

通俗物理學

A. S. Eve 著
徐韜知 譯



商務印書館

通俗物理學

A. S. Eve 著

徐 韞 知 譯

商務印書館出版

(253228)

通俗物理學

Physics

★版權所有★

原著者 A. S. E v e
譯述者 徐 韜 知
出版者 商務印書館
上海河南中路二一一號
發行者 三聯中華商務印書館聯合總發行公司
中國圖書公司
北京總發行所
發行所 三聯書店 中華書局
商務印書館 開明書店
聯營書店 各地分店
印刷者 商務印書館印刷廠

1956年10月初版 定價人民幣12,000元
1951年7月3版

(滬)2501-4000

譯 後 序

這本書是英倫 Thornton Butterworth 公司印行的家庭大學現代知識文庫之一種，這部文庫的特色在以最通俗的文字，說明極艱深的學理，而各書的執筆者又都是英國各該科有數的權威者。所以能夠風行英美，極受一般業餘進修的讀者所歡迎。本書是這部文庫最近編印的一號，173 號。著者伊佛 (A. S. Eve) 博士為英國物理學家後起之秀，現任皇家學會會員，坎拿大蒙特里默吉盧大學物理學教授和研究院主任。他在原序中說得好：“這本書不是教科書，也不是百科全書，只不過是用通俗的言語來答覆這個常見的疑問——物理學說些甚麼？——的一個嘗試”。他還說得好：“如果這個答覆一點不缺，那這本書就是世界上最足令人驚奇的了！”的確，在科學，尤其是物理科學上面，一切基本的原理隨時正進展著，變動著；一切新的知識和證據自然比舊的更加完善而可靠，本書

之值得介紹也就在於此！

本書原文單用“物理學”(Physics)幾個字作名稱，不過全書都側重近代的物理學新觀念方面，最後更歸結到近代物理學的種種發現，所以我改用現在的書名。原書還附有供讀者進修的參考書目，我認爲這對於我國的讀者並無用處，因此刪去不譯，很願意將來能替讀者另開幾本真正適於閱讀的參考書名稱，以備選擇。

徐韞知 二四,四,二五·附刊。

目次

第一章	引言	1
第二章	靜力學	14
	力 功 矩 滑輪 力的平行四邊形 力偶 圖解 靜力學 扛重機 重心 彈性 單位 摩擦	
第三章	流體靜力學	32
	壓力 浮力 比重 大氣 氣壓計 唧筒 虹吸管 波義耳定律 濕度 表面張力 毛細作用 肥皂 液膜 水平面 擴散 滲透作用 粘滯性 布朗運 動 動力論	
第四章	動力學	51
	位移 速 速度 加速度 力 伽利列牛頓定律 質量 作用和反作用 碰撞 升降機 達因 簡諧 運動 單擺 功 能 動能 角速度 轉矩 功率 單位 帶 天體力學 平衡	

第五章 熱學 92

熱源 效應 熱和溫度 膨脹 溫度計 膨脹率
 熱量單位 混合物 熱漏 傳導 對流 輻射 熱
 率(比熱) 熱容量 水 潛熱 壓力 絕對溫度
 查理定律 波義耳定律 功和熱 動物的熱 太陽
 機器(引擎) 熵 動力論

第六章 天氣物理學..... 124

濕氣 膨脹 雲 霧 露 風 高壓和低壓 天氣
 徵兆 巴 上層大氣

第七章 聲學..... 135

聲源 介質 速度 波 諧 風琴管 開端管(開
 管) 口聲 拍 共振 桿 超聲 都卜勒效應
 音樂 分裴耳 驗音器 靈敏焰 聽程 樂器

第八章 磁學..... 165

磁體 造磁 去磁 劈磁 磁和電 羅盤 極 定
 律 場 地球, 一個磁體 磁傾角 航用羅盤 歷
 史 應用

第九章	靜電學	177
	起電 推斥和吸引 驗電器 等量分離 導體 絕緣體 電量 力線 表面分佈 尖端放電 避雷針 電火花 電閃 感應 起電盤 電機 位 來頓瓶 容電器 介質常數 能 歷史 評論	
第十章	動電學	197
	發現 磁效應 電磁體 化學和電 電池 熱 歐姆定律 標準 功,熱,和電流 功率 感應 發電機 電動機(馬達) 變壓器 電話機 白熾燈 弧光燈 熱電學 由氣體放電 電子 倫琴射線 光電學 熱游子學 兩極管 三極管 電視	
第十一章	光學	232
	性質 速度 反射 鏡 折射 光可倒轉 光怎樣彎曲? 稜鏡 虹霓 透鏡 顯微鏡 望遠鏡 野外鏡 眼 眼鏡 照度 海市蜃樓 分光鏡 膨脹的宇宙 色,金屬,花 混合色 顏料 蔚藍天 薄膜 繞射 消色差 極化 尼科爾稜晶 連續光譜	

第十二章 近世物理學.....263

放射學 鐳 變化定律 輻射 地球的年齡 宇宙
射線 原子核 波爾學說 從核射出的質子 中子
正子 同位元素 重氫 蛻變 三氫 核物理學
同位元素表 應放射 光子 電子波 光子的質量
字頭單位 測不準原理 波動力學

附錄

譯名對照表..... 285

通俗物理學

第一章 引言

“變”和“常”交織成我們生存的這個世界。在其間，不論何時，從沒有兩個物件完全類似；然而全羣物件卻有幾分類似。初看起來，這裏一羣羊，或者那裏一株樺樹上的葉，彷彿都十分逼肖；但是一個牧童卻能將他的羊逐頭區別，而另一方面，在同一株樹，也絕對尋不到完全相同的兩枚樹葉。

太陽每個清晨照常升起，時間雖地球上各處不同，可是在何時何分何秒，我們都能夠準確計出。我們雖因為天時方面的想像，致不敢確定某一個清晨能否看見日出；然而卻能夠大致不差的，預測出為期不遠的未來的天時。留心湖泊或海洋內波浪的動態的人們都明瞭，絕不會看到兩次形式結構景象相同的變動形態。通常說，觀察愈審慎，

相似就愈少。我們可以說：近世的見解正趨向於“萬物波動” (Everything waves) ——而不是希坡克拉底 (Hippocrates) 所謂的“萬物流動” (Everything flows) ——這個觀念，若是我們的宇宙不過是我們本身感受到的宇宙波動的經驗的變動形態，同時我們本身也只是波動而已！但是，如果再問一句，“甚麼的波動？”這個問題至今尚得不到一個正確的答案；如果愛因斯坦 (Albert Einstein) 偉大的相對原理 (The relativity principle) 真實，那麼我們將不惟根本不能答覆這個問題，並且不再會提出“以太” (The Aether) 或“波動物質”一類的東西 (參看第十二章)。

常識最會使人錯誤。常識表示地是扁平，科學證明它是球形。常識說地球不會動。科學，即是知識，證明在我們不知不覺中，地球每日繞自軸旋轉，而每年繞行太陽一週。常識說星不動。科學證明它們動，有些並有駭人的速度。常識說，一塊金子一類的東西是一種無空隙連續的真正的立體。盧時福動爵 (Lord Rutherford) 證明，一個金原子不是連續的，而是“充滿空隙”的。

我們對於世界的解釋是要依賴五官從外界獲得的那些印象的。譬如使用無線電，通常就得有傳送器和接受器，其間並得有傳遞信號的媒介物。又如，當傳送器是一個吹著的叫笛，或者拉著的提琴時候，連續不斷的空氣質點或分子，作成媒介物的樣子，將一串音波傳遞到接受器，即耳鼓上面。那裏再有一付槓杆組織的骨骼，將振動傳送到內耳蝸牛殼；在這個小器官內，有無數感應外來振動所必需的神經末梢，散佈在一種液體中間，並由此刺激神經纖維，而將外界的消息傳送到知覺中樞的大腦，備受它各種精細的分析。其不可思議的地方直有非我們所能想像者。所以，一個幹練的樂隊領袖能在一個大規模的管絃樂隊演奏時，查出每件樂器每個拍子的優劣。同樣，聲音的特點稍有差異，我們便能相當鑒別出朋友的性情和品格。將神經從耳得到的消息變成聽，將視神經得到的消息變成看，此外具有其專有的各別的特殊的感觉的如“味”或“嗅”或“觸”等，這類改變的方法是在心理學和生理學，即心理和身體、範圍內的一個題目，這在現在固然不明瞭，而其實或許是越出我們所能明瞭的範圍以外。至

此，一個著名的生理學家亞德里安（Adrian）寫過一段話：

“神經組織是一羣有影響心靈同時被心靈影響的奇特性質的生活細胞。它是一種物質的組織，而和這類非物質的情緒和思想有相當重要的關係。”

我們先要特別標明一句，所有我們對自然的解釋都在心內，而依賴從外界達到我們心內即沿神經纖維到大腦的信號。物和心中間的這種微妙的交互作用構成一個新奇重要的根本問題。

“物理學”（Physics），或者照從前稱爲“自然哲學”（Natural Philosophy）——其實這個名稱更較恰當——大部分就研究那些彷彿是這類消息來源的“事物”，和彷彿是傳送這類消息的媒介物，以及最後關於感受者，或眼耳一類的感受器的某幾點。物理學並不想解說生命或心理現象。研究生命或心理現象的人們反而有時用到物理學和化學，來解說他們關於生活機體的機構的理論。用這個辦法，許多深奧的事實都陸續獲得解決，或者變爲簡單。因此，譬如假定研究物理學的人必須注重“主觀”，而

必須依賴他的“心”，這就生出一個問題——他能夠依賴他的“心”到甚麼程度？因為人的心思彼此不同——不亞羣星的差異。我們可以信任從某一個心思得出的結果或推論嗎？我們可以相信，答案必定是否定的。在另一方面，任何人按照規矩在無論何時何地都能夠覆驗的實驗和觀測當然應該信任。由是推闡而得的原則和理論不僅應對剛纔所做的實驗有一滿意的記述，並且應成為誘致未來發現的一個忠實的先導。

