那個分子，都是這樣的。但那些力並不是完全相等的，所以分子並不靜止於一定的點上，而是在移動，因而液體就流動。但在相互之間，却是有某種程度的束縛的。可是，液體表面的分子，却稍異其趣，力量及到表面的分子的分子，祇有內部方有，所以僅被內部牽引着。因此，液體的表面就被內部所牽引着，表面張力的現象，似可說，即由於這緣故。例如，水滴的成因之類，根據這道理，就很容易說明了。

## 51 失散的分子

物體分子的動能，乃是該物體的溫度所左右，這我們在前面已經講過。某物體被加上某一種的溫度，該物體的一切分子就有某一種的動能。就是，那些分子的移動速度是一定的。但是，那是一切分子的平均速度，至於各個分子，却是由於相互間引力的干涉之故，以不同的速度而移動着。這是根據後面所講的氣體分子的運動狀況也可以想像的。試觀察液體的表面分子，則前面曾經講過，牠們都是被內部牽引着的，但其中也有移動得特別快的分子，牠們反抗從內部伸張出來的力而想飛出去，稍微一跳，雖然也有被拖回轉去的，但非常快地飛了出去的，却就此逃出液體而不受羈束，飛行於空間。液體的所以

即使用普通的溫度也會蒸發，就因為那緣故。加熱於液體，液體分子的平均速度便變快，從而從表面飛去的分子也就增多，所以蒸發就厲害起來；如果一直加以熱去，則液體就會完全蒸發完。

液體的一部分被熱得非常厲害，那一部分的分子就開始猛烈的運動，你衝我突，於是分子和分子間の間隔就擴大，想擠開別的分。但液體的表面却受大氣的壓力，那壓力通到內部，壓迫液體的表面，可是，等到泡內分子的運動更加猛烈，最後就戰勝大氣壓力，而把周圍的分子擠開，所以就發起泡來，而浮上到液體的表面，這就是沸騰。如果加上去的熱，益發增多，則許多的分子就一起開始那樣的活動，所以便很猛烈地沸騰起來了。

## 52 氣體的分子

飛出到空間的分子，運動速度非常快，所以相互間不受束縛，自由在地飛走，這就是氣體狀態。就是氣體和液體的相異之點，即在分子和分子間的距離遠，速度快這一點；液體成爲氣體的時候，其容積的所以會增大，從這事上就可以很容易地說明。

再者，在許多分子的裏面，雖多互有引力的作用，但就全體而論，分子相互的作用，不妨可認爲是沒

有的。因此，氣體和固體或液體不同，分子的狀態很簡單，所以，應用了數學可以求出量中間的種種數量的關係。

這樣，在氣體，分子和分子間的距離雖遠，但因為有很多的分子飛起來，所以在其間便起衝突。現試觀察一個分子的運動，則在前本是依直線前進，但立刻和另一分子起衝突，撞開那個分子，同時自己又跳回來，轉變方向，又依直線前進，但頃刻間又和第二個分子起衝突，把那分子撞開而跳回來。這樣，分子是不斷和別的分分子起衝突，每當衝突一次，就要變一次方向而前進，所以，分子的路徑，大都盤根錯節，多數直線的不規則形。這是不問那個分子，全都這樣的。而氣體的分子，却是向一切的方向飛來飛去的。

氣體分子的運動狀態，因為是這樣的，所以把氣體放入器具內，無數的分子便不斷的在那壁上起衝突；盛滿全器的氣體，所以壓力會及於器壁，就因為那緣故。把氣體一熱，牠的分子的運動速度便益發增大，衝突也很猛烈，所以便互相飛散開，於是發生所謂膨脹的現象。在充滿於器內的時候，因為在器壁上衝突的聲勢益加猛烈之故，故器壁所變的壓力，也就益發加甚。蒸氣機關的推動活塞的強力，就是這樣發生出來的。

依照以上所述，把物體認為是分子的集合，物體受熱能便運動，就有各種的現象都很容易地加以

說明就是固體、液體、氣體的狀態固不待說，不但固體的成爲液體和液體的成爲氣體的變化，以及潛熱、擴散、表面張力、氣體的膨脹等等物理的變化等都可以很容易地說明，甚至連物質化合時的化學的現象，也可巧妙地說明了。

## 第九章 分子的大小和運動速度

分子確是個跳舞的能手。牠終年跳來跳去地跳着這事，雖已爲大家所承認，但關於牠的多少大小，重量若干，以及運動的速度幾何等等，却還全然不明白。僅不過關於分子和原子的比較重量，自亞佛加德羅（Amadeo Avogadro 1776—1856）以來，經許多學者研究的結果，方才知道一些罷了。固然，隨着顯微鏡的發達，同時會繼續不斷努力於想欲鑒別物體的分子，可是不幸，一切的努力俱歸泡影，故在現在，祇能根據別的什麼間接的方法。

但自從一八六五年所發表的羅斯密特（Loschmidt）的研究以來，再經其後學者的驚人的研究的結果，在現在，根據了以上所說的氣體分子的運動說作爲基礎的間接方法，可以把分子的大小、重量、運動、速度等，都很巧妙地加以測定。





爲空氣的分子，決不一起飛往同一的方向去的，所以我們不致受到這種災難。可是，空氣的某一部分分子，却的確是在我們身體的全部衝突着，因此，如果空氣分子的運動突然停止，則血管便膨脹而破裂，我們便將立刻死去，這是馬克士威（J. C. Maxwell 1831—1879）曾經講過的話。

## 55 每秒衝突百億次

現在我們要講到分子在運動的時候，每秒鐘大約發生多少次的衝突，這根據下面所說的道理，就可以知道。熱空氣和冷空氣互相接觸時，不久兩者即混合，而溫度變爲相等。這溫度相等起來的程度，稱爲熱傳導度。熱傳導度是分子的運動愈猛烈愈快的，所以，把熱傳導度加以測定後，就可明白分子每一回直線運動的大小。可是，正如前面也曾講過，分子每秒的速度，氫爲一、八四〇公尺，即在每秒間前進一、八四〇公尺，所以，如用一次的直線運動的距離來除牠，即可明瞭每秒間作多少次的直線運動。換言之，這就是每秒間和別的分子的衝突的次數，而這次數，至足驚人，竟達百億次。

## 56 布朗運動

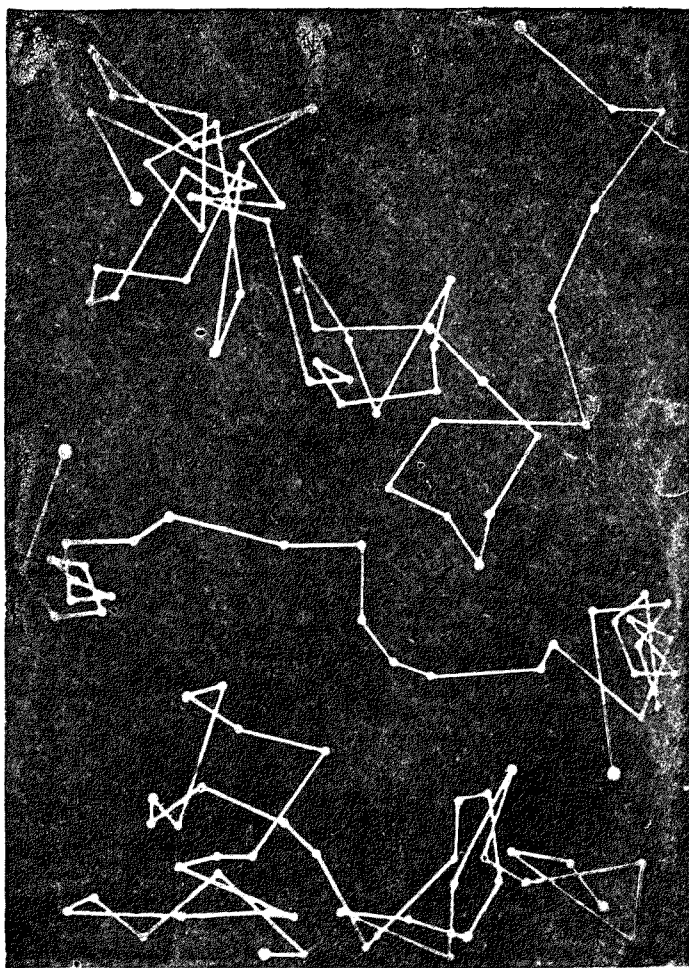


仔細想來，前面所說的分子的大小、重量、速度等等，我們自始都是基於假定，而且是間接加以測定，並不是直接看到的，所以，你如果要懷疑牠，也沒有不可懷疑的道理。這些結果，實際上並不是由於分子或原子相集合而發生的，無非是假定物體全體上有分子或原子集合着罷了；你如果要作如是想，也沒有不可的道理。如果分子是運動的，這一個證據既經得到，成爲並不單單是假定，那麼，那樣的懷疑，似乎

是應該冰釋消失的。

但現在恰有一種可以成爲分子運動的證據的現象，是甚麼現象呢？那就是叫做「布朗運動」(Brownion movement)。

自從顯微鏡被發明以來，關於水中的微生物都在運動這事，已爲衆所週知；在距今約百年前，英國一個名叫羅勃脫·布朗 (Robert Brown) 的植物學家，把花粉浸入水中，用顯微鏡來一看，發見那花粉都在運動。起初以爲莫非是細菌或別的什麼生物的作用，但再把非常細小的油滴散在水中，用高度的顯微鏡來一看，看見也一樣在動。後來，他把鋁、鎳、硫黃等的極小的微粒，浮在水上而細加檢視，結果也是一樣。那運動是一面小而迅速地振動着，一面屈曲地移動前去。不是生物的東西何以會動的呢？這問題，頗引起當時一般學者的興味，而爲許多學者所研究；冠以發見這運動的人的姓，即名之爲布朗運



利用從節眼裏射來的陽光而塵埃被照出來的道理的限外顯微鏡，觀察澱粉等溶在水中的所謂白膠質的狀態的液，在黑的地方可以明顯地看到膠質的微粒。這些微粒，非常神妙，會像上圖一般不規則而活潑地運動。這現象，冠以發見者的姓，就名為布朗運動。

動。這現象，我們用顯微鏡來察視的時候，就可容易地看到，但如果特地要實驗，則最好用藤黃的粉。

這布朗運動，久爲學者之謎，但隨着分子研究的進步，後來就想到那原來是立足於水的分子運動上的。如前所述，水的分子既是向各方向運動着，則那些分子自必不絕的向水的一粒起衝突。粒愈大，衝突的分子數愈多，從前後左右衝突過來，所以，那些力相平均，而粒不動，但隨着粒的變小，衝突數遂減少。但如果是非常小的粒，則衝突的分子祇由一邊增多，結果粒就移動。但在那中間，又有衝突的分子從別方面增多起來，於是遂被移動到不同的方向去，因此，就發生屈曲的運動。