因為這樣是一種成功理論的試金石，最好舉幾個例來證明一下。在上端定牢的一條細線的下端，縛一鐵製的，或鉛製的，或其他質料所製的小球。無論球的質料如何，往返擺動一次的時間總是相同的；因此，地球對於這個球的拉力，叫做“重量”（Weight），應和物體的分量，叫做質量（Mass）成比例。又照伽利略（Galileo）證明，往復擺動的時間與擺的大小無關，可是這個關係在擺動過大時，就不像前番正確。再則，如線長 8 呎，擺動不大時，那麼無論何時何地，大約為 $\frac{1}{4}$ 秒完全往復一次。線的長加倍，但是擺的“週期”（The period）可不是加倍。長度

成 1, 4, 9, 16, …… 等比例時，週期就成 1, 2, 3, 4, …… 等比例。這個可以簡明的說為：任何現在所說的這種“單擺” (Simple Pendulum) 的“週期的自乘和長度成比例”。

前邊說過，一個八呎擺擺動的週期“約為” 3 $\frac{1}{2}$ 秒。要望有一個比較正確的時間，就應得注意觀察人所在的緯度，海拔的高度，在他腳底的岩層的密度，和擺動的大小，以及能夠改變線的長度的溫度和溼度。只要有關的環境和原則知道和了解時，所有這些比較次要而也不可少的校正總容易辦到。但是，我們應特別標明一句，可量的量絕對辦不到完全正確。求一段長，通常必須用某種長度標準來比較。求一個物體的質量，必須在一個精確的天平上和一份標準的質量對稱。達到的準確程度視當時的注意和技巧而定，有的為千分之一，有的為萬分之一，以至十萬分百萬分等。

所以，一座時鐘可以告知我們近似的時間，但決不能告知我們準確的時間。一個丈量土地的人決不能將一塊土地的尺寸辦到一點無誤，通常能夠辦到的不過是如律師們的口頭禪“多點少點”的近似值而已。歇洛克 (Shy-

lock) 在玻莎(Portia)命他照合同從仁厚的安東尼(Antonio)身上準確的取一磅肉時就遇過困難。在這個情形內，我們感觸到的當然是曲解法條的詭辯！當我們必須再增多準確的程度時候，就需有更加精密的測量，而其實通常都是可以辦到的。在一座山的兩面，能夠開鑿洞口相距十哩的兩個隧道；可是有時會使兩個洞坑相遇一處，相差不過幾吋。還有，固然必須用特製的經緯儀，重復觀測，測取一條完善的“基線”(The base-line)，以及特別審慎計算，可是總不免有一點細微的錯誤。

我們還可以再舉一個例證，這是一串成功的結果。大天文學家台科布拉埃(Tycho Brahé)不用望遠鏡，極精細的觀測得行星的運動和位置。由是，開普勒(Kepler)就能夠證明它們的軌道成橢圓形，繞位置在它的一個焦點上的太陽運行。隨著，伽利略就樹立起“動力學”(Dynamics)的基礎。牛頓(Newton)襲用了開普勒的結果，和古代希臘算學的觀念發揚光大，纔能夠誘導出一個簡單的“萬有引力”(The gravitational attraction)定律。因此，到相當的時間，“海王星”(Neptune)這個行星就

從它對“天王星”(Uranus)的引力被我們發現;更到最近,一個新行星“冥王星”(Pluto)復因它的攝動(The perturbation)而被人發現。

如果有個人走進一座大的電機房,一個大的工廠,或者一處大的萬國博覽會,對於所有的佈置和機構的複雜錯綜,一定會感到迷惑。又如有人想將宇宙全體都加以攷查,他一定也會感到這個計畫過於繁雜和龐大。但是進一步說,大多數觀測的現象都可以歸成若干類,而和比較為數無幾的幾個顯著的基本原則有關。本書的目的就是用最通俗不過的詞句說明這些原則,並且竭力避免用到算學的幫助——這當然是一個困難的工作。

但是,我們最好補充一句,當實驗和十分準確的測量以及算學都結合一體時,科學就愈有極迅速的而且極有效的進步。所以,如果研究本書的是青年的讀者,他就應該趁心智富於可塑力和保持力的幼年,竭力增進他個人的算學知識。並且,他就不應忽視湯姆森(Lord Kelvin) 馬克士威爾(Maxwell) 萊蘭(Rayleigh) 等一類人物的先例,無論在物理學工程學以及其他方面,都應使他的

算學知識應用到實用的問題上去。從此他可以明白，工程學內所包含的就是物理學和化學的重要原理的巧妙的經濟的應用，輔以算學。

“物理學”(Physics)原文這個字出自希臘文“*phusis*”(Phusis)，和“生理學”(Physiology)這個字原文同源。“*phusis*”這個字原意爲“自然”，這是一個包羅萬象的名稱，凡不涉及最終原因的一切事物都包括其內。因爲“物理學”往往係借這個事物解說那個事物，所以就免除牽涉到過去現在或未來的最終原因。當我們提到所謂究竟的原因時候，通常都歸結到上帝，神，造物以及宇宙主宰身上。這不啻是要“宇宙”決定自己，當然也是一個不可思議的打算。我們要知道一個解釋或者要更比認識真實的解釋需要。“宇宙”不僅“存在”(Being)，而且在“變化”(Becoming)，這個在任何時間都是真實的。“現在”在我們眼裏好像是“過去”必然的結果；但是這並不一定，這並未經證實，甚至更不大靠得住，來說“將來”必定是“現在”必然的結果。因果關係只有當被證實的時候靠得住，並且過去不斷的證明也不能保障以後的真實。對物理學家說，

任何事物的開始必定是一種奇蹟，它以後的行爲纔是他研究的範圍。我們容易將一隻茶杯破碎，並說出碎片的關係。如愛丁頓 (Eddington) 所說，倒轉的過程就不在我們的經驗中間，我們曾未看見碎片復循它們的關係再變成那隻茶杯。照布拉格 (W. L. Bragg) 的話，“一個完整的茶杯就是一個奇蹟，自然並不是與物理學定律相反的奇蹟，而是單獨物理的原因不夠產生的奇蹟。”一個植物或一個動物也是如此嗎？提出，而不是答覆，這個疑問是很必要的。因為有這些的考慮，現在許多的科學家表示關於“一切常”和“一切變”的意見時就不能不格外審慎。我們在此並不要多討論這類繁難的問題；一方面因為它們終究無關緊要，一方面因為以我們有限的的能力來思索這渺無涯際的最終原因總不免失望，因此這類問題就每被人遺漏。我們知道，繼續不息的研究“自然”不過期望發現“自然”的方式和習慣，此外並無其他中庸的途徑。現在所用的方法就不許有最終的解釋，同時說到“自然能力”的話多半就難免成無稽之談。有時慣常說一朵罌粟花是紅的，和天空是藍的，因為那些即是它們自然的顏色；

又如常說石頭沉底以及軟木塞浮起，因為這樣即是它們自然的習慣。有的罌粟花白又有的花藍，這個事實就使第一說不成立；而現在我們並知道天空所以藍者，因為空氣分子極小足以將太陽合成的白光內最短的光波，即藍波，分散傳播。阿幾默德 (Archimedes) 證明，在一種液體內，每個物體都有相當於所排去液體的重的一個大小被浮起。一個石塊的重超過水的浮力，而一個軟木塞的重卻沒有超過，所以這個沉底而那個浮起。每常顯然又有其他問題發生——為甚麼同體積的石塊較軟木塞重呢？由此類推以至其他無數的問題。

對物理學家而言，宇宙可以說宛如一個廣大的實驗室，他們在裏面用一個不可思議的廣大的計畫從事種種絕頂重要的實驗；以我們這有限的智力，所以只能把握得一般的計畫內零碎的幾部分，如果有一個萬能的完全觀念，那麼我們也只能把握得支柱這個觀念的對象和目的零碎的幾部分。

近世盲目的機會主義大概就是因為一時震於機械學理和應用的驚人所生的結果。有一個唯心的觀點的更廣

大的觀念固然可以擱置不談，但是我們期不敢相信就可以算爲消滅。

“物理學”，或“自然哲學”，可以便當的分爲各個不同的項目，化學就可以算這些項目之一，不過它已經達到有其重要的獨立的地位，物理學和化學的界限多年來已經證明其過於牽強，現在更見得不易維持了。物理學主要的區分是：

“力學”(Mechanics)——包括“靜力學”(Statics)，“流體靜力學”(Hydrostatics)和“動力學”(Dynamics)

“音學”(Sound)

“熱學”(Heat)

“電磁學”(Magnetism and Electricity)

“光學”(Light)

每個項目將成爲一個專章敘述，此外在結尾一章內將對近世物理學，特別是關於原子和它們的組織，有一簡短的說明。

我們應該注意，每個觀測，每個實驗，以及每個理論都得需要相當的“智慧”(intelligence)，而且事前決不會

有人告訴需要甚麼的智慧，同時在任何教科書內也決不會將它當做物理學的一部分。通常卻假定它是一個不能缺少的先決的條件。

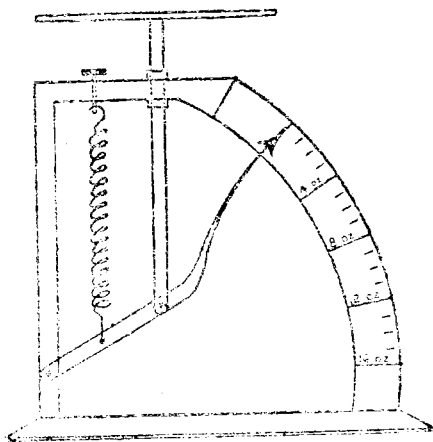
第二章 靜力學

力(Force)