觀於以上所說，則所謂布朗運動，解釋分子是運動着的這一點，雖依舊是間接的，但實在已可視爲確切的證據了。所以，正如確定有烟必有火一般，分子的運動，已非僅是假定了。

## 57 限外顯微鏡

再者，到最近，已有一種向分子的較大者親眼看微粒運動的方法發見，據說藉那方法，還可以實際看到大的分子，這方法，就是用限外顯微鏡（Ultra-microscope）。

原來，我們看見物體，是由於有光照着物體，那光反射進我們眼裏來的緣故，不反射光的物體，便不

能看見。試看打攏到海邊上來的波浪，波浪打着大的岩石，便反射，打着小的岩石，便躍過岩石而不起反射。正和這情形一樣，光波在照着遠比牠的波長來得小的物體的時候，並不反射，因此，像那微細的物體，任憑拿擴大力怎樣強的顯微鏡來看，也是看不到的；那怕將來顯微鏡的擴大力怎樣增強，也終究是看不到的。用現今最好的顯微鏡，所能看到的最小的微粒，是直徑一公釐的七千分之一的物體，這大約等於眼睛所感到的最短光波長度的一半。但分子的大小，却還比牠小幾十分之一，所以不能不拋棄希望的心，而認為是永遠看不到的。

但現在却有一樣能看到那樣細小的微粒的方法，那就是使那微粒從牠本身上發出光來，就是，在放入微粒的液裏面，用透鏡集中太陽的光線而作成了焦點，然後用特別的顯微鏡來看。集中了的太陽光一照着微粒，微粒就振動，繼即發生光波，由此，我們即可獲觀那微粒。這樣的裝置，就是限外顯微鏡。

## 58 結語

以上所講的，主要為關於截至十九世紀末所發達的物質構造的學說。現在總括起來講，則一切物質，任你用力把牠搗至怎樣碎，最後總成爲碎無可碎的微粒。如果強欲再加搗碎，則該物體的性質早已

無存，就叫做分子。分子的大小，直徑約爲一公釐的五十萬分之一光景。分子是在運動的，尤其氣體的分子，是以每秒一千公尺左右的速度在飛走着的。物質性質的所以不同，是由於分子性質的不同之故；物質有多少種類，分子也即有多少種類。但分子並不是構成物質的最後的微粒，分子是比把更小的叫做原子這一種微粒集若干粒而成的。原子是構成物質的最後的微粒，不能搗碎至比牠更小。原子約有一百種光景，分子性質的所以不同，就因爲組成牠的原子的性質、數目、結合方法不同的緣故。萬樣物體，結果俱歸根於這近百種的原子。以上即爲在十九世紀之末支配一般學者的主張。由這主張出發，就相信一切自然界的現象，都是由於原於這樣的構造物所發生的變化而發生的；其中即依分子的現象而變化的，爲物理現象；由於構成分子的原子的結合而發生變化的，爲化學現象。因此，物理學者便如同由這分子的運動來說明熱的現象，由其配列或作用於相互間的力來說明彈性一般，想以分子來說明一切物理學上的現象，還想由原子的離合集散來說明化學的現象。這樣，正和一架機器的由各部分的配合而造成及發生作用一般，以爲物體也是由分子所構成而後顯出種種的性質和作用的，這就稱爲機械的物質觀。

## 第十章 化學的神祕

### 59 物質不滅

存在世界上的物質，種類頗多，只要我們抬起頭來看看，就在眼前的，已有一二百種，例如書桌上有筆，墨，紙，硯等等，這許多東西，都是各種不同的物質所構成的。紙之構成，有構成紙的物質；墨之構成，有構成墨的物質。由此類推，可知廣大無邊的宇宙間，物質的種類，實在是不勝枚舉了。並且有許多專門的學者，還陸續發見了許多常人所不知道的物質，確定了這新物質的存在。所以世界上究竟有多少物質，其種類是難以計算的。

但是這許多無限數的物質，不論是天然物，人工物，甚或至於生物，非生物，都是少數稱為「元素」的東西所組合而成的，把牠們仔細分析起見看，原來構成這無限種的物質，不過是少數的元素罷了。這種種元素的種類，現在我們知道的只有九十多種，但有人猜想，大致有二百種以上。這些元素，因組合上的不同，便構成了各種不同的物質的分子；換句話說，只要元素的組合不變，那麼這種物質便不能變為別

## 種物質。

物質的變化有兩種：一種是物理的變化（Physical change），另一種是化學的變化（Chemical change）。海水蒸發而成雲，雪積於高山而成冰河，這時的水，形體雖然變了，但仍由是水的分子，原子的組合也一點兒也不變，照常是氧元素一和氫元素二的化合。這樣的變化，便稱爲物理的變化。燃炭的時候，牠有一部分原子和空氣中的氧化合，成爲二氧化碳，散發於空氣中，這時，牠的原子結合變了，成爲新的物質，這樣的變化，便稱爲化學的變化。——但是，元素的原子，並不是永久不變的，例如鐳和鈾等具有放射性物質的原子，我們知道牠會變成別的元素，那麼其他的元素，難免也會改變的吧。

## 60 化合的現象

不同的物質，結合而成爲一種新物質的化學變化，稱爲化合（Combination）；由化合而成的物質，稱爲化合物（Compound substance）。把硫黃的細屑和銅的細屑混合起來，成爲綠色的粉屑，但用顯微鏡仔細察看起來，硫黃是硫黃，銅是銅，並沒有互相化合，不過混合在一起而已。但如果加以相當的熱，則兩種物質間便突然爆發而發光，冷卻以後，便成爲黑色的一塊東西，既不是硫黃，也不是銅了，已成爲

兩者的化合物。這時，如果再用最高倍數的顯微鏡看起來，就不見原來的兩種物質的細層，因硫黃和銅已經化合了，成爲硫化銅。當牠們化合時，因爲原子間發生了一種動亂，所以能發生光和熱，至於混合物在混合時，便沒有這種作用了。

## 61 可驚的化合力

化合時發生的光和熱，原來是由於原子間的吸引力。從前，把這種吸引力認爲是萬有引力，其實，他的力比較萬有引力更強。據學者的研究所得，化合力比較萬有引力不知要強上幾萬萬倍。不單如此，萬有引力是永永地吸引着，無時或息的，而化合時的吸引力却不是如此，他一定要在找到相當的對手者的時候，始能吸引而化合。例如氫原子對於氫原子，具有異常的吸引力，雖然普通的溫度之下也能發焰爆發，一碰就化合。反之，如果遇到氧原子，他們就沒有緣化合了。雖然氧原子比較氫原子的化合性強上數倍，却不能和氫原子化合。這樣的性質，任何元素都有的。至於不同的元素間何以會有吸引力，這個問題，現在還沒有研究明白，不得不有待於將來的發見了。但各元素的原子，都具有一種電力，這是已經差不多大家所公認的了。



化合力的強力，可以用實驗方法來表示的。如果在堅牢的玻璃瓶裏，充以氫和氧，其容積之比率爲二與一，則在相當的熱力之下，便會突然發出閃光，還發出很高的爆發聲，而化合之所得，不過是一滴水而已。這樣化合時所發生的能，如果化合所得爲一磅水，則能把五百三十萬磅的東西舉起一呎高；如果是一個人，那麼牠能使我們升騰到七英里高——化合時能有這樣強大的能，所以會發光，會發熱，這光和熱，就是他那偉大的力量的表現。我們日常不經意的水，具有這樣強大的力，這不是很可驚異的事嗎！

## 62 元素的符號

在化學上，元素是用符號來表示的。這許多符號之中，有的是用拉丁文的第一個字母來代表，有的是用英文的第一個字來代表。例如氫，是用 Hydrogen 的 H 來表示，氧是用 Oxygen 的 O，硫是用 Sulphur 的 S，這些都是英文；銅是用拉丁文 Cuprum 的 Cu，銀也是用拉丁文 Argentum 的 A 來代表。這些符號，不但表示元素的種類，同時也表示元素的數量，即表示一個原子，亦即所謂原子量。因此，H 一個字，是表示氫元素的一個單位的原子量，O 是表示原子量十六的氧元素一個單位。

用了這種符號，我們又可直接表示分子。所以單寫一氫字（即 H），即表示一個氫的分子量。例如

氫分子，就是說氫原子二個，所以就寫爲 $\text{H}_2$ ，爲方便計，也就寫爲 $\text{H}_2$ 。氧的一個分子寫爲 $\text{O}_2$ ，二個單位寫爲 $\text{O}_2$ 。所以水的成分，是氫原子二個，氧原子一個，便寫成了 $\text{H}_2\text{O}$ 。以表示之。其分子量則爲 $1 + 2 + 16 = 18$ 。如果二個氫分子，則須寫爲 $2\text{H}_2$ 了。

## 63 化學式

由此，化學的變化，我們可以用原子量的變化來表示了。例如氫和氧化合而成我們要寫出水，則寫爲 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ 。這就是說，有二個氫分子和一個氧分子化合。而氫和氧的原子量既知道了，則若干重的氧和若干重氫化合，成爲若干重的水，也不難計算得之。茲列算如次：



$$2 \times (1 + 2) + 16 \times 2 = 2(1 \times 2 + 16)$$

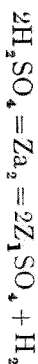
$$4 + 32 = 36$$

這不是明明白白的告訴了你：氫四和氧三十二化合，即成水三十六。再說得明白一點：氫四公分和氧三十二公分化合後，成爲三十六公分的水。這樣的算式，即稱爲化學方程式 (Chemical equation)。

元素的化合，是絲毫不能紊亂的最準確的自然法則，所以化學變化之際，雖然原子或分子間起了很混亂的變動，但能用死板板的化學方程式來計算這化合的無限神祕和驚異。

## 64 分子的構造

科學的力，實在是最偉大的。分子是集合直徑不及一公分的十萬分之一的原子所組成的，任你怎樣精細的顯微鏡來察看，也看不出甚麼情形來的，而藉了科學的力，却能把組合分子的各原子的數量推算出來，不但如此，我們還可以知道原子是怎麼樣排列的。所以對於有許多物質，我們已經研究得清清楚楚了。現在且舉一個例，把測知硫分子的原子組合法說明一下罷。硫分子的化學符號是  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，即由氫原子二個，硫原子一個和氧原子四個組成的。現在，在硫酸的薄溶液中投入一塊鋅，便發生了許多泡沫，見了這些泡沫，我們就知道這是氫。這時的變化，用方程式來表示起來，便如下：（鋅的符號是  $\text{Zn}$ ）



由是，硫酸中只取去了氫。如果不投入鋅而代以其他各種的金屬，同樣也能取去氫的；可是，如果要取去氧，却不能夠了。但硫酸中如果加入五氯化磷  $\text{PCl}_5$ ，則氧原子二個與氫原子也被取去了，由此研究起

來，氧的二個原子，便和氫的二個原子直接結合，氧也可以取去了。所以要取去氧，只要和氫結合就成功了。而硫酸的原子是



可以作如是設想的。這恰像在太陽系是可以除去地球和月球一般，單單除去月球是可以的，單單要除去地球，却不可能，因為要除去地球，月球也必一起帶走的。

依據了以上的說明和其他的原由，學者便說硫酸的分子的構造是這般的：在中心，有硫原子，在他的周圍，有其他元素的原子環繞着，最接近中心的，是二個氧原子互相追逐着環繞，這就用  $\text{SO}_2$  表示。再者，二個氧原子還各各伴着一個氫原子，就用  $\text{H}-\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{S}$  來表示。當然，分子的本身也是用最高的速率而旋轉着的。

## 65 化學變化和熱

氫和氧化合而成水的時候，便變生很高的熱，如把水分解起來，他就要吸收同量的熱。換句話說：氧和氫分開，則化合時所發生的熱便消失了。一般的化合作用和分解的作用，大多是這樣的；只有極少數

的例外，與上述相反，化合時吸收熱，分解時反發散熱，例如氧化氮，即其一例也。大多數的化學變化，都是發生熱的。

普通物質的燃燒，是和空氣中的氧發生化合，而成爲別種化合物，所以發生了熱。日常所用的燃料，種類頗多，所以所發生的熱量也各各不同。煤、炭和木材，含着多量的碳，最容易和氧元素化合而成二氧化碳，所以熱量還不能稱爲最高，只有煤氣，他是含有碳的氣體，沒有不易化合的雜質，故熱量最高，因此效用頗大。

但要使發生化學變化，必須使物質的溫度加高，即溫度越高，化學變化也越快。普通凡溫度增高十度，牠的變化速率也就增加二倍，或三倍不等。並且在同時間內，也能使二倍或三倍的物質發生變化。例如房屋失火的時候，龐大的建築物能立刻燒成灰燼。其原因，蓋在因燃燒而生熱，於是熱量越高；熱量越高，則燃燒之勢越盛，由此交相爲用，便至一發不可收拾。反之，化學變化乃因溫度越低，其變化越慢，甚或完全停止。例如氧和氫混合而成的水之變化，在七百度的熱力以上，始能發生變化，溫度減低，則其變化便只限於某一部分了；到五百零九度時，經過大約五十分鐘的時間，只有混合氣體容積的一萬分之十五能化合成水。一切的化學變化，雖有在普通的溫度中也能發生，但其速率頗小，差不多和不生變化一

## 66 接觸反應

物質發生化學變化時，除去感受溫度高低的影響以外，如果添加另外一種物質，能够使他的變化加速或減緩，而這物質的自身却不受變化，這物質便稱爲接觸劑，或稱觸媒 (Catalyzer)；由於接觸存在而所起的反應，稱爲接觸反應 (Catalytic reaction)。譬如無力旋轉的車輪，在軸上加一點油，車輪便很輕易地旋轉了，而油量既沒有減少，油質也沒有變化。但這些油，却明明白白的幫助了車輪增加旋轉的力。觸媒之有助於物質之化學變化，正如油之有助於車輪的旋轉，其理正是相同。如用氯酸鉀加熱而製氧，本來非至溫度六百度以上不能分解，可是加上一點兒黑粉似的二氧化錳，那麼在溫度二百〇五度就可以分解了。這時，二氧化錳自身不發生變化，却能幫氯酸鉀產生很多的氧。生物的身體之中，也發生化學作用，這就是由於所謂酵素的接觸劑之效用所致。接觸劑有兩種：一種能促進變化反應的速度，如二氧化錳等，則稱爲正接觸劑 (Positive Catalyzer)；還有一種能減阻反應的速度，如食鹽、沙等，則稱爲負接觸劑 (Negative Catalyzer)。

## 67 爆發

爆發，是物質受了高熱度所發生的變化。大多是由於許多氣體同時的膨脹所致。無論在物質化合的當兒或分解的當兒，時常有這種現象發生；而尤以氫和氧化合時爲最顯著。所以在學校實驗室中實驗氫的時候，教師如果偶一不小心，就要發生爆炸，於是教師和學生，都要受到傷害，這在報章上時常有新聞；這種爆炸的力很強，所以最容易釀成很可怕的慘劇。

水中投入鋅片，或其他的金屬，就能發生爆炸。其原因乃由於金屬和水中的氧化合而排除氫。但金屬之中，鉀、鈉、鈣，在普通的溫度上能發生爆炸的現象，而鐵和鋅等，則非加高熱不可。所以在赤熱的鐵管中堆積鐵粉，灌以水蒸氣，另一端管口便發生氫。從前德國製了一隻軍艦，工人忘記把遺留在艦殼中的鋅塊拿出，即入海航行，出發以後，鋅在高熱的水中發生氫，漸漸充滿，與其中的空氣混合，便突然之間，發生了大爆炸，把艦身炸成粉碎，船裏的人，都在不明不白中橫遭慘死，而艦中却充滿了水蒸氣。後來仔細檢查，找到艦殼中有一塊鋅塊留存，才明白惹禍的原因。

化合物中最容易爆炸的，是氮和碘化合的碘化氮的褐色粉末。牠在潮濕的當兒雖不會爆炸，但一

乾燥了，只要受到一根鳥羽般的輕的壓力，就立刻爆發。這樣容易爆發的東西，雖說危險，但在其具有如此強烈的爆發力上着想，却是彌足珍貴的。

## 第十一章 溶液和凝結

### 68 飽和溶液

水中投入少些砂糖，砂糖立即溶化，便成爲砂糖的溶液。但在很濃厚的砂糖溶液中，如果再無限量的投下去，到後來，便不能再溶化了。由此，我們可以明白：若干量的水，只能溶化若干分量的砂糖，這極度，我們便稱爲溶解度；已經達到溶解度的溶液，便稱爲飽和溶液。

溶解度常隨溫度的高低而增減，大致溫度越高，則溶解度越大，比如砂糖溶液如果已經達到飽和的狀態，但溫度提高，他能把把砂糖溶解一些，成爲更甜的砂糖水；此外，溶解度也能被壓力所左右。

物質對於溶解力的強弱也不同，有些物質容易溶解，有些物質不容易溶解。在普通溫度之下，一百公分水的容量，硼酸不到五公分，食鹽大致在三十五公分左右，明礬等則爲一百三十公分；水量越多，則



溶解力也照此比例增大，那是不必說的了。氣體之中，也有容易溶解的和不容易溶解的。其中最容易溶解的，要算是阿摩尼亞氣了，在水中溶解能達容積水之七十五倍；在零度時，可以達到一千倍；而濕度越低，他的可容量也就越增。

溫度越高，則溶解量也越增，但也有不能增加的一百公分的水，在零度的時候，可溶食鹽三十六公分，溫度達一百度的時候，便能溶食鹽三十九公分。可是當零度時，尚能溶解硝石十三公分者，到溫度在八十度時，也不過能溶八十五公分罷了。

溶液蒸發以後，液量減少，容量已感不足，於是有一部物質便被溶液排除出來，再，溶液的溫度降低以後，也會發生這種現象。這時，溶質便成爲一定的幾何形態出現，這稱爲結晶；結晶的形態則因物質不同而各異。

## 69 滲透壓

關於分子的運動，我在前面已經講過了。水中加入硫酸銅的溶液，則兩者能夠互相勻和，成爲濃度一致的溶液。硫酸銅的溶液是帶着青色的，所以溶和水中，我們很容易觀察。因爲當硫酸銅加入水中時，

他發生了一種彌散運動，故能和水溶和一致。氣體也能由極濃度而彌散至均一的濃度，故氣體也能相互溶和。

如果把濃厚的砂糖水灌入一隻薄膜製成的袋裏，緊縛袋口，把他投入水中，那麼這隻薄膜袋便要膨脹起來。這是甚麼原因呢？這是因為袋裏的砂糖水，他一心想擴散起來，和外面的水溶和，却因薄膜只能透水，不能使糖分子滲過，所以擊着這層薄膜而發生一種壓力。照普通人粗看起來，總以為這是糖的液體能够吸水的，其實，完全不是那麼一回事。砂糖水要透過薄膜與水溶和而生的壓力，便稱為滲透壓（Osmotic pressure）。凡溶液的濃度越高，這滲透壓的力量也越大；但其壓力之比例，則按照各該溶液所含的物質而不同。植物的葉上為甚麼會長出刺針來，這也是由於滲透壓的力量而使細胞緊張起來的緣故。

## 70 冰淇淋的製造原理

溶液和別的液體不同，非至溫度極低，總不大自然凝固。到了冬天，池水容易結冰，海水為甚麼不容易結冰；水壺裏的水容易結冰，醬油為甚麼不容易凝凍，就是這個原因。

濃厚的鹽水，溫度逐漸降低，牠先成爲飽和溶液，其次將飽和限度以外的食鹽結晶；最後雖然溫度已達零度，水還是不會結冰，只使食鹽結晶；必至零下二十二度，於是冰始逐漸凝凍，成爲含有食鹽結晶的冰塊了。等到全部凝凍以後，溫度即不再下降。

以上所述，是指濃厚的鹽水而說的，如果是濃度較薄的鹽水，那麼又不同了；當溫度在零下三、四度時，只有水先凝結，於是鹽水逐漸濃厚，待至零下二十二度時，溶液已達飽和狀態，於是食鹽開始結晶，混和於冰塊中了。照此看來，我們可以明白：當海水結冰的時候，只有水在凝凍，鹽水非至十分濃厚的時候，決不會結晶的。

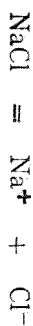
在雪塊或冰塊上，塗以食鹽，能使溫度下降。這是製造冰淇淋所用的方法，那是人人所知道的。濃厚的鹽水中投入冰塊，我們伸手去摸摸看，就會覺得冷澈肺腑。此外，也有把雪混和進去的種種方法，能藉以製成「冷劑」。

冷劑的溫度爲甚麼會下降的？我現在就把冰和食鹽混合的東西來解釋罷。原來水遇着食鹽，表面即成濃厚的鹽水，而濃厚的鹽水要結成冰，其溫度必如以上所述的零下二十二度。在此不及零下二十二度時，冰就要溶化，而冰之溶化又必須消滅熱力，所以鹽水的溫度又降低了。況且冰溶化時，在冰表面

的食鹽雖也溶化，而鹽水却並沒有減薄，因此，凝固點尚能保持在零下二十二度——到了夏季，家庭間用冰塊來冷藏食物時，先在冰上撒一層食鹽，這冰塊就不容易溶化，其原因就在於此。