我們最早的力的經驗，就一般而言，即從兩臂和兩腿推物拉物或舉物使用肌肉時獲得。到時間較後，漸變成用一條帶繩或鏈拉，以及用一根杖或棒推或擊。照這個樣子，差不多在不知不覺中，一個兒童從用索和由一根棒的衝刺兩種用力的情形，得到力的知識。這類力的大小都可以對著標準的重量來測定，因此如果一條輕的皮帶支持著一個 1 磅的重量，我們說那就是皮帶在重量和皮帶支點間任一點的拉力。但是如果一條 2 磅的鏈拉著一個 4 磅的重量，那麼這條鏈上的拉力在頂為 6 磅，在底為 4 磅，這個值逐漸從上端改變到下端。

如果使一條皮帶繞過邊緣有一凹槽而中心有一平滑的旋轉軸的滑輪(The pulley wheel)，現如在皮帶的一端懸上一 5 磅的重量，那麼不論這條帶的方向如何，我們知道在另一端需有一 5 磅的力來拉。我們知道，如果用一

螺旋彈簧來舉重，彈簧的延展就隨所懸的重量增加，並且可以附裝一個尺度將對應的重量刻出。若是，這個尺度就叫做被“分成度數” (graduated) 或被“較準分量” (calibrated); 前一個字出自拉丁文有“步伐”的意思，而後一個字出自阿拉伯文指“大小”而言，因此當我們說一個噸的“calibre”即指噸口直徑。彈簧和尺度合成一個彈簧秤 (Spring-balance)，有時可以用來測量拉力或張力 (第一圖)。彈簧又可以做成難以壓緊或縮小者，並且也可



第一圖 由彈簧秤和呢合成的一種磅秤

以做成“功率計”(The Dynamometer)或“測力計”(The Force-measure)。這類器具可以嵌在一個火車頭和它所拉的列車中間，以測量伸張的力，或者火車頭只裝有制動機時緊縮的力。以後我們可以假定，力的觀念以及量力的種種設計都已了解，並且能夠進一步來研究它們在各種“機械”(The Machine)方面的使用。

功(Work)

形式最古的機械中其一為槓杆(The Lever)，關於這種機械，約在公元前三百年，阿幾默德就說過“給我一個支點(Fulcrum)，我定可移動世界”的話；因為他已經懂得，放在一個固定支點上的一根粗棒足使我們以一個小的力舉大過本身幾倍的一個重量，或者勝過一個極大的阻力，只消我們使本身和支點間的棒長超過支點和所舉重量間的棒長。在此，立刻會發現兩個大多數機械所共同的極重要的觀念，並且應該開始就特別注意它們；這兩個觀念就是矩原理(Principle of Moments)和功原理(Principle of Work)，兩者間並且密切相關。支持在一個“滑輪”每邊的兩個重量與軸均為等距離，所以也應該

相等，當降低一方時候，另一方就被舉到一個相等的高度。如果用帶縛牢一根粗直的棒當中將其懸著，我們可以辦到使縛有三片磚的一端和同樣的而僅縛有兩片磚的另一端平衡。我們可以遇到許多的平衡的位置，不過總是距中點較短的長度在較重的重量一邊，並且當重量的比成三對二時，總是這段較短的長度為較長的長度三分之二。蹺蹺板的原理正與此相同。兩個重量相等的兒童在和支點等距的兩端是平衡的；可是一個體重 180 磅的成人要和一個體重 100 磅的兒童平衡，就除非他們和支點的距離為 100 對 180，或 5 對 9 的比。注意，如果這個成人向下降低 5 吋，這個小孩就必定被舉高 9 吋。求在一點的一個力的矩：我們用從這個點到力的作用線上的垂線來和力相乘。求一個力的功：我們用沿那個力的方向，注意並不是隨意方向的移動距離來和力相乘。

矩(Moments)

我們現在可以將關於物體能夠因若干的力作用而繞一滑軸旋轉的無數實驗結果提要提述幾句。如果一個物體在受若干的力作用時仍舊靜止，那麼那些有使它繞一

定點沿某一方面旋轉趨勢的力的所有力矩總和等於那些有使它繞同點而沿另一方向旋轉趨勢的力的所有力矩總和。這裏係假設力全在同一平面上，因此力只作用於兩度空間方面；當力在三度空間內（不在一平面）時，那我們就必須說到將任一直線做軸的“矩”。在剛纜所述的定理內，如將“矩”改成“功”，並將仍舊“靜止”一句話變成准物體有前述蹺蹺板例中的一種移動，我們又可以得出一個類似的定理。所有這些力所作的所有的功的代數和為零。為方便起見，普通將矩計成磅呎（pound-feet），而將功計成呎磅（foot-pounds），以免混淆。因此，如果4個人推每個臂上有70磅的一個轆轤或起錨機，臂長8呎那麼他們的總矩就是70的8倍的4倍，或2,240磅呎；又如這個起錨機有一1呎長的半徑，鐵錨的重量就應為1長噸（即2,240磅）；又如鐵錨被舉高垂直6呎的距離，所作的功就應為6呎噸，或13,440呎磅。

滑輪(Pulleys)

如果一個“滑輪”係在承塵板上裝牢的一個固定的滑輪組內，那麼兩邊的索的張力總是相等的，一個人就不能

利用這個滑輪從地板上舉起大於他本身的一個重量。如果係使用一組動滑輪，情形就兩樣了。取兩組滑輪，每組都係由三個邊緣相接的三個滑輪合成，一組裝在房頂的一根樑上，而一組連在所舉的重量上。取一條長索，將一端縛緊上一組滑車的底鈎，然後從底起，一個底而一個頂的輪流用索繞過六個滑輪，直到索末縛的一端懸在下面為止。如果一個人用一個 1 磅的力來拉，那麼向上拉所舉的這個重量的力就是 6 磅，因為索所有六次旋轉都生出一種 1 磅的向上拉力。因此，體重 160 磅的一個人會能夠從地上舉起 960 磅。由“功”的原理，我們立刻就明瞭，這樣從地板上舉重一呎，人手裏必定拉過六呎長的索。他在力方面獲得的就是在距離方面損失的，這是從“功”的原理稍加增減而得的一個結果。有經驗的人並且必定會注意到這根支持的樑的力量，在現在的例中，除掉轆轤和滑輪組等不計，係被一個 160 磅的 7 倍，或 1,120 磅的方向下拉著。滑輪有無數種不同的裝置，都可以用剛纜所說的方法，或用“功”的原理，來一一說明。

當若干力在同一直線上，或彼此平行時，它們的共同

的效應或“合力”(The resultant force) 是相加的, 或者得成一個代數和, 在裏面我們將所有方向相同的看做正, 方向相反的看做負, 恰似簿記上的借方和貸方。在一個平衡的拔河遊戲內, 這一邊八個人所生的共同的拉力與那一邊八個人所生的共同拉力相等。凡不是這樣時, 全體十六個人就開始移動, 因為一組的足踏地較另一組結實。又如馬蹄向後踏地推動馬身和車身前進, 由是馬車就生出速。在平滑的冰地上, 馬走動時就不能拉許多, 因為這時候馬不能用蹄後踏。摩托車因為橡皮輪胎在馬路上向後推的力, 而被駛前進。在兩個力作用在一點並且傾斜成一種角度時, 這一個在效應上能夠代替這兩個力的相等的力, 或合力 (The resultant), 即可以用一個簡單公式求出, 就是通常所謂的“平行四邊形定律” (The Parallelogram Law)。

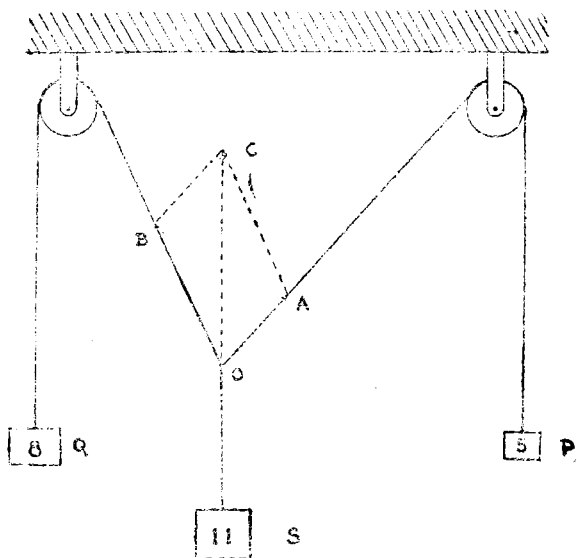
力的平行四邊形 (Parallelogram of Forces)

在先我們應該明瞭, 一個力有“方向”(Direction) 和“大小”(Magnitude), 可以用一條直線來表示, 圖內的方向和原來相同, 而長度係根據一相當尺度取定, 若是一吋

可以代表 10 磅，或 5 噸，或任何其他設定的關係。一切有“大小”而無“方向”的量都叫做“無向量”(Scalars)，一切有“大小”又有“方向”的量叫做“有向量”(Vectors)，由經驗得知，一切的向量都適用現在要說的“平行四邊形定律”。如果 OA 和 OB 在比例尺度上代表相遇於 O 的兩個力，那麼表示相等的這個單一力，或叫合力，即是 OC ，在此 $OACB$ 就是一個平行四邊形。

所以在第二圖內，從 O 起用一條帶懸垂著的重量 S 係由兩條繞過兩個滑輪並在各個較遠的一端懸有重量 P 和 Q 的帶的拉力支持著。

如果一點無訛的測得 OA 代表 P ，和 OB 代表 Q ，然後再設將平行四邊形 $OACB$ 完成，我們將見， OC 正在懸著 S 的帶的一條線上，而它的長度就和 S 的大小成比例。爲要證明這個關係，可以叫做一個**定律** (Law)，就用各種不同的重量和位置試做許多實驗；我們知道在物理學上，一個定律就是我們要敘述自然的習慣或經過替自己作成的一個簡便的提要，不過究竟怎樣和爲甚麼自然必定使我們得以作成這些提要或所謂的定律仍舊成一個問



第二圖 力的平行四邊形的一個實驗的證明。

題。我們知道，在同一個平面內無論有多少的力，都可以取任意兩個求出它們的合力，再將這個合力與第三個力相合，如是繼續，直到只有一個單獨的合成力為止；照這個方式，就能夠求出所有力的合力來。還有，在任意點的合力的力矩能夠證明和在那一點的所有力的力矩代數和相等；又如已知有一個小的移動，或為實在的或為假設