## 71 電離說

食鹽在固體的狀態時不能通電流，成爲溶液了，便能傳電。因爲此種溶液，結聯電池之兩極，陰極處生氫的泡沫，陽極處生氧的泡沫，液中即帶苛性鉀。此溶液中之食鹽的一部分，其成分乃分爲氧的原子和鈉的原子，前者帶陰電，後者帶陽電。這些能傳電的微粒，即稱爲離子（Ion）。創此離子說的人，是瑞典化學家亞萊紐斯氏，但後來又有人創爲電子論的學說。現在且把食鹽分化爲離子的公式錄如次：



食鹽 = 鈉離子（帶陽電） + 氯離子（帶陰電）

爲甚麼食鹽的溶液中能導電流，這是由於鈉離子被陰極所吸引，氯離子被陽極所吸引，電被中和，即有新電流自電池中流出。這時，在陰極處消失電荷的鈉，在溶液中排除氯而成苛性鹼，其化學變化爲：

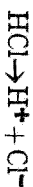




因此，陰極處發生氫，液中帶苛性鈉。而陽極處消失電的氯原子，則分為兩分子的氯 $\text{Cl}_2$ 。如此，溶液用電氣來分解的，稱為電氣分解，對於工業上的效用頗廣。

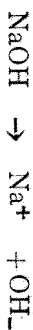
## 72 酸性和鹼性

鹽酸是氯化氫溶於水中的化合物。液中的氫和氯，可以分解為帶陽電的陽電子和帶陰電的陰電子。即：



無論甚麼「酸」如鹽酸，硝酸，硫酸等，都帶着強烈的酸味，所以能使藍石蕊變為紅色，這是因為水中有氫離子的關係。故凡溶於水中而生氫離子的，都叫做「酸」(Acid)。

其次，食鹽用電氣分解而生鹼，這是鈉和氧及氫所結成而成的，以之溶和水中，鈉離子帶陽電，氧和氫結合帶陰電。



鹼性能使藍石蕊變藍色。侵蝕力頗強，所以能損傷皮膚，這是因為氫氧離子的關係。凡溶於水中而生氫氧離子的，都叫做「鹼」。

酸和鹼，都有強列之別，這是要看其中所生的離子數量多寡而定的。

### 73 金屬和非金屬

鹼是由於鈉和氫氧離子結合而成的，其帶陽電的離子和帶陰電的氫氧離子結合，其溶液中現有鹼性的元素者，都稱之為金屬；即鈉是金屬元素，例如金、銀、銅、鐵等皆屬之。在化學上之所謂金屬，必須具有這樣的性能。次如碳(C)和氧化合而成二氧化碳(CO<sub>2</sub>)，由水之作用即成碳酸(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)，即鹼水中的碳酸離子CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>與氫離子H<sup>+</sup>所化合的，所以也帶有酸味。這樣，凡酸化物因水之作用而帶有酸性的元素者，都是非金屬。

## 74 酸性和鹽基性

酸的氫離子最易和金屬元素的離子化合，例如鹽酸的氫離子和鈉離子化合即成食鹽。



這樣，酸的氫離子和金屬所變成的，稱為鹽；或鹽時和金屬的氫氧離子結合而和酸發生作用的，稱為鹽基（Base）。鹽基溶於水而呈鹼性的稱為鹼。酸和鹽基化合時，前者之氫離子和後者之氫氧離子中和，即生水。

## 75 所謂凝結

膠或澱粉溶於水中，發生凝結，與他種液體顯著不同，為易於解釋起見，可以拿鹽水來作比較。少量之澱粉，加水少些，煮之即成稀薄之溶液，把他與鹽水同灌入一薄膜的袋內，投入水內，經過一二分鐘，請你去檢查這些水，見水中已有白色之混濁質，這是食鹽所釀成的，可知鹽水已透過了薄膜。澱粉溶液却

不能擴散出來。

從前，格蘭漢 (Graham) 依據實驗，他把溶液的物質分爲兩種：一種能透過薄膜，一種不能透過薄膜。關於結晶一方面說來，以爲普通之溶液不能結晶者，就不能透過薄膜。但到了後來，經過了種種的實驗，才知道這條定律是錯誤的，所以不再把物質分爲能結晶的和不能結晶的兩種；祇把「凝結」兩字，特指一般物質的特別狀態而已。

普通的溶液能夠透過薄膜，凝結了的溶液爲甚麼不能透過薄膜，其原因，全在物質微粒之大小不同，並沒有其他特別的原因存在。

## 76 分散質

將粘土拈碎，投入水中，粒之大者沉下頗速，愈小則下沉愈慢；牠環遊分散，所以濁水非經過相當的長時間之靜止，不能澄清。但是如果粘土之碎屑同樣大小，沉下無先後之別，而光也能自由射入，成爲透明，這樣，土粒之分子如果能逐漸膨大，則就成爲真正的溶液了。這些溶液中所有的物質，不問其大小，總稱爲分散質；分散質的等級，大致可以分爲三等：第一等，自肉眼至用顯微鏡能夠看見的，其體積大約在



一公釐之一萬分之一以下，濁水中的粘土粒，就是屬於這一級的。第二級，體積在一公釐之一萬分之一以上至百萬分之一，凝結溶液即屬於這一級。第三級的分散質，體積比上述者更小，那已是真正的溶液了。

凝結溶液用普通的顯微鏡看來，無論這顯微鏡如何精細，總是看不見的，就是用限外顯微鏡來看，也是認不清楚，不過用光射入，能夠確定其存在罷了。現在且把分散質之大小和液體狀態之差異，列表如左：

濁液	用顯微能見其形狀 粒不動	-1
		-0.1
		-0.01
	用限外顯微鏡看來 粒緩動	-0.001
		-0.0001
		-0.00001
凝結溶液	用限外顯微鏡看來 粒活潑動	-0.000001
		-0.0000001
真溶液		

## 第十二章 電子論

### 77 陰極線和電子

十九世紀末葉至二十世紀初期，科學界發生劃時代之大革命，正如百花怒發，各種驚異的發見，應接不暇，一件一件的被偉大的科學家所發見，於是自我們的物質觀至世界觀，不得不完全一變。這實在不是「奇蹟」兩字所能形容盡至，簡直使無論甚麼人聽了，也要吃驚不止的。

到了夜間，我國的各大都市裏，有所謂「年紅」(Nion Signs)裝置的大廣告牌出現。這是在真空管中灌入少些氣體，兩端封以金屬，成爲兩極，接以高壓的電流，經管內稀薄的氣體之媒介，陰陽電氣混合，即發生了美麗的光，這就是真空放電。——雖說真空放電，但管中並非完全真空的，乃利用 Nion 或水銀的蒸氣作用，單單在稀薄的空氣中放電而已。年紅燈雖是最近數年來所發見的，但在稀薄的空氣中實驗放電，却是一八六九年所發明的。當時，對於稀薄空氣中何以會放電的事，大家不甚明瞭，後來經過了十年左右的時光，英國人克羅克斯 (Crookes) 作了種種的試驗：他把管內的空氣儘量抽盡，只

見美麗的光逐漸消失，代之而起的，却是一支直線形的光發現了；再用一枝曲管，陰極的平面處裝上玻璃板，則直對光線的地方，便發生了美麗的螢光。克羅克斯以爲這是從陰極射出來的光線，所以稱之爲陰極線（Cathode ray）。此後，關於陰極線的試驗，方式愈多，知道他本來是直線形進行的，但他感受了磁石的吸引力，也能發行彎曲，才明瞭他的本身原來也是電的作用之一。再從兩端起陰極線能互相反撥，這大概是兩端保持着同性的電所致。在管內如敷設小的軌道，上載風輪似的軸，則陰極線通過風輪的齒輪，車輪即能在軌道上移動，故有人又以爲這是一種微粒的作用，所以有人說：陰極線是帶着陰電的微粒所釀成的。

後來，對於陰極線作繼續不輟研究的科學家，人數頗多，其中最著名的，就是英國人湯姆生（J. J. Thomson）。他考查陰極線照射玻璃板上的螢光，以爲這種微粒爲數很多，到一八九七年，測得這種微粒的帶電量，又測得其質量，知道他恰當氫原子的一千七百分之一，原來他比原子更小，即把他取名叫電子（Electron）。從此以後，一般人以爲原子是再也不能分割的物質，至此才打破了。

當湯姆生發見電子的兩年前，即一八九五年，化學上還有一種重大發見，就是法國大科學家羅琴（Rontgen）所發見的愛克司線（X線）是。X線是陰極線在玻璃板或金屬上所現出來的光，波長顯

短。X線發見之翌年，法國人柏克勒爾 (Becquerel) 又發見從鈾 (Uranium) 原質或其鹽類發射出  
一種和X線類似的放射線，由此動機，自一八九八年至一八九九年，居里夫人 (Madam Curie) 便發  
見了鐳 (Radium)——關於這點，容我以後再說，現在不過提起一聲罷了。

## 78 空氣之電離化

X線和鐳發見以後，還有一種新的發見，引起了許多科學家的注意。即在兩塊金屬板作爲兩極，接  
以電流，一方是陽極，一方是陰極，兩板間繫以金屬線，就能通電流，否則，電流就不通，由此可知空氣是不  
良導體，要電流的接通，非藉金屬絲不可。但我在前面已經說過，空氣中有了X線和鐳的放射線，電流就  
通了，換句話說，即本是不良導體的空氣，至此變爲良導體了。依此原由，湯姆生和其他學者研究的結果，  
才知道空氣的分子本來不帶電的，有了X線和鐳的放射線以後，空氣中的分子，有的帶陽電，有的帶陰  
電了。帶陽電的分子，被金屬板之陰極吸收，帶陰電的分子，被金屬板之陽極吸收，兩相混合，即和通了電  
流相同。

還有，前章所講起的電解質，例如硫酸、鹽酸、食鹽等的溶液，他們能發生電離作用，那是早已知道的

事。但當時我們以爲此乃氯和鈉的化合物即食鹽的溶液，其中食鹽的分子，有帶陰電的氯原子和帶陽電的鈉原子，所以液中能通電流，原來他們是帶電的離子。對於溶液，我們儘可以說：這是組成化合物的電子，因感受作用而產生離子所致。但對於空氣，我們却想不到氧和氮的分子，也是原子所構成的；尤其困難的是研究氦 (Helium) 和氬 (Argon)，簡直無法解釋。其實，他們發生 X 線和鐳的放射線時，也能成爲良導體。由此，我們可以明白這些氣體的分，也能分解爲離子的，但他們的分子是由一個原子組合而成；空氣中的氧和氮的分子則由兩個原子所組成，所以是可以分解的。那麼提到氦和氬的分子也能分解，不就是說原子也能分解嗎，如此，則原子的一部分帶陽電，一部分帶陰電，——大家本來以爲物質的最少微粒是原子，如今說起來也可以分割，這不是一個晴天的霹靂嗎？

## 79 放射性之研究

所謂放射性 (Radioactivity)，是指從鈾、鐳、釷、錒等元素中放射出來的線的性質。這些放射線，我在前面已經說過，既能使空氣電離而成良導體，又能使照相乾片感光，和有些物體衝突而生螢光；和 X 線比較雖較弱，但也能夠透過不透明的物體。放射的雖類似 X 線，但其不同之點則頗多。仔細檢察起來，

放射線可分爲三種。怎麼樣才能知道呢？我們用一塊磁石就可試驗出來。試把玻璃管內封入具有放射能的物質，如鐳等，使他射出放射線來，將磁石和線接近，則一部分的線照着直線而進行，左右兩邊的就發生彎曲，因此，我們就可以知道他們具有不同的性質。這三種放射線，各有不同的名稱：稍稍彎曲的是 $\alpha$ 線，彎曲頗大的是 $\beta$ 線，其中不彎曲的是 $\gamma$ 線。他和X線相同，能够透過不透明的物體。其他的 $\alpha$ 線和 $\beta$ 線，因感受磁石的作用而彎曲，再由他們和磁極相反而彎曲上看起來，便能辨別何者那一面是帶陰電，那一面是帶陽電。經過實驗的結果，知道 $\beta$ 線和克羅克司真空管中所發見的陰極線相同，是帶有陰電的微粒； $\alpha$ 線乃帶陽電。

關於放射性的研究，經柏克勒爾發見了鈾的放射性以後，差不多已告完成了；其中尤其是陰極線之發見，使共信的原子爲物質最小的微粒之學說，感到無限的威脅，後來，到一八九八年，英國科學家勞得福（Rutherford）再有重大的發見以後，即根本發生動搖了。

## 80 元素的崩潰

所謂重大的發見是甚麼呢？就是說，有放射性的元素，能够崩潰而變成別的原子是也。試把鈾的化

合物設法分爲兩份，一方放射 $\beta$ 線，另一方完全不放射爲例。倘把硝酸鈾的結晶投入醚中溶解，過了一會兒，分爲上下兩部，則上部成爲硝酸鈾的醚溶液，下部即成爲莫明其妙的東西了，姑且說他是「鈾X。」把他仔細地分析研究起來，鈾X能放射強烈的 $\beta$ 線，硝酸鈾與醚則完全成爲溶液，全然沒有放射線了。但時間隔得稍久，則鈾X的放射能逐漸衰退，大約每隔二十五日崩潰半量，而硝酸鈾的醚溶液，反慢慢地放射 $\beta$ 線，經過二十五日以後，其放射能恰能照當初沒有分爲兩份時之量增高半倍。

第二十三圖



勞得福像

依據上述的實驗，我們可作更進一步之研究。那鈾之放射 $\beta$ 線的作用，不是鈾化合物自身所保持的，實際上是鈾X所有。鈾化合物之能放射 $\beta$ 線者，因爲其中含有鈾X所至。後來鈾化合物逐漸變成鈾

X, 再後來, 鈾 X 也消失了, 所以放射性也跟着變成別的東西了。

當初勞得福是用鈾來供實驗的, 他見具有很強的放射性的 Thorium emanation 變成了氣體, 於是他的結論說: 原子決非不能分的最小微粒, 而其構造却很複雜。所謂放射性元素者, 乃由於原子爆發不已, 速度很高, 於是有微粒射出, 變化為別種元素的原子了。

是年, 放射性最強的鐳也發見了, 於是再試做種種實驗, 知道鐳崩壞後變為 Radium emanation, 再隔若干時日, 又逐漸變化, 卒至變成和鉛相同。到了現在, 原子是在逐漸崩壞的學說, 已不容你不信了。

## 81 電子的本體

研究電解液中所生的離子的電量, 法拉第 (Faraday) 肇其端, 其後經過許多學者之精密研究, 例如湯姆生及其門人, 在一九〇〇年於英國卡芬狄士實驗室 (Cavendish Laboratory) 中測量氣體離子的電量, 即知電解溶液中之陰離子的電荷相同 (亦即各種陰離子之比荷  $e/m$  相同), 由其結果則知各氣體陰離子之比荷皆相同。

再用真空管放電所生之陰極線微粒測之, 則知放射性物質所出之  $\beta$  線微粒, 也與陰離子的比荷



相同，而任何原子之成分不問其狀態為氣體，或液體，或固體，因其成分相同，所以知道他原子中含有與氣體原子同一的成分。——於是電子的本體，即由此完全明白了。

## 82 電子的大小和質量

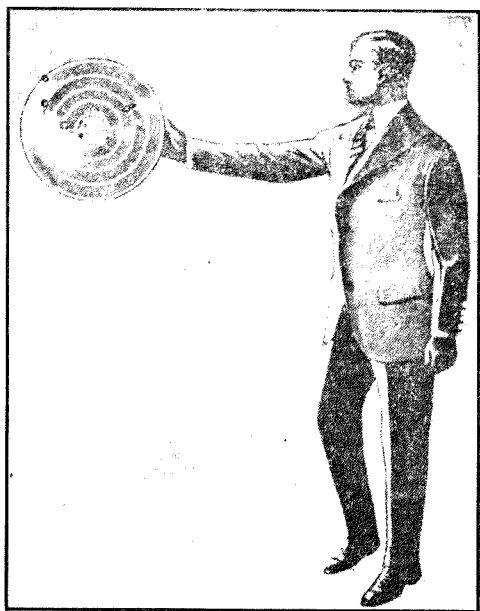
電子的重量，當初湯姆生測知的約當氫原子的一千七百分之一，但後來再經精密的計算，始知須當氫原子的一千八百之一，才為準確。我在前面已經說過，氫原子的質量，已經是非常的渺少了，而現在計算出來的電子質量，要合到他的二千八百分之一，這不是一件很可驚異的事嗎！

最近，關於電子的電量和質量，另有一種極巧妙的方法，可以測算得異常精確。其法即謂離子可為水滴之中心而生霧，藉氣體陰離子為中心而生之水滴，測得其所含之電量。由此方法，我們知道電子的

電量為  $\frac{4774}{10,000,000,000}$  (靜電單位) 其重為  $\frac{9}{10,000,000,000,000,000,000,000,000}$

公分，其半徑為  $\frac{1.87}{100,000,000,000,000,000}$  公釐，約當原子十萬分之一。

從今以後，我們知道物質最小的微粒，不是原子，是比原子更小，而用以組成原子的電子。原子不是



電子如果擴大至棒球那樣大小

電子如果擴大至棒球那樣大小，則氫原子的軌道直徑達1090公尺

我們的身體如果照此比例擴大起來，則如上圖，可以手握太陽系了。

亘久不變的，他射出了電子或其他的成分，可以變成別種原子的。可是，電子如何構成原子呢？不錯，這個問題也很有趣而重要，讓我在下章詳細說罷。

## 第十三章 原子的構造

## 83 陽電粒的假定

電子是帶陰電的微粒，故原子中既有電子，原子也不得不帶陰電了。因此，凡分子及構成分子之物質，也都帶陰電。但在普通的狀態上，原子是不帶電的，所以我知道原子中既有陰電子，也必有陽電粒，兩者中和，電就消失了。故無論分子或物質，他們雖都帶電，却沒有帶電的作用。

那麼原子中帶陽電的東西，究竟是甚麼東西呢？

我在前面已經說過，電子的重，比原子的重差得很遠，一電子之重，僅約當原子中最輕的氫原子的二千分之一，而原子中之電子數，又是很多，這是用別種實驗所測得的。知道他帶陽電的粒子，須佔原子重大的部分。至於電子之大小，當然不易看見，因為比電子大的原子，既看不見，何況比原子更小的電子呢！又何況他並非是一粒，更不知道他是多少粒集成的。但這種陽電粒，我們却已依據了假定的理論，確定他的大小，據說是小得很，把氫原子為標準，他是直徑的當電子的二千分之一。電子已不及氫原子的十萬分之一，而他又只及電子之二千分之一，則其渺小的程度，真是令人可驚了。

可是，以上所說，完全是一種假定，單單靠着想像是不易明瞭的，還有待於種種的實驗。這些實驗，就

是利用具有放射能元素之放射線（ $\alpha$ 線及 $\beta$ 線）觀其微粒之路徑，就可明白原子中陽電性的微粒是很小的。

## 84 原子核和原子序

組成原子的陽電粒，雖然很小，但是他們是怎樣排列的，我們也很想知道一些。關於這個問題，也沒有直接的方法可以測得，或許是和太陽系差不多吧。重的電粒，則如太陽之成爲中心，輕的便如行星之環繞於四周。自從這個假定成立以後，便沒有更進一步之研究。在中心的粒子，稱爲原子核。那麼，原子核的陽電量究竟有多少呢？這是研究原子構造的根本問題。因爲不知道陽電粒的電量，即無由知道各原子的電子數。幸虧這個問題被英國科學家摩斯萊（Mosley）利用X線，發明了測算陽電粒的電量的方法，卒至能把所有的元素，確定了他們所包含的電子量。

最有趣的，各元素自原子量最小的氫起，順次排列而成「原子序」。其數恰和原子的電子數是一致的。現在且把最前的二三種說來，照原子序排列是：氫 1，其次是氦 2，鋰 3，鈹 4，而電子數則也是氫 1，氦 2，鋰 3，鈹 4。

## 85 規定原子特性的原子核

氫只有一個電子，所以他的原子核是帶陽電的。但其次如氦，便有二個電子，則是否一個是帶陽電的核，還有一個是帶陰電而配列着，抑和氫原子核同樣，兩個集在一起呢？這便成爲一個疑問了。

於是，學者們便有以下探究，我們把他敘述一下，上列的疑問，就可以明白了。

所謂原子，是原子核和配列的電子成一集團，決不是固定的，至少，有時也可逐出一個；更有時可以自外吸收一個，離子就是這樣發生的。因爲原子本來是中性，當他逐出電子則成陽離子，吸收電子則成陰離子。但離子仍保持其原有的原子特性，所以電子之增減，與原子的性質是無關係的。反之，原子核之陽電量，各元素是一定不移的，故原子之特性，爲原子核所支配。