的，合力所作的“功”也能夠證明和全體的力所作“功”的代數和相等。如果無有最後的合力，那就是平衡或靜止，而結果無論我們說到“力矩”或“功”，代數和總等於零。

力偶 (Couple)

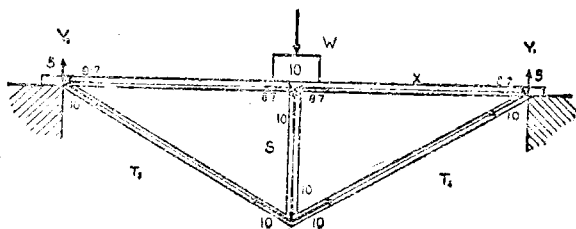
當兩個平行而相等的力作用於反對方向時，就有一簡單而奇異的情形發生。在這種情形中，既沒有合力，但也不會有平衡。這兩個力叫做組成一個力偶 (Couple)，它們的效應有推動物體旋轉的作用，同時我們容易看出它們在自己的平面內任意點的力矩總和等於每個力乘以它們間的距離，這叫做它們的轉矩 (Torque)。我們並知道，單一個力決不能停止這種的效應。“扭力”相等但旋轉效應相反的兩個“力偶”互相平衡，若此它們所作用的物體將不會有運動，萬一如果它係在旋轉，它的旋轉速度將不會增大或減弱。

靜力學還有許多重要的應用如風磨的帆，船舶，冰划，飛機等，又如“斜面” (The inclined plane) 上支持的物體的性質等，在此，我們似乎用不著費力逐一解釋。這些都可以任讀者自由去研究，或者選讀幾本關於“靜力

學”的專書也就足以窺得門徑了。

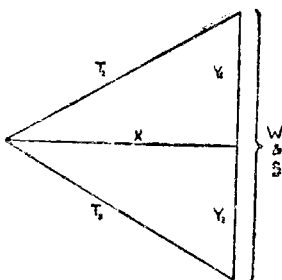
圖解靜力學(Graphic Statics)

但是現在，我們卻應將一個極有趣而且有用的方法提述一下。就一座木造或鋼造的橋樑觀察，我們知道，每部分都有，或者應該有，相當用得著的功能；並且那部分的大小應恰足以舉橋樑的重量，橋面上所載重，以及因極



(a)

(b)



第三圖 支在石基上載有一個重的一座簡單的橋型；和一個力圖。

猛烈的暴風所生的壓力等力量，只要是並不超過質料的總量，而且在一個相當安全的範圍以內。這些力量通常都應該審慎的而且精細的計算，但是在圖案上，還得注意用圖解靜力學的方法，利用力的平行四邊形，作成所需的四邊形或相當四邊形一半的三角形。現在我們舉一個極簡單的例來說明。在第三圖內，就是承在兩個石基上的一塊木板的圖案，這塊木板必須用索或鏈撐著在中點的一個垂直的支柱纔不致屈撓。在這個圖內，(a)的底角是一直角又三分之一，即 120° ，因此力的圖形(b)就是一個等邊三角形，如圖所示，並且我們能夠將所有的力量出。注意，這個簡陋的橋樑的大小並未規定，並且也用不著規定；還有也用不著說究竟當中的載重是10磅，抑是10噸。這塊木板所受壓力為8.7，垂直的支柱所受壓力為10，鏈上面的拉力為10，而每個石基對木板的壓力為5。在每點的力都用箭頭指明，如圖。

扛重機(Jack)

當一個輪胎破裂時，通常修理時總先用一種扛重機(The Jack)將這部分車身舉起。一個“扛重機”係由裝

置在安放地上的一塊金屬板的一只堅固的螺旋做成，然後再在螺旋的頂部裝上一個橫平的長臂，以便使螺旋旋轉。如果這個柄製成每次旋轉都是一種水平的圓形，所作“功”就等於人手的推力和所作圓的圓周的相乘積。所生效應就是使相反位置的重物舉到恰和螺旋的兩個相連螺紋間相等的垂直距離。如果螺旋上塗有滑料，若是摩擦力細微，那麼“機械利益”(The Mechanical advantage)，即所勝過的阻力和所施力的比，就等於螺紋間的距離除臂的圓周長，實用上多為 $\frac{1}{2}$ 吋除3呎，或即72。因此，一個人如用70磅的力拉臂端就會生出一個5,040磅，大於2噸的舉力。這是功原理簡單應用的一個適當的例子。

重心(Centre of Gravity)

在“槓桿”和蹺蹺板的例中，我們已明白說過，兩個平行的力的合力等於它們的和，並且在位置上將兩個力間的距離分成與力成反比的兩段的分點。這段話的意思是，如果這兩個平行力是3和5磅，相距16吋，合力就是8磅，同時這段距離就被分成3對5之比，如是一段距離將為6吋，而另一段距離為10吋；並且這段6吋的較短的距

離就是靠近 5 磅的這個較大的力的一段。用實驗立刻可以證明，如果任意剛體被一連著它上面某點的索懸垂著靜止不動，那麼對於那個物體，總有一點，並且只有一點，是直接的支持點下面。這個固定的點叫做某一物體的重心(The centre of gravity)，或“質量中心”(The centre of mass)。

例如，用一端附在屋頂的一條帶，順次將一把椅子的背，邊，腳等各點縛起，注意這把椅子懸空的情形，我們一定看得到一個固定的點，雖不一定在椅子的本身上，但必定和這把椅子有關，而總在支持的帶的垂直線上。通常用附於椅上的一個虛線指針，就可以將這種“重心”表示明白。在簡單形體的物體方面，如圓形，橢圓形，正方形，矩形，平行四邊形，球體，立方體以及平行六面體等，“重心”也就是形體的中心。物體的每個質點假設都被地球的每個質點所吸引，我們想像這數目無量而方向衆多的力不啻物體的位置若何，全體化成一獨單一的力，並直向下作用於這獨叫做“重心”的點，這段由繁化簡的過程是怎樣的一個奇蹟啊！

彈性(Elasticity)

假設一矩形橫截面 4 乘 5 吋的垂直柱舉重 10,000 磅，那麼每單位面積的應力 (Stress)，或力，就是每方吋 10,000/20，即 500 磅。這是一種向下的壓力，又因為所有物體都是彈性的，這根柱將被它壓縮一點。假設這根柱是 10 呎高並且用鋼造成，那麼它該被壓縮多少呢？約為一吋的 $\frac{2}{1000}$ 分。這個結果係如下得出。虎克 (Hooke)，和牛頓 同時的一個學者，說過每個“壓力”都生出一個相應的“應變” (Strain)，並且“壓力”和“應變”都成一個不易的比例，直到“壓力”過大結果造成一種“永久應變” (The permanent set) 為止。再加一個相當的壓力，就得破碎。工程方面的人竭力規劃出一個充分的安全範圍，以避免任何這樣的危險，並且必須特別提明，迅速不斷的振動也會改變資料的形態，情形有點和人的“疲乏”相彷彿。一種物質的彈性係用“應力除以應變”計量，在前例裏面，此地的“應變”就是“每單位長度的長度的改變”。在實驗上，伸張或壓縮的彈性可以用適當的“查驗機械”求出，這個值叫做楊氏係數 (Young's modulus)，詳見工程師手冊

或物理學常數表中。照這個方式，做成前邊的計算。

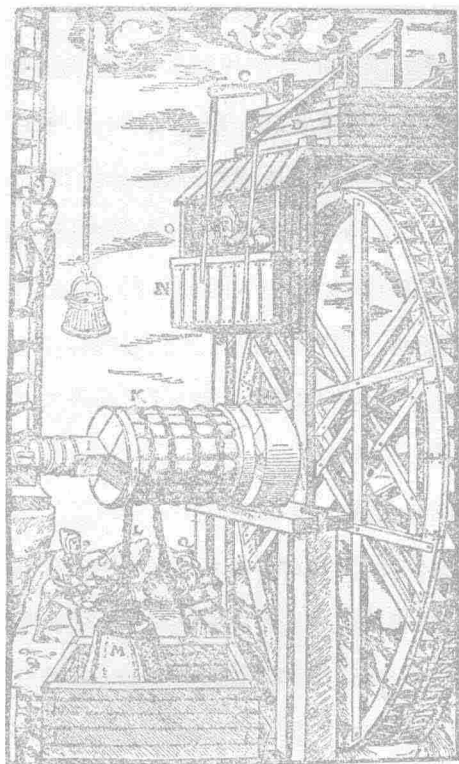
單位(Units)

現在有一層困難。本書沿用英國制的單位。即磅和呎，因為這對於英國的讀者比較方便，並且為英國工程界所通用。我們不應該忘記，許多文明的國家以及許多文明較低的國家都早已捨棄這類野蠻時代的單位，改用千克和米做基本單位的一種十進制。我們希望不久的將來，英國制的單位就讓比較便利的德克秒，即 C. G. S.，單位來代替，這既可以使時間和勞力雙方經濟，並且對於財富和公益的偉大泉源的國際自由貿易尤有推進的效力啊！

摩擦(Friction)

當我們在地面上曳一種像冰櫃的物體，兩個面的接觸不平有使彼此黏連的趨勢，而結果沿地面有一水平的力，方向正與運動相反。這叫做摩擦力。增加冰櫃上的載重，摩擦也就對比着增加。沿桌頂用一彈簧秤曳一書磚，我們發見，無論將磚放在正面，背面或邊緣，摩擦差不多是相同的，所以接觸的面積是無多大關係的，除非過小使表面上留有痕印或發生損壞，那是例外。在他方面，有

過馳馬或開車，或駕冰橇，或溜冰，甚或步行的經驗的人都熟知摩擦依表面有油無油，有冰無冰，或乾或濕而有很



第四圖 十六世紀機械力學（亞格理老拉，……，1556）

注意：圖內使水到輪前後而生往復的旋轉

大的差異。兩個表面間的摩擦對壓力之比叫做摩擦係數 (The coefficient of friction), 這個數值視兩個面的本質和形態而不同。我們可透過下列方法把它定出: 譬如求鐵對木的摩擦係數, 將一方鐵放在一塊木板上面, 而將板傾斜直到鐵開始滑動為止。摩擦係數就用板的斜度來計量, 斜度就是在板下面的底除高的結果。