## 86 放射性元素崩潰時的原子核變化

現在再說放射性元素的崩潰。

原來放射性元素變化的時候，其原子核也起變化的，因爲我在前面已經講過，當放射性元素變成

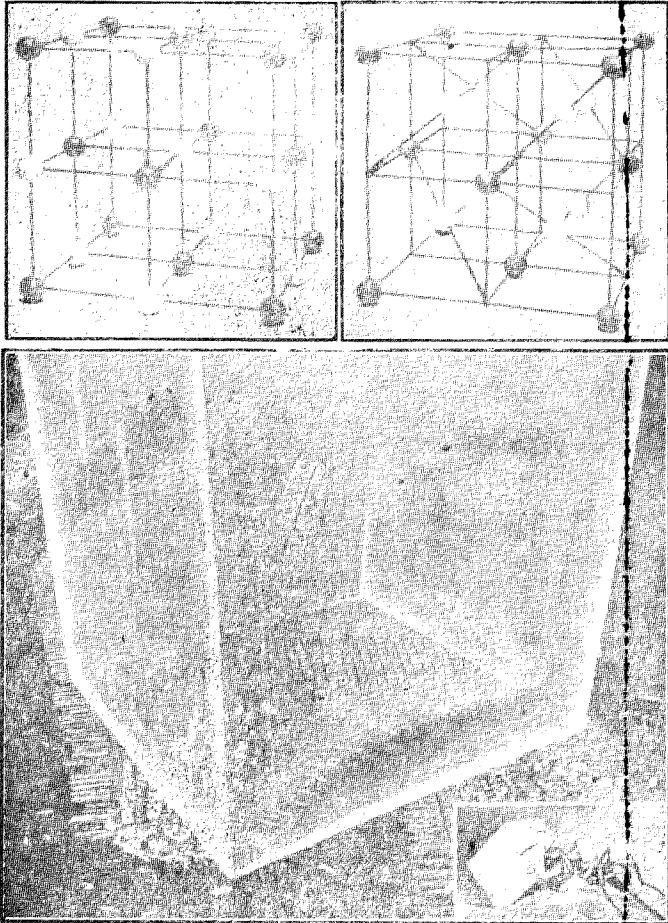
別的元素時，一定要放射 $\alpha$ 線或 $\beta$ 線。 $\alpha$ 線是帶陽電的一個氦原子，即從氦原子中有二個電子射出。氦的原子核周圍，只有二個電子，這二個電子去了以後，便只賸原子核了，而線之微粒，也就不由氦原子核射出，於是放射性元素變化之時，可知氦的原子核出來了。再放射 $\beta$ 線而變成別的元素時，也是從原子核中射出來的，爲甚麼呢，因爲原子核周圍之電子增減，不能支配原子之性質，所以電子雖被射了出來，而其性質却仍不起變化。

因此，原子核不單是帶陽電的微粒，他又含有其他的電子，即除出原子核周圍的電子外，還有一種電子存留於原子核中；前者稱爲遊電子 (Planetary electron)，後者稱爲核電子 (Nuclear electron)。

## 87 質子和中子

氫原子的組織，只有一個陰電性的遊電子，和一個陽電性的原子核。因爲電子的質量很小，可以略而不計，所以氫原子核的質量，即是氫原子的質量。其他元素的原子量，亦可視該元素的原子核的質量而定。但是沒有一個再比氫原子核的質量爲小的，所以把氫原子核的質量，作爲最小的單位，我們稱它「質子」(Proton)，這是一九一一年英國物理學家勞得福 (Rutherford) 所創立的。其他元素的原

第二十五圖



結晶的原子構造

上圖左為岩鹽之結晶，黑球是鈉原子，白球是氧原子。右為螢石之結晶，黑球是鈣原子，白球是氟原子。  
 下圖是擴大的結晶，可見原子構造的外觀。右下為礦所運搬之岩鹽結晶，照此圖放大，則體積可蓋沒紐約全市，上可直衝雲霄

子核，也不過是許多質子合併起來成功的罷了。但是原子核裏，還有許多核電子，那麼在同一地方，既有

陽電性的質子，又有陰電性的電子，它們不會中和起來，成功中性的粒子嗎？的確不差，這中性粒子究竟是成立的。一九三二年英國查特威克 (Chadwick) 從理論和實驗的研究，首先發見這個東西。至此，我們就可說着原子核是質子和中子合併起來成功的。因為原子核是帶陽電性，所以這裏必定有多餘的質子。再因為原子是中和性，所以核心裏質子的數目，就等於核心外遊電子的數目。上述原子序的定義，也可說為「原子核裏質子的數目，稱做原子序。」

這樣看來，原子的構造，並不複雜，核心裏的質子數和中子數的和，決定了原子量。倘使原子核裏多出一個中子，那麼原子量就要增加，但是原子序照舊不變。這種的元素，除了質量不同以外，其餘性質，無大差異，吾們稱做同位素 (Isotope)。它的原子量，可以改稱為同位素量 (Isotopic weight)。上述的放射性元素，於崩潰時常極易產生同位素的。

在一九一九年勞德福把鐳的放射線  $\alpha$  點射到氮原子裏，結果產生了一種氧的同位素（原子量是十七）而放出一個質子，這是人工放射作用的開始。質子也是富有能量的，如果把它來打到鋰原子裏去，竟會放出二顆  $\alpha$  點來。至於中子不帶電性，用來當做射擊原子的彈子，更見有效。最近一九三九年，德人韓恩 (Hahn) 和史脫拉曼 (Strassmann) 等用中子射擊鈾原子，把它變成一顆新元素銻 ( $Z=84$ )。



ptunium, Np) 而再放射一個電子出來，倘是把中子射到鈾的同位素叫做鈾二三五(U-235)的，那麼竟可把它變成二種元素鎰和氦，而再放出自己核心裏的中子來。這種作用，德人麥特納(Meitner)稱做分裂作用(Fission)。

## 88 原子核與電子的排列

諸君看到這裏，大概可以明白了：所謂原子，是由質子和中子所結合的原子核為中心，周圍有許多電子圍繞着。圍繞原子核的電子，究竟是怎樣排列的呢？這是我們最後要解釋的問題了。

普通我們所見的物體，外界如加以力的作用，則原子核帶陽電，圍繞着的電子帶陰電，於是核吸引電子，電子間則互相排斥。這些電子因為感受了一定的力，不能自由獲得位置，一定是有着相當特別的排列。關於這個問題之研究，湯姆生以為電子以核為中心，排列在核外軌道上環繞，並且這些軌道上的電子，其配列的數目也有一定的。——此外，還有許多解釋，讓我們慢慢地說罷。

## 89 自由電子說

第一個假定的學說，就是自由電子說。據這個學說的解釋，這些環繞原子核的電子，都是不安定的；

或者有些是安定的。那不安定的電子，則結合力便很薄弱。因此，如果感受了外界的力，就因力的作用，這些結合力本來薄弱的電子，便脫離原子而他去，這些電子，即稱爲自由電子。

照實際上說來，凡是2, 10, 18等數字的電子是安定的，此外的電子便不安定了。例如，電子的數目是3，則有一個電子不安定；電子的數目是4，則有兩個電子不安定；電子的數目是8呢，則有六個電子不安定；這些不安定的電子，易於脫離，故一概稱之爲自由電子。

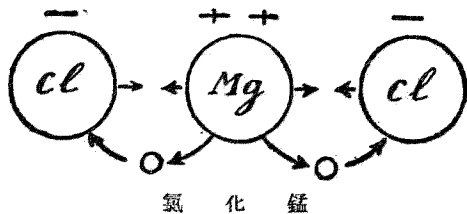
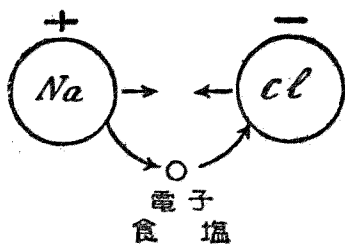
自由電子脫離出去，加入別的電子羣，也要湊足上述的數字的電子數，才能安定，例如本來的電子數是8，加了兩個電子成爲10，那就安定了。

這個假說如果是準確的，以之解釋化合作用，那就最巧妙的了。例如鈉原子的電子數是11，去了一個，就成爲安定數了。氯的原子數是17，加入一個，也成爲安定數了。因此，這兩種原子結合以後，鈉原子捨了一個自由電子，帶陽電；氯原子加入一個電子，帶陰電；由於陰陽兩電之吸引，便結合而成氯化鈉，即食鹽。這是一個固定的分子。

## 90 原子價的說明

再依據這個假說，說明化學上的原子價 (Valency) 也很巧妙。所謂原子價，正如我們做事的力量，普通是一人祇有一人的力，但是也有一人兼有二人的力，所以人力有強弱之別。原子相互結合的力，當然也有強弱之分：這樣力的不同，即稱為原子價，凡是需要一個氫原子來化合的原子，稱為一價原子，需要兩個氫原子來化合的原子，稱為二價原子。再如以上所述，鈉是和一個氯原子結合，其原子價亦為一，錳是和兩個氯原子結合。其原子價即為二。一般元素，由其化合的分子式，即可明其原子價的數字，那是略具化學常識的人，大家知道的吧。

第十六圖 化合的方式



化合力之強弱，乃基於自由電子之多寡，這很容易解釋的。即一價原子因為只有一個自由電子，所以能和缺一個自由電子的原子結合，例如上述的鈉。價原二子有兩個自由電子，便和需要兩個自由電子的原子結合。例如上述的錳，他有兩個自由電子，便和兩個氯原子結合。自由電子能區分原子

的化合性，故又稱價電子 (Valency electron)。

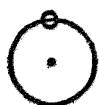
## 91 柯塞爾的原子模型

柯塞爾 (W. Kossel) 對於原子中電子的排列，

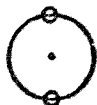
解釋如次：

氫的電子排列，以核為中心，外面只有一個輪軌，並且輪軌上只有一個電子。其次是氦，他的輪軌上有兩個電子，再其次是鋰，他有兩個輪軌，第一輪上有兩個電子，第二輪上有一個。此外，如果電子數目增加，都列在第二輪上，達八個為止，然後再有第三輪，把第一輪兩個、第二輪八個以外的電子列在第三輪上。到第三輪上列滿八個電子後，便再有第四輪發現，也以列滿八個電子為止。請參看第二十七圖，就可明白了。

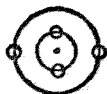
圖 二 十 七



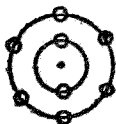
氫



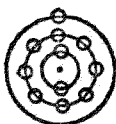
氦



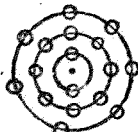
鋰



鈹



鈉



氬

柯塞爾的原子模型

由此說來，有兩個電子的氦，他的電子是安定的；電子在兩個以上，第二輪軌上有八個電子的，也是安定的了。此外，則就不安定了。所謂不安定者，就是離開原子核最遠的輪軌上的電子，成爲自由電子，證之實驗，自氦起至第二輪軌上有八個電子的氖（Neon），第三輪軌上也有八個電子的氬（Argon），這些都是安定原素，完全沒有化合力。再，這些號次相同而自由電子之數也相同。則其原子價也必相同。所以將自原子量爲三·九九之氦起之最先八元素，按其原子量之增加次序，排成一橫列，此八元素彼此相差甚著。其次，原子量最高之氬，頗與氦相似，即此列在氦下，另成一新橫列。故元素凡每隔八個而後同其性質，此即化學上之所謂週期律。而前述各元素的電子的排列，稱爲柯塞爾模型。

自由電子之說，還有種種帶電現象可以解釋。例如把封蠟用絹來摩擦，前者生陰電，後者生陽電。由於摩擦而造成之不安定的自由電子，便從絹上逃到封蠟上去了。再，所謂電流者，就是電子的流動，亦即自由電子的流動；金屬之易於導電，或許是金屬富於自由電子的緣故吧。

## 92 波耳的原子構造論

除上述柯塞爾所假說的原子模型外，還有種種假說的排列法出現，但大多是依據化合或週期律

而解釋。可是在不多幾年前，丹麥有一位科學家名叫波耳（Niels Bohr）的，關於原子方面創出了一種新的學說，在原子構造的研究上，獲得一劃時代的新學說。

波耳把各元素輝綫現出，用以研究原子的構造，經過長時期之研究，才明瞭電子的排列的真相。依據輝綫的研究，我們能研究無限距離的天體祕密，現在，我們又能藉以探明原子世界的微妙了。

關於原子之構造，從來單單注重化合和週期律，而把物理學的性质置之不問，例如物質發光的關係，由於核和電子間之活動而發電等，從來的人，都是不大注意研究的。這樣，當然不能明瞭真真的原子構造了。

電子對於原子核之位置，完全依據兩間的電力而決定，所以電子決不是靜止的，他恰像太陽系中各行星之環繞太陽一樣，只是環繞原子核旋轉不息，否則，便不能保持力的平衡。這一點，以前的人雖然也曾想到過，但不能單單憑此確定電子的運動，現在我們再觀察光的輝綫，才可以加以確定了。因電子當旋轉和振動時，便發生光，有了光，電子運動的能便因此消失，於是光的振動數便不得不發生變動，而輝綫的線位也就移動了。但在實際上研究起來，恰和這個想像完全不一致，原來原子在任何狀態之下，振動數並沒有絲毫的改變。因此，爲甚麼電子的運動能消失了還會發光呢？——這倒是一個問題。

因此，波耳便把氫原子中的電子所保持的能加以研究。關於氫原子，我前面已經講起過好多次，他只有一個電子，帶着陰電，在原子核周圍環繞，這電子除去保有運動的能以外，還被原子核所吸引，故得保持相當位置的能。這樣的能，離核愈遠則愈大。

波耳又以爲電子旋轉的軌道，在相當變化的狀態之下，常常會超出原有的軌道而到別的軌道上去。因此，當電子從外軌道移向接近核的內軌道時，能就減少，這時，消失的能便發出光來，脫離原子而他去。最近，關於能的計算，也發見了一個單位，即稱之爲「量子」(Quantum)。這個假定，看起來似乎很奇怪，但與實驗的結果，恰完全一致。即依據這個假定而計算氫所發的光的振動數，與輝線中所定的振動數相同。所以這個假定並沒有錯誤。

波耳再把陰極線和氫原子衝突，加以精細的研究，則電子的能強烈時，原子因爲得到這能，其中的電子便脫離原子而他去，於是原子成爲離子。再者，如果衝突時的原子能並不那樣強烈，則原子中之電子飛到最遠的軌道上旋轉，等到他回復到原來的軌道上時，便發生了光，這也是實驗上所證明的。

電子數比較氫多的其他原子，其電子之運動，雖還不能精確計算，但根據種種方面的推論，則原子的軌道，皆各各不同，不但其形狀未必多是圓形，橢圓的也頗多；並且這些軌道也並不是在同一的平面

上，也有發生種種的傾斜；可是在任何的轉瞬間，其形狀爲對稱的。

此後，波耳還作更進一步之研究，他明白原子之安定，乃基於其電子軌道之對稱形。他把所有的元素加以研究，其結果，又使週期律獲得了巧妙的說明。這樣，他的學說便在許多人的激賞之下，被大家所公認了。

### 93 電子的軌道

依據波耳所闡明的原子構造，我們就可以考檢兩種元素的原子了。先說氫的原子吧，在一公分的一兆分之一的原子核周圍，有二千倍的電子循着一公分的一億分之一的一半徑旋轉；電子和中心之間，計有電子五萬列。至於電子運動的速率，尤其可以驚人，據說在一秒鐘之內，可以環繞原子核五千萬億次。他的速率既然這樣高，所以電子在任何一瞬間，滿列於軌道之任何一點上。其次說到氦，他的原子核之周圍有兩個電子，軌道平面相互傾斜，成類似圓形之軌道而旋轉，這兩個軌道和原子核的距離是相等的，所以他的電子恰巧相對，由是電子非常安定。再其次是鋰，他有三個電子，第三個電子在更外的軌道上環繞，他的軌道是橢圓形的，故原子核偏在一邊，這個電子就容易漂失，因此，鋰最易發生化合。一



切原子，其軌道數依着電子數之多寡而定的，因此，原子的號數愈大，即原子量愈大而愈多，鈾的電子最多，有九十二個；鐳的電子有八十八個。所以他們的配列，實在是很複雜的了。再，軌道愈在外邊的愈大，例如鈾原子的直徑，約當氫原子的二倍半。

最後，我們要講到化合的一回事了。當元素化合的時候，他的軌道是怎樣的呢？關於這個疑問，除出幾種簡單的原子以外，計算起來非常困難，所以還不能十分明瞭。但據想像起來，倘使把兩個氫原子組成一個分子時，則他們的兩個電子，或許是循着共通的軌道而旋轉，原子核便位於兩邊罷。

## 94 結語

本章即將告終，於此，我們再來研究物質的構造罷。據專家研究之所得，則知構成物質的分子，到處有空隙，尤其是氣體，差不多滿是空隙。至於組成分子的原子，他不過是一公分之數萬億分之一的微粒，則其原子與原子間的距離，也須當約原子的數萬倍。電子差不多是完全分散似的。如果我們人類變成電子那樣大小，那麼這些電子間的間隙，約當太陽與地球的距離。總之，所謂物質之內部，正和宇宙同樣的空虛，電子正可以在裏面活動自如，毫無阻礙，而X線和鐳所放射的微粒，原是從物質中飛駛出來的。

這正和彗星遠離太陽系的形狀相等。

## 第十四章 萬物電性論

### 95 電的自然觀之發展

十七世紀時，加利略（Galileo）奠定了物理的基礎；牛頓（Issac Newton）始以萬有引力為原則而創運動和力的定律。到了十九世紀，一切的自然現象，便都以此為解釋。這些定律，是機械的動原理，即以此機械的動來解釋一切的現象，稱為「機械的自然觀。」例如探明物質乃由於原子所組合，而所謂化合者，又是於原子的引力互相吸引所致。這就是機械自然觀的最好的例證。

但是，到了現在，對於自然的觀察愈益精妙，於是新的現象，即連續發生。這些新發生的現象，有許多已經不能再用機械的自然觀來解釋了，譬如關於化合物，雖然同種的原子以同數量而集合，但其化合後的性質有時却各各不同。這應該如何解釋才好呢？我們却沒有方法。

光這東西，究竟是甚麼？這個問題之研究，牛頓已經敬而遠之，他無法解釋而放手了。後來有許多學

者，却勉強加以機械的說明，於是造出一種假想的物質，稱爲能媒（Ether）的，這或許也是一種不大合理的解釋吧。

另一方面，關於電和磁的現象，逐漸引起學者的注意了。電的研究，那是誰都知道的，是發端於十八世紀中葉的佛蘭克林（Franklin）。到十九世紀時，其研究愈益精密，即更明瞭電與磁間之關係。至此，才把這些現象，脫離了物理學的定律，於是本來不易解釋的電磁原理，也就得到明確的闡明了。例如關於化合，則以電離說來解釋，即相互化合的原子，因所帶電有陰陽的不同，於是互相吸引，卒至化合。

法拉蒂（Faraday）再研究光與電磁之關係，創說光與電磁所發生的原動力是相同的；十九世紀末，馬克斯威爾（Maxwell）又探明先與電波相同；不久，赫茲（Hertz）即加以實驗而證明之。於是所謂能媒這東西，也就脫離了從前之機械觀而作另一方面的研究了。

這樣，我們才知道物質所起的化學作用，即電的作用；物質所發出的光和熱，即爲電波。電與物質，原來是兩種不同的東西。故物質是由機械的定律所支配，在物質中有電的潛在，所以有電的現象發生。實際上，這一點已經成爲當時大衆的常識了。但如今關於物質之構造，研究益進，又知道物質中的原子，乃由電子和原子核所組成的。所以上述的電和物質是兩種不同的東西，這解釋，又不得不完全推翻了。

## 第十五章 鐳和其他放射性元素

### 96 鐳的發見

重金屬中的鈾，是早已被人所發見的，其化合物用作陶器上的彩色。但奇怪的是：當畫間把他放在暗室中，他會發光。具有這樣性質的東西，種數很多，並且也早已被我們發見了。可是柏克列爾（Henry Becquerel）把鈾的化合物作種種研究：他先把牠當着日光，用黑紙包好，放在感光膠片上，膠片即有形顯現，這是膠片感得相當的光所致。於是柏克列爾便以為鈾放的光，正和X線相同。再繼續研究這時，恰巧天色昏暗，太陽也躲着不出來，於是他懶洋洋地把這礦物（鈾）放在感光膠片上，塞在抽屜裏了。過了幾天，天氣晴朗了，他又想拿出來實驗，不料這礦物雖然並不當着日光，膠片上也感着光而顯影了。於是他因好奇而作正式的實驗，把這礦物放在鐵箱中達七年之久，而他的作用仍絲毫不變，從此，他知道這種化合物和X線相同，能使空氣起電離作用，即它具有電離作用，由此，才明白了鈾的化合物的放射線，和X線完全相同。