我們必須記着, 力學在牛頓的動力學之前, 早已有相當的進步, 特別是在實用方面, 如金字塔, 橋洞圓穹, 以及大禮拜堂的建築等。第四圖採自 1556 年出版亞格理考的 *De Re Metallica*, 是開礦坑的一個例子。圖內係利用水力來顛倒推動“輪軸”(The wheel and axle)。

第三章 流體靜力學

流體靜力學 (Hydrostatics) 討論所有靜止的液體。嚴格說，這個字專用於靜止的水（希臘文就是 hudor）方面，不過這門學問研究的範圍卻包括所有的液體和氣體，它們和固體的分別在它們實際對分解不生抵抗。“固體” (Solid) 有兩種主要的形態，一為“晶體” (Crystal) 而另一為“膠體” (Colloid)。在“晶體”方面如鹽，糖，鑽石等，原子或分子都排成一個整齊的行列，恰如一種糊壁的花紙可以在一個表面上有同式的幾層，一個晶體遍一個空間或體積全部也有同式的幾層。“膠體”如樹膠，玻璃，乾酪之類，則係由一個混亂不齊的全體中許多羣分子所合成。

從固體到液體，或從液體到氣體形態的改變如果不是我們所習見，必定會覺得十分奇怪；並且這些變化並不容易發生，譬如水蒸氣，必須從它提去多量的熱纔化成水，再先提去多量的熱使水冷後，然後纔化得成冰。唯一

習見在平常溫度為液體的金屬就是“水銀”(Mercury)。大氣中的空氣為氣體狀態，由四分之三的氮，百分之二十三的氧，將近百分之一的氫，千分之二弱的二氧化碳——即蘇打水和啤酒內常見的一種氣體——和少許名貴的稀有氣體氦，氬，氫，氫，氫等所合成。空氣能夠改變成一種液體或者一種固體，它的主要成分氮在百度表零下 210° 熔解，在 -195°C . 沸騰；而氧方面對應數字為 -219° 和 -183°C .。

壓力 (Pressure)

習慣上係用每方吋若干磅來計量壓力，不過卻另有一個代替單位可供我們採用，這個單位叫做巴 (Bar)，特別是在天氣圖上，常使用“毫巴”(Millibar)，即一“巴”千分之一做單位。一“巴”是每平方呎一百萬達(註)的力量；等於 1,000“毫巴”。現在儘可以說一“巴”約較一“大氣壓”(Atmosphere)——即每方吋上面 14.7 磅——少百分之一。

設想 300 呎深的一個湖或蓄水油壺一呎呎上面的壓

(註) 一“達”(dyne)是力的一個單位；定義見下章。

力。水的容積是 300 立方呎，又因一立方呎水重 62 $\frac{1}{2}$ 磅，所以壓力是一方呎上面 $300 \times 62\frac{1}{2}$ 或 18,750 磅，或一方呎上面 130 磅。這個可以寫成 130 磅/方呎。如果用“厘米克單位” (The centimetre-gramme units)，那麼在一 3 呎 (300 厘米) 深的湖底，壓力將為一平方厘米上面 300 克或 300 克/厘米²，因為一立方厘米相當一克的重，所以計算都是很簡單的。

在一種質地均勻的液體中，壓力視深淺為增減，並且也和液體的種類有關。若是當以相等的容積做比較時候，水銀的重為水的 13.6 倍。所以就說，水銀的“比重” (Specific gravity) 是 13.6。空氣較水輕得多，它的“比重”是 0.001293，因此將近 13 立方呎的水和 10,000 立方呎的空氣重量相等。如果一立方厘米水重一克，那麼一立方厘米水銀就重 13.6 克，或者換句話說，水銀的“密度” (The density) 是 13.6 克/立方厘米。

任何靜止的液體對所接觸的任何表面，或別種液體或一種液體的各部，都有垂直或即成直角的壓力作用。在一中空的橡皮球上穿一孔；用水注入並另穿若干較小的

孔。將拇指放在大孔上面，用力壓球。水就從其餘各孔以等速度與表面成垂直射出。

我們能夠將在一點的壓力寫出，而記載它的大小並用不著提到方向。在一個水閘門底，設位於水面下 30 呎，門上面所受壓力就是 13 磅/吋²，半腰所受壓力就是 6.5 磅/吋²，四分之一處所受壓力就是 3.25 磅/吋²，其餘由此類推。因為海水較淡水重百分之 3，在鹹水方面，這些數字應乘以 1.03。這些壓力與水的深淺有關，而與閘門作障壁的海湖以及江河的大小無關。家用或燃燈用煤氣在管中輸送所受壓力通常即等於大氣壓力再加一二吋水的壓力。

浮力 (Buoyancy)

我們從阿幾默德到現在的觀念，即，凡物體無論浮或沈，所受浮力或上壓力等於所排去液體的重量，同時這個物體被它的重量往下牽引。若是，一隻四萬噸的船當它排去四萬噸重的水的時候，就浮在水面。向下的重量和向上的浮力平衡。

冰的“比重”是 0.92 或 $\frac{92}{100}$ ，所以一塊純冰將有百

分之九十二沉在水內，而百分之八浮在水面。冰山包含有當雪降在冰塊上時就被禁閉在裏面的多量的空氣，並且鹹水比較淡水更濃，因此一座冰山就有比百分之八更大的一部分浮在水面。

假設一個氣球有一能容 10,000 立方呎的囊，內中儲滿“比重”為 .00009 的氫氣，而空氣的“比重”為 .0013。排去空氣的重是 812 磅，但是氫的重是 56 磅，所以相差就是 756 磅的浮力，以上舉或支持懸囊，乘客和壓重等。這個自然即是直徑 28 呎的一個中等大小的氣球。如果用“氦”（Helium），這樣氣體的重量是同容積的氫的四倍，那麼這個氣球內的氦就是 224 磅重，而上舉力量就是 588 磅；這種氣體雖然價值較昂，可是卻不容易着火。

比重 (Specific gravity)

我們不難求出一個固體的“比重”。在一彈簧秤底，用一堅韌的細索將空氣中的一塊鐵懸著，並且假設稱得重量為 15 磅。將這塊鐵放在水內，直到完全被水所沒為止。它將受浮力影響，結果彈簧秤上標記變為 13 磅。這兩次數字的差是 2，所以排去的水的重就是 2 磅。由是同體

積的鐵和水各重 15 和 2 磅。由是，就同容積說，鐵比水重 7.5 倍。

我們可以求出兩種不混合的液體的“比重”：先取一 U 形狀的玻璃管，注入較重的液體，然後在這種液體的上面，從玻璃管的一條臂注入較輕的液體。於是測量這兩種液體頂點距它們共同相遇處的垂直高度。假設一種液體是水銀，而另一種是水。那麼，如果水銀在相遇處上面佔有 1 吋高的地位，水就要佔 13.6 吋高的地位，因此水銀為水的 13.6 倍重。這個結果並不因曲管的形狀大小而有分別，但是如果曲管過小，那就不免要受“表面張力”(Surface tension) 的影響。求一種氣體的“比重”就比較困難。先須取一潔淨的，堅固的，球形或圓形的玻璃壘，抽去空氣，量出空壘的重量，然後再量出貯滿這種氣體時的重量。於是這種氣體的重量的差數再須除以恰可貯滿玻璃器內的水的重量。所有這種工作需要一個準確的天平和砝碼，以及相當的專門的技巧。

大氣 (The Atmosphere)

如果我們所呼吸的空氣永像接近地球表面一樣的稠

密，那麼它可以達到將近5哩的一個高度。但是這種“密度”係隨高度逐漸減小，所以我們根本不能說出空氣實在的高度。大約高度在50哩以上是太陽光線將氧（Oxygen O_2 ）改變成臭氧（Ozone O_3 ）的一個氣層。再上，距離地球約在70哩以外，是一厚層導電或帶電氣體，在白晝受太陽的影響作用增強，並且這就是使適當波長的無線電波反射折返地球的氣層。約在這種低層氣體兩倍高度之上，再有一種相似的氣層，它能夠在日間和夜間使短的無線電波折回地球。這兩個氣層是能夠將無線電波傳送到遠距離的媒介物。在地球及這兩個名叫錫奈理海維珊（Kennelley-Heaviside）和阿卑來敦（Appleton）的大氣層中間，可以從地球傳送往復至八九次以上的“信號”（The signal）。在極高的高處，我們還可以測得“北極光”（The Northern Lights），和看到隕石或流星。（見第六章第十八圖）

氣壓計 (Barometer)

我們不難製成一個“氣壓計”，以測量大氣的壓力。取一杯潔淨水銀和一只有一端閉塞的玻璃管。用水銀注滿

玻璃管內，並用棉塞著使空氣不致滲入管內。然後將管倒插水銀杯內，並在杯中水銀下面移去木栓。如果管豎立著將近長 30 吋，水銀將下降而使管內上部留有將近 6 吋的真空空隙。微將管傾斜，我們將見，水銀柱頂和杯內水銀面的垂直距離總是 30 吋。所以可以說，空氣的壓力等於將近 30 吋的水銀柱的壓力。

其商如“無液氣壓計”(The Aneroid Barometer)，係用一空金屬盒，抽去一部分空氣，裝有一波紋狀的頂，隨壓力的增減而進出動作。增添的槓杆裝置推動一個指針，或一枝鉛筆，在表面上覆以一捲紙條的一個裝有時計機的筒形器上作成連續的記錄。在高山頂上，氣壓計標度降低，所以事實上，一個“無液氣壓計”能夠用來定出的高度。在 10,000 呎以上的一種高度，呼吸比較稍感困難，有的人會染高山病，水沸騰的溫度變低，甚至平常不能煮熟雞蛋番薯的低溫度都可以使水沸騰。

唧筒 (Pump)

“唧筒”有無數種類。初學的說明難以逐一枚舉。如 A 為柄 (Handle)，而 B 為 Spout。舉 A 至 C，水即

流出，通常多半添裝一個豎立的圓筒，附有一個“活塞”(Piston)，和一個“活門”(Valve)，活塞往下推時活門開，往上提時活門閉。這種名叫“吸取唧筒”(Lift pump)，但是使井水上昇到昇降活塞所成的真空內的就是大氣在水上面的壓力。如果水銀氣壓計係 30 吋，那麼這樣吸法不能將水昇到 13.6 倍 30 吋，或 34 呎的高度以上。這也是外科手術對一種血毒症所用吸血杯最高的高度。如果將一個唧筒的圓筒頂端閉塞，而在頂端附近有一裝有一向外開的活門的支管，那麼吸水的高度就可以隨意辦到，這種名叫“壓力唧筒”(Force pump)，救火機即應用這種的裝置。還有所謂“離心唧筒”(Centrifugal pump)，裝有一個輪機，用手或蒸汽或汽油機推動。根據同樣的原理，製作造成真空，或壓縮空氣或其他氣體的“抽氣機”(Air pump)。

虹吸管 (Siphon)

一個彎曲的金屬或玻璃管，或者一段橡皮管，都可以用來將一種液體，例如水，油，水銀等，從某一種水平面轉送到較低的水平面去。先須使管內浸滿或者吸滿這種液

體，然後將管的一端始終放在液體內，另一端放在外面較液體表面低的地位。外管內的液體往下流，大氣壓力就從容器內推送其餘液體，填補流去的空隙。

注意愛爾蘭人的榜樣！據說他們試用一個“虹吸管”將船內的艙水注入海中。

波義耳定律 (Boyle's Law)

所有氣體都容易被壓縮，而叫做“彈性的”(Elastic)。一個吹脹的足球跳躍如意，並且較只容有一部分空氣時可以踢得更遠，同時也會軟癩。橡皮車胎當充滿適度的空氣時，就比較耐用善馳。波義耳發現，如果將一定量氣體關閉在一個容器內，壓力加倍時，容積就減半；更加普遍一點來說，假設不改變溫度，壓力和容積相乘總差不多是同值。

濕度 (Humidity)

除掉構成大氣的氣體而外——容積方面即百分之七十八氮，百分之二十一氧，萬分之十五二氧化碳，百分之一氫，等——通常還有大量的但分量並不穩定的肉眼不見的水汽。我們以為能夠看見蒸汽，這種假設是錯誤的。

只有當肉眼不見的水汽凝結成微細的點滴時，纔能夠看見水成霧，霜，雲，露之類。熱的空氣較冷的空氣更能夠包容多量肉眼看不見的水汽。如果將一分空氣試樣加冷，這就達到水汽開始形成水滴的一種溫度。這種溫度名叫“露點”(The dew-point)。在任意的溫度，可以引空氣經過盛有濃硫酸，或氯化鈣的一個管內，將水汽吸收掉。就實驗前後的管重稱過，我們可以把一已知容積內水的分量求出。所以，空氣的濕度能被測定，並且可表為現在溫度下可有的總數目的百分之幾。所以，“濕度”100指空氣為水汽所飽和而言。“濕度”50指僅含可有的最高分量之半而言；但是即如在華氏 (Fahrenheit) 溫標，32 度時 100 “濕度”比較 80 度時 60 “濕度”每立方呎所指水汽或許還少。

表面張力 (Surface Tension)

有些種昆蟲在水面上從容往來。在淨水的上面，容易使一枚全無一點水濕的繡花針浮著。

試做這個。將兩根貼連的濕火柴放在一隻湯盆的水面；它們將互相吸著。用兩根極乾的火柴，也將有同樣的

情形。但是一根濕和一根乾就要互相推開。所有這個可用一個觀念說明，即，水面下所有的力各方向都相等，但到水面部分上壓力消失不存，因此說，水的表面有一在張力狀態的薄層。各種液體有各種不同的“表面張力”。

放幾片樟腦在淨水上而，當它們融解時，它們將周圍的“表面張力”改變為不相等，所以它們就好像瘋狂似的被拉來牽去，四面衝碰。只要注一點油滴，將使這全部活動停止。

毛細作用 (Capillarity)

極細的管叫做“毛細管”(Capillary tubes)，出自拉丁語“Capilla”，一根毛髮的意思。如果它們是濕的，水將被“表面張力”牽曳向上。管愈細，水上升愈高。肥皂水上升將不及淨水一般高，因為淨水有較大的“表面張力”。一個茶“遊子”將被曳到茶杯的邊圍。在格言書上，有所謂“濃酒的淚”的說法。酒精比較水容易蒸發，在一杯黑葡萄酒中，玻璃的邊圍是濕的，酒精蒸發，強有力的水面張力曳上更多的液體，直到使它沿邊圍成“淚滴”落下。吹“肥皂泡”(Soap bubbles)的人都曾以泡的美觀和結構

眩奇鬪異。據說，溫水和注有一點甘油 (Glycerine) 的純粹的上等石鹼皂 (Castile soap) 合成膠結的溶液是最佳的配合。這個應該注意不要使一點垢膩或塵埃摻入。泡的薄膜有內外兩層，都受張力作用。一個泡將續前一個衝出，或者衝到地毯不破裂。兩個相連的泡如用一帶電的棒，即火漆或玻璃，放在附近，就會被合而為一。從上用新鮮的液體慢慢加在一個泡上，可以使這個泡維持多月不破。

肥皂液膜 (Soap Films)

用金屬線作一圓，從上端起懸一段細絲線，下端為一活結。全體蘸以肥皂溶液，並用一段灼熱的金屬線刺活結內液膜。內膜破後，但金屬線和活結中間其餘的液膜將極迅速的牽曳活結成一個圓形。用六段等長的細金屬線任意接成一個形狀可以代替絲線活結；自然解決作一正六邊形的問題怎樣敏捷，我們由此很有趣的看到。不管用接成甚麼形狀代替活結，內面的面積是可有的極大值，而外面的面積是一個極小值。

油類以非常的速度散佈到淨水表面。較有力的水的

表面張力曳成它面上的油膜。水和濕玻璃或瓷器相遇的邊緣被曳向上，但如容器乾燥時則為向下。潔淨的水銀決不會使玻璃濡濕，所以一個氣壓計玻璃管頂端的水銀四周邊緣都彎曲向下。

水平面 (Levels)

除掉毛細作用外，每種潔淨的液體受它能夠發生光的完全反射作用顯出有一個砥平同高的頂。所以，潔淨的水銀也可以用來做成一個水平的平面。用一個U形管，使兩臂直豎相距數吋；能夠給出兩頂間的一條水平線。一條線上的一塊鉛墜，合稱鉛垂線(Plumb)，將懸垂筆直，所以和靜止時的液體成直角。一個曲管有時充以酒精和少許空氣，將這個裝置在一段砥平的木棒上，做成一個氣泡水準 (Spirit level)。當這段木棒平置時，空氣泡就正在玻璃曲管的頂端。在一桌面上成直角的兩個“氣泡水準”可以用來較準這個桌子，使合於一種真正的水平。

擴散 (Diffusion)

兩種氣體，盛在同一容器內，立刻就全體混合，並且永久如是。每種氣體散佈或擴散到別種氣體內面。在比較

富黏著性的液體方面，擴散較為遲緩。如在一長頸玻璃容器內盛以鹽水，一枚雞卵有時可以在它的面上浮著。大部分與雞卵有關的實驗，在鹽水的上面，慢慢當心的注入若干新鮮水，雞卵將有長時間保持著在鹽水上面鮮水下面的位置，由此證明擴散是遲緩的。空氣擴散到江湖的水中，並且冷水比較溫水能夠容納多量的空氣。所以在酷暑的夏令，魚類游到涼爽的生水中，以獲得用鰓來呼吸的空氣。人人喜歡由嶄純潔乾燥增加力量的空氣，或者近海不含塵埃的空氣。在大建築物裏面，現在用濾器藉扇流通或用噴霧器沖射，調和室內的空氣，但是這樣的空氣卻是呆板不過，好像倒出長久的香檳酒，或者像有新鮮的泉水作比較的蒸餾水一樣。空氣稍加流通，可使皮膚生蒸發作用，而增加舒適。身體只有一部分流通空氣，顯見就不免要擾亂有規則的全體機構，而引起寒戰的感覺。在戶外因大風而感到寒戰，這倒是稀有的事體。

滲透作用 (Osmosis)

有幾種動物和植物的表皮，可以容許水透過，而不能讓糖和水，或者鹽和水透過。因為這個緣故，一粒乾葡萄

或葡萄乾放在水中時會漸漸脹大。所以盛有鹽和水的一個氣泡放在水內，將會漸漸吸取多量的水。漲大起來，但是鹽並未缺少一點。這種的單程交通在植物和動物生活上異常重要。物理學上有許多情形的過度滲透壓力都能夠測定。一座吸取唧筒只能將水昇到 34 呎，這是普通皆知的事實。但是加里福尼亞州巨大的紅木能夠從地下將水昇到幾百呎以上，並且每株都繼續這樣做過一千多年。怎樣的呢？

黏滯性 (Viscosity)

一枚小彈丸在空氣內很快落下，在水內反比較遲慢。經過甘油就愈加遲慢。如蜂蜜或糖漿一類的物質都是特別富於黏滯性，但是所有液體的這種特性卻各不相同。我們不容易從這一種液體某一層上面移去一層。下面是四種液體在不同的溫度的“黏滯性”的一個比較：

	0°C.	30°C.
水	0.015	0.008
酒精	0.018	0.010
水銀	0.017	0.016
甘油	40	3.5

布朗運動 (Brownian Movement)

布朗 (Brown)，一個生物學家，在用顯微鏡觀察的時候，查得在液體內，物體的小質點極其奇特的浮游不定，自由的到處衝碰。水的分子全部在運動著，而和這個質點衝碰，這種衝碰有時在一邊的次數比別邊多。這就是它浮游的情形。空氣內煙的質點視以一個黑暗的背影，也可以用顯微鏡看出這種質點有相似的“布朗運動”。這是液體動力論的一個適當的證明；我們得到的觀念是，組成的分子或質點都在迅速的運動著。