柏克列爾再把其他的鈾化合物作種種的實驗，看見他們都具有這種特性，從此知道鈾元素中具有某種力。柏克列爾再把別種元素試驗一下，看看有沒有這種特性，結果，完全找不到。

後來，過了兩年，至一八九八年時，修米特 (G. C. Schmidt) 和居里夫人 (Mme Curie) 都知道鈾元素與 X 線有同樣的作用，不過對於感光膠片的作用頗弱。居里夫人再用電離作用來試驗，偶然發見了一種奇妙的礦物，這就是瀝青鈾礦石 (Pitchblende)。這礦石中含有鉛質，把鉛取出，發現其電離作用頗強；又因為他含着鈹，再把鈹取出，則其電離作用更強。當然，單單是鈹，是沒有電離作用的，現在竟有這種作用發現，其中一定含着別的東西，這是確實無疑的。於是居里夫人把這新發現的東西，名以自己生長的故鄉地名 Poland，故即名爲 Polonium (鈹)。居里夫人再把瀝青鈾礦石中的鈹鉛取出後，加以試驗，則其電離作用仍很強，分析研究之，則知其中所含之鋇 (Barium) 化合物，有此作用，並且遠較鈹爲強。居里夫人暗想，鋇化合物中到底還含着些甚麼東西呢？加以精細的檢驗，才發見質量愈少而電離作用却愈強，這樣使她更加詫異。可是她所有的瀝青鈾礦石很少，不易獲得精細的試驗，幸得政府的補助，經過苦心慘澹的研究，才從瀝青鈾礦石中檢出不足千萬分之一而電離作用勝過鈾數百萬倍之新元素，這就是鐳 (Radium)。

## 97 鐳爲甚麼很貴重

前節所述，是鐳發見之由來。此後，學者們羣相研究，又明瞭了他的原子的構造，把古來對於元素的論據，完全推翻，這是鐳之所以引起科學界驚異的第一原由。並且，牠的質量雖很小，而潛伏的能量却很大。因此，在醫藥上應用頗廣，以前所認爲不治之症，現在則可用鐳來療治，這又是令人驚異的地方。

鐳，除出瀝青鈾礦石外，其他各種礦物中，雖然也含有若干，但成分頗少，竟至無從提煉。再者，瀝青鈾礦石產額也不多，並且精鍊起來，勞力和費用，消耗頗多，現在因爲純粹的鐳，質量很小，保存上非常不易，所以普通大多只保存和鐳之性質無大差別的溴化鐳，這種溴化鐳提煉起來，只能獲得三十分之一的純粹鐳。現在全世界上的產量，最初德國的波希米亞（Bohemia）所有礦石，約可採得一英兩；一九一〇年時，美國所發見的原礦產地，十年間約可採得三英兩。一九二二年，據說非洲剛果地方發見許多原礦產地，每年約可採得二英兩。其產額之少，由此可見一斑。——因爲產量少，應用大，所以其價值是非常珍貴的。

## 98 鐳的力

鐳能放射 $\alpha$ 線以外，又能放射 $\alpha$ 線和 $\beta$ 線。從 $\alpha$ 線中射出來的微粒，其勢甚猛，仔細計算起來，每分鐘約有三百四十億。由其所射的微粒而測算他的電量，則知其量約當氫的四倍，與氫同；他的放射速率，約當光線之十分之一，因此透過物體的力很薄，只要隔一張薄紙，即能阻止他的放射能；在空氣層中只要通過一寸距離，他的速率即消失，變成氣體的氦了。

鐳中所射的 $\beta$ 線，和陰極線相同，但其電子之飛射，則較陰極線的速率大得多了。即陰極線的光速減小至十分之一，則鐳的光速比他大二分之一。關於光的速率，有許多人或許還不大認識得清楚，我現在且設一個比喻，給諸君看看：『太陽和我們，離得很遠吧，他和地球間的距離是一億五千萬公里。如果火車以每小時四十英里的速率，晝夜不停，向前行駛，則需二百五十四年的時光始得達到太陽；改爲聲音，其傳達時間需十五年；鎗砲的子彈，說起來是瞬息不見的，也需九年；而光之傳達，則僅需八分十八秒鐘就够了。』由此觀之，光速之可驚，你大概可以認識了罷。

$\beta$ 線的分量比 $\alpha$ 線小，其速率則比 $\alpha$ 線大，所以透物力頗強，約當 $\alpha$ 線的百倍。鐳的電子，其質量雖說這樣輕，可是因爲他的放射力很猛烈，所以也能使別種物質發生種種變化。

鐳所放射的熱量，因爲那電子的放射力頗猛，所以熱量也很高。照比例說起來，一噸鐳所放射的熱

量，雖然需經過一年的時光，可相當煤一噸所發熱量之一百七十倍。鐳因放射而消耗，所以他的體積會逐漸縮小，熱量也就逐漸減少，然而牠只消失三千五百萬之一而已。所以一噸鐳放射的熱之總和，至少可相當一噸煤所有熱量之四十六萬倍。由此看來，鐳所含熱量之豐富，不是很值得驚異的麼；

## 99 奇妙的鐳的性質

當鐳被發見的時候，大家以為這是不變的元素，豈知後來經許多人研究之後，才知道他的性質是要變化的。例如把溴化鐳溶於水中，水被蒸發以後，便賸留溴化鐳，再把他放在砂糖水中煮，則砂糖賸留，而所賸留之溴化鐳應該仍和當初一樣的，可是把他檢查起來，則 $\alpha$ 線已沒有了；最初是減少四分之一，但過了一個月，則又漸漸增多，終至和當初一樣，仍能發生放射線。由此看來，溴化鐳中一定有一種具有放射性的東西存在，當他溶於水中，他就變成氣體而逃到空中去了。這種氣體，經學者研究之所得，才知道是一種元素的氣體稱之為射氣 (Emanation) 但這種氣體，別種放射性的物質也能放射出來的，於是把他區別一下，叫他是鐳射氣 (Radium emanation) 所以鐳逐漸崩潰，能夠變成另一種元素，這種新元素，即名叫氡 (Radon)；再變，則成爲鉛了。現在我把他的變化程序，列表如次：



錳系元素蛻變程序一覽

元 素 名	原 子 量	原 子 序	放 射 線	半 衰 期
鈾 I (Uranium)	二三八	九二	$\alpha$	四六·七億年
鈾 X <sub>1</sub>	二三四	九〇	$\beta$	二四·六日
鈾 X <sub>2</sub>	二三四	九一	$\beta$ ( $\gamma$ )	一·一五分
鈷 II	二三四	九二	$\alpha$	二〇〇萬年
鐳 (Radium)	二二六	八八	$\alpha$ ( $\beta$ $\gamma$ )	一六九〇年
鐳射氣(氡 Radon)	二二二	八六	$\alpha$	三·八五日
鐳 A	二一八	八四	$\alpha$	三分
鐳 B	二一四	八二	$\beta$ ( $\gamma$ )	二六·八分
鐳 C	二一四	八三	$\beta$ ( $\gamma$ )	一九·五分
鐳 C'	二一四	八四	$\alpha$	一百萬分之一秒
鐳 D (Cn)	二一〇	八二	( $\beta$ $\gamma$ )	一六·五年
鐳 E	二一〇	八三	$\beta$	五日

鐳 F (鈹 Polonium)	二一〇	八四	$\alpha(\gamma)$	一三六日
鐳 D (鉛 Lead)	二〇六	八二	—	—

## 100 其他放射性元素

放射性元素，現在已經明瞭的，也有四十餘種，除了上述的鈾鐳等成功一個系統外，此外還有錒系和釷系兩大類。現在把它們的變化程序，列表如左：

錒系元素變程序一覽

元 素 名	原 子 量	原 子 序	放 射 線	半 衰 期
鈾(?)	?	九二	$\alpha$	—
鈾 Y	?	九〇	$\beta$	一·〇四日
鐳 (Protactinium)	?	九一	$\alpha$	一·二萬年
錒 (Actinium)	?	八九	—	二〇年
射錒 (Radioactinium)	?	九〇	$\alpha(\beta)$	一九·五日
錒 X	?	八八	$\alpha$	一一·四日

錳射氣 (Actinon)	?	八六	$\alpha$	三·九秒
錳 A	?	八四	$\alpha$	千分之二秒
錳 B	?	八二	( $\beta, \gamma$ )	三六·一分
錳 C	?	八三	$\alpha$	二·一五分
錳 (D)	?	八一	$\beta, \gamma$	四·七一分
錳 (鉛)	?	八二		

鈾系元素脫變程序一覽

元 素 名	原 子 量	原 子 序	放 射 線	半 衰 期
鈾 (Thorium)	二三三	九〇	$\alpha$	一三一億年
新鈾 I (Mesothorium)	二二八	八八		六·七年
新鈾 II	二二八	八九	$\beta, \gamma$	六·二時
射鈾 (Radiothorium)	二二八	九〇	$\alpha$ ( $\beta$ )	二·〇二年
鈾 X	二二四	八八	$\alpha$	三·六四日
鈾射氣 (Thoron)	二二〇	八六	$\alpha$	五四秒

鈷 A	二一六	八四	$\alpha$	〇・一四秒
鈷 B	二一二	八二	$\beta$ $\gamma$	一〇・六時
鈷 C	二一二	八三	$\beta$	六十分
鈷 C'	二一二	八四	$\alpha$	千億分之一秒
鈷 (鉛)	二〇八	八二		

除此以外，還有鉀、銣兩種元素，也有放射性的作用，這是一九〇七年坎柏爾 (Campbell) 所研究得來的，不過的能量很弱，只發出一些  $\beta$  線罷了。

從這三大系的蛻變程序看來，很有相類的地方，各系都在進行中途變成射氣，屬於稀氣元素。而又都發生  $\alpha$  線，變成固體的放射元素，最後都成無放射性的鉛。

## 第十六章 相對性原理略說

到了一九〇五年，物理學的研究上發生了一件驚異的事，頓時引起各國科學界的騷動。這是一件甚麼事呢？那就是德國愛因斯坦所首創的「相對性原理」。自從這個新學說出現以後，以前一般難解的疑問，凡是不可實驗證明的，都被他廓清了；有的被否認，有的得新解。這不是一件值得研究的事嗎？

但他的學說，範圍太廣了，論證太專門了，或不易為我們學生所了解，所以我在這裏，只能把他的大概意思說一說。如果要仔細敘述起來，實在不是本書所能容得下的。

第一，愛因斯坦說，凡自然現象之發生，必有時間和空間為其背景。而時間之認識，以現象的發生為必要；空間之測定，則以物理的對象為必要。所以從來所說的「絕對時間」和「絕對空間」，皆被否認。——於是，物理學研究的基礎被他推翻了。

第二，愛因斯坦說，光的速度，在真空中對於任何觀察者，都是一定不變的。——於是，把許多科學家所

第二十八圖



愛因斯坦肖像

假定的「能媒」說，完全抹倒。

其他，關於力學，關於光學，他也發見了許多新解釋，使我們知道太陽系水星軌道勢換之原因。凡此種種，都是劃時代的新發見。諸君如欲知道得更詳細一點，請翻閱專論「相對論」的專書，這裏，恕我不多寫了。

學問的研究是無止境的，學說和原理是無一定的，怎樣研究，怎樣始得挾其微奧，是在我們不絕的勉力，始有不絕的無窮的收穫。

(完)

(天)





(10782)