動力論 (Kinetic Theory)

一種氣體的細小的相干質點 (Coherent particles) 或分子都在迅速的運動著，並且彼此碰回而能量絲毫無損，具有所謂“彈性碰撞” (Elastic collision) 的性質，這種氣體“動力論”所說無論用種種的實驗，結果都完全相合。將三十餘隻檯球放在彈子臺上，設有幾個人去使它們在檯面上迅速的運動，由這想像可以得到這種奇異現象的一個印證。球和球碰撞，和球從檯球彈回等情形將可表明空氣分子在一密閉盒內活動的情形。因此假設我們

有一種如像平常所呼吸的空氣一類的氣體；那麼：

- (1) 在每立方吋，將有 400,000,000,000,000,000 以上的分子；省寫就是 4×10^{20} ，表 4 後面有 20 個“零圈”，或 4 乘以 20 個“十”。
- (2) 分子將有如來復槍子彈的一個速度，以每秒平均 1,500 呎以上的各種速度運動。
- (3) 分子小到 7,300 萬個安靜連置纔有 1 吋；直徑為 1.37×10^{-8} 吋，表 1.37 吋除以 1 萬萬。
- (4) 它們間的平均距離約為它們大小或直徑的十倍，所以它們中間有很多的空隙。
- (5) 兩度連續碰撞所經的平均距離約為它們直徑的 300 倍。
- (6) 最後，而且這可算是最奇異的地方——空氣的一個分子每一秒鐘將和它的同伴碰撞約在 50 萬萬次。

請教常做近世實驗室實驗的人，他們將會告訴你，所有這個並不是一種幻想或神話，而卻是真正事實的一個忠實的敘述，並且你會像相信倫敦的交通輻輳，或者戰場

子彈飛越，或者尼加拉（Niagara）瀑布的匹練臨空，同樣的相信。再進一步說，正就因為這些空氣分子錯綜的衝碰，在每一方吋上面生出約 15 磅的一個固定的大氣壓力。

第四章 動力學

位移(Displacement)

如果一個物體對待另一物體為被移動，前一物體就叫做有一個“位移”。為方便起見，測量“位移”取最短的途程，雖然那不一定是實在的徑路。

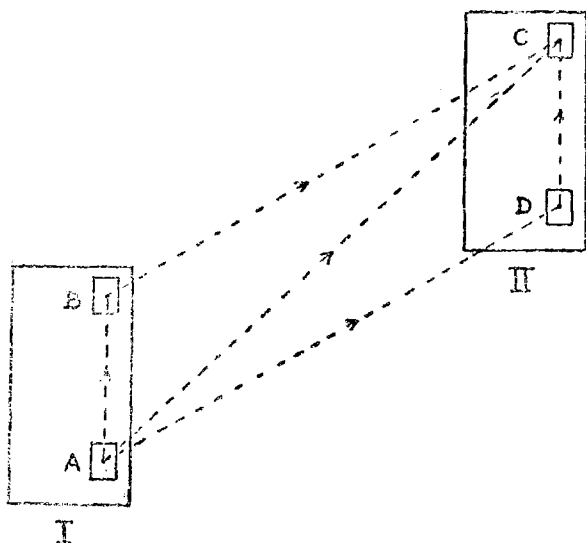
“位移”可用直線表示，從最初的位置作到現在所注意的位置。

將一本書 A (第五圖)安置在室內地板上的一張桌子 I 的面上。移動這本書在桌面上的位置，同時移動桌子到位置 II。這本書係從 I 處桌面上 A 開始，到 II 處的同—桌面上的 C 完畢。關於這全部的“位移”，這就有三種簡單的說法。這本書在桌面上從 A 進到 B，然後桌子從室內這邊被移到那邊。桌子先被移動，但是書本仍舊在桌面上 D 處不動，最後纔被移到 C。最後書本從 A 進到 C，使

AB 和 BC 等於 AC，

或 AD 和 DC 等於 AC。

明白的，“位移”並不像銀數的相加，而“平行四邊形定律”就表明兩邊相當於它們特有的對角線。

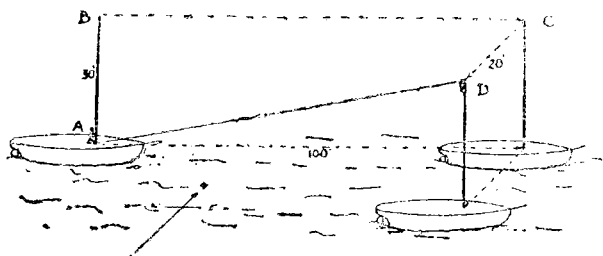


第五圖 桌面上書本位移 AB 和 BC，或 AD 和 DC 相當於 AC。

其實最好用一個三角形，而說 $AB + BC = AC$ ，這並不是表示一個三角形的兩邊等於第三邊，而是表示 AB 和 BC “位移”相當於 AC。

所以，又如有人爬一隻正向東行駛的船桅，同時潮水

正將船向南推送，這樣對洋面而言，這個人就有三個“位移”，向上 AB 設為 30 呎，向東 BC 設為 100 呎，向南 CD 設為 20 呎。AB, BC, CD 三個“位移”相當於“位移”AD。



第六圖 人爬船桅同時船向東駛而潮推它向南。人的徑程是 AD。

由是，我們現在知道怎樣將任意個數“位移”加在一起的方法。

速(Speed)

如果一列火車在一小時內前進 60 哩，或相當值，在一秒鐘內前進 88 呎，這類數值就叫做它的“速”，不管它運動的方向若何。

速度(Velocity)

普通實用方面多說一個物體的“速度”，這個名詞包含“速”和“運動方向”(The direction of motion)二者。

所以，向北運動一小時 40 哩的一列火車對向東運動一小時以 40 哩的一列火車而言，有相同的“速”，但有一不同的“速度”。

前邊說過“位移”用直線表示，所以“速度”也能夠用直線表示。直線的長表“速”，而一端附有箭頭的直線表“方向”。

再回到爬船桅的水手（第六圖），假設每個“位移”都一律經過 10 秒鐘。那麼這個水手，對底下的地球而言，就有 3 種“速度”，即一秒鐘向上為 3 呎，向東為 10 呎，向南為 4 呎。而他的“速度”將沿 AD 方向；更由著名的畢達哥拉士定理 (The theorem of Pythagoras)，即在一直角三角形內兩短邊的平方的和等於最長邊的平方，顯見

AD 上的平方 = AC 和 CD 上的平方

及 AC 上的平方 = AB 和 BC 上的平方

所以 AD 上的平方 = AB, BC, CD 上的平方

$$= 900 + 10,600 + 400$$

$$= 11,900$$

所以 AD = 106.3 呎；

這是 10 秒鐘內所經的距離，所以這個水手有沿 AD 一秒鐘 $10\frac{1}{3}$ 呎的一個“速度”。

等速度(Uniform Velocity)

所有這係假設運動都是均勻的，或者說，在任意的相等的時間內，所經空間都是相等的。

變速度(Variable Velocity)

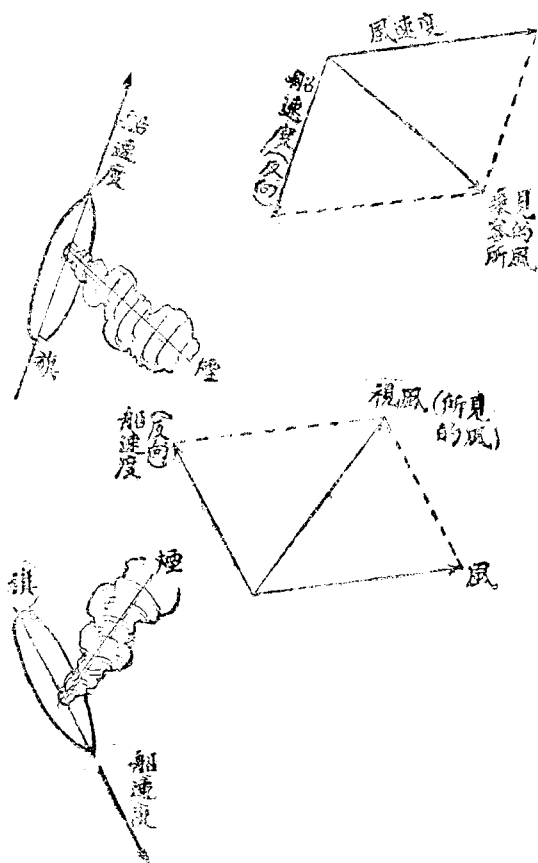
在所有其他“方向”有變化的，或者“速”有變化的情形內，這就叫做變速度。

相對速度(Relative Velocity)

正像兩個速度可以加在一起而使 $AB + BC = AC$ ，所以我們也能夠使速度相減，以及說 AC 減 AB 等於 BC；因為如果使 BC 和 AB 相加，結果就成 AC。

如果一隻船 A 每小時向北行駛 10 海里，附近一隻船 B 向西也每小時行駛 10 海里，那麼 A 船上的一個乘客就要說 B 船正以每小時 14.1 海里的一個速度向西南方前進，同時 B 上的一個乘客就要說 A 以每小時 14.1 海里速度向東北前進。

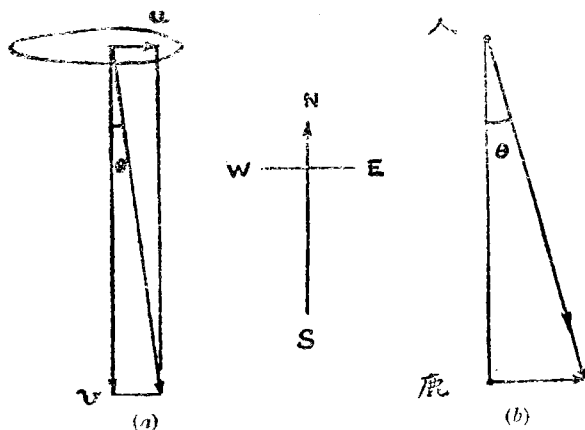
又如一船以每小時 12 海里汽力向東行駛，同時並有



第七圖 相對速度 (風與船速都相同的各向航船)。

一每小時 12 海里的風從南吹來，那麼煙突內所出煙的方向對一個乘客而言，將對西北方，同時他所乘船上面的旗幟氣筒等也將直指那個方向。另一個實例也見第七圖內。

如果一個礮手從一隻行駛著的船上發礮，那麼礮彈將要有兩個“速度”，即礮彈的“速度”和船的“速度”。作出這些，礮彈即沿對角線(第八圖 a)射出。



第八圖 從一活動著的物體射擊和對這個物體射擊的對照。

(a) 從動著的船射擊；(b) 對動著的物體射擊。

如果他對一隻遠處動著的船舶射擊，他遇到的問題就和一個人瞄準一頭奔鹿或飛鵠相同(第八圖 b)。他應

該用槍追蹤射擊呢？抑或向這個物體的前面瞄準呢？他應該向前面瞄準，使飛鵠在同一時間內所經距離和子彈所經的射程相同。鵠和子彈必須一齊到達同一地點。

向江流對面游泳的人必須稍對上游，纔取得最短的途程，同時如以最快的途程橫泳過江，他就將被江流送到下游。鳥類和飛機在大風時並不直對它們想達到的地點飛行，而係使身體微向風傾側，如是它們的速度和風速度就形成一個平行四邊形的兩邊，對角點就是鳥，或人，所希望到達的去處。

加速度 (Acceleration)

一列火車既已在一個車站停止以後，它就開始移動並且增加它的快慢。“速度”（不是“速”），增加的程度叫做“加速度”。與此相應的一種減少程度叫做“減速度” (Retardation)。比較容易一點，先研究在一條直線上的運動，並且假設是“等加速度” (Uniform acceleration)，即在任意一秒時內，“速度”的增加同。假設在每秒內，“速度”增加每秒 4 呎，那麼在以後各秒之末的“速度”就是 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, …… 在最初五秒內，“速

度”曾經從每秒 0 呎改變到每秒 20 呎，平均值每秒 10 呎，所以在那五秒時內，列車將從靜止起，開行過 50 呎。如是在十秒時內，平均速度是每秒 20 呎，經過的距離將為 200 呎；總括而說，從靜止起所經的空間與時間的平方有關，正像我們在前邊看到的，時間加倍，從五到十秒時，所經的空間就從 50 改變成 200 呎，這是四倍的增加。

從適當的距離向井內，或由山頂，筆直下落的沈重的小物體，如果相反的空氣的阻力不過大，就會像子彈一樣有比較大的“速度”，而可以適用現在的這一切。地球向下的拉力，叫做“重力”(Gravity)。在此情形內，它生出一個垂直的“加速度”，恰當地用 g 來表，這個值能夠實測得為在每秒時內所增加的每秒 32 呎的一個“速度”。所以，如果一個物體從靜止狀態落下，立刻可以看到它以後的經過是：

從靜止起的時間	所獲得的速度	所經過的全部空間
0.	0	0
1.	32 呎/秒	16 呎
2.	64 ,,	64 ,,

3.	96	呎/秒	144	呎
4.	128	„	256	„
5.	160	„	400	„
10.	320	„	1,600	„
等				

我們可以看到，在每個情形中，第二行內所說的速度平方是第三行內所給經過的空間的 34 倍。這個結果能夠更為普遍的寫做

$$v^2 = 2as,$$

或，速度的平方常等於兩倍加速度乘以從靜止起由那種加速度而在一直線上所經過的距離。

因此，還有向上以 160 呎的一個速度直投的一種物體，也可照前列各行向上逆推；那就是它每秒時應失去 32 呎每秒的速度，經過五秒時後，應停止到 400 呎的一個高度，然後再行落下。但是我們必須注意，事物經過並不照這個簡單的方式，因為空氣對物體上昇和落下兩方面都生阻礙。如果讀者直向頂空以 1,600 呎/秒的一個速度發彈，那麼子彈上昇將不到 50 秒，或 40,000 呎，或以 1,600 呎/秒的一個向下速度也並不會在 100 秒內復回原地。得

“空氣墊”仁厚的保護，我們纔得倖免於威勢漸烈的冰雹的摧殘啊！

圓徑上的“加速度”

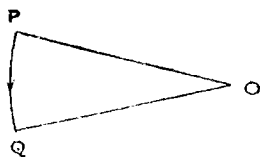
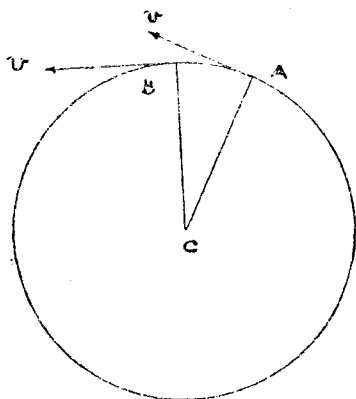
假設一個人或一匹馬以一小時 10 哩的速度，繞一圓形跑道奔馳。他的“速”是固定的，可是他的“速度”卻在改變。如果是一個小的跑道，他的“速度”就改變得很快，當他每次繞跑道到一半途程的時候，他已經是完全將他的速度倒轉。如果他原係向北跑，他現在就向南前進。

我們不難證出，這個人的“加速度” a 是向跑道的中心，並且等於他的“速度” v 的平方除以跑道的半徑 r ；這個也可以縮寫成 $a = \frac{v^2}{r}$ 。

設 C 為跑道的中心（見第九圖），又設跑者 t 秒內經過一段短距離 AB ，那麼他的“速度” v 差不多是 AB 除以 t 。取任意點 O 並作 OP 代表他在 A 的速度 v ，和 OQ 代表他在 B 的速度 v 。那麼 PQ 和 OP 相當於 OQ ，如此 PQ 是“速度”的改變，而 PQ/t 是“加速度”。

$\triangle CAB$, $\triangle OPQ$ 兩形相似。如此 $PQ \div OP = AB \div CA$ ，兩邊各除以 t 就得 $a/v = v/t$ ，或 $a = \frac{v^2}{r}$ 。這種“加速度”

和 PQ 平行,或從 A 向 C。



第九圖 由常速繞一圓形而生的加速度

力和第一定律

如在潔滑的冰上投出的一片石前進時並不十分直，我們試探求這個原因。或許因為風的影響，或許因為冰面有不平之處。伽利略伽利列(Galileo Galilei)叫**力**(force)做改變一個物體靜止的，或它在一直線上等速運動的狀態

的原因。因此，可以牽著一端縛有一石的帶，而使這個石成一個圓形旋轉運動。帶的拉力可以說係使石向手運動。如果帶裂斷，石就開始沿與裂斷處的徑路相切的直線方向運動。

如果一匹奔馬突然停止，騎馬的人容易越出馬頭。如果它突然從靜止前馳，騎馬的人會落後從馬尾越出。如果一匹急馳的馬突然躍到右邊，騎馬的人繼續前進而落到馬的左側。在各種情形內，他都可以避免這種結果，他只要用兩膝用力夾著，或其他動作！乘過車輛的人都熟悉這種靜止，或直線運動，保持不變的情形。一個“拋體”(The projected body)向地的曲徑將歸結到地球的引力，即，歸結到“重力”(Gravity)。所以得到一個結論，物體都有“慣性”(Inertia)，彷彿黑暗的定義是無有光一樣。至少在我們的經驗上，如果我們看見一個無生命的物體開始動作，轉變方向，停止-從靜止或從在一直線上等速運動迅速的或緩慢的生出一個變化可見必有一個原因，或一種力量。我們可以斷言，力就是在質量上生出一種運動變化的原因。

第二定律

伽利列還更進一步。他注意到怎樣能夠測定力的大小。力係用它所生的“加速度”乘以被加速的“質量”(The mass)來測定。因此如果 10 磅被加速，使每秒時增加 2 呎每秒的一個速度，那麼力就是 2×10 ，即，20 磅(呎每秒每秒)。爲方便起見，我們替單位的力選定一個名字，而稱它爲一“磅達”(Poundal)，就是將給一磅物一個每秒每秒 1 呎的“加速度”的力量。在萬國通用的米制方面，力的單位叫做一“達因”(Dyne)，就是將給 1 克物一個每秒每秒 1 釐米(即厘)的“加速度”的力量。

動力學的基本原則是

$$F = ma$$

力 = “質量”乘“加速度”。

由此得：一磅的重量是 g “磅達”， g 稍較 32 大一點；又一克重量是 g “達因”， g 在數值上稍大於 980。

質量(Mass)

立刻就有人會問，“質量實在的意義是甚麼？”這是一個極困難的問題，不下於問時間，長度，或一個角的意義。

所有這些事物都是經驗的結果，它們係根據一種標準而測定。所以說時間是“變化的連續”，長度是延伸，一個角是一條直線對另一條的傾斜度，而將一個像“角”這樣完善的英國字變成像“傾斜度”這樣冗長的一個拉丁字，並不是一個滿意的答覆。或者說一個物體的質量是那個物體內質料的量，也不是大有用處。無疑的，它含意並不是物體的重量，或地球拉它向下的力。“質量”和“重量”的這個區別好像反有點虛矯和使人迷惑，但它卻是必要的。如果將一個物體拿到高處去，它的“重量”（Weight），即地球的拉力，減少，可是它的質量並未經改變。在地球和月球中間，將有一處，月球的引力大於地球的，在此物體可以說無有重量，但是它的“質量”仍可以一點不受影響。

在任何已知地方，實際上，力之一種用 w 表示的“重量”和它的“質量” m 成比例，並由“牛頓第二定律”（Second Law of Newton），應歸功伽利列，可以說 $w = mg$ 。放手，這個物體，設為一個鉛球，將在一秒內落下 16 呎，在兩秒內落下 64 呎。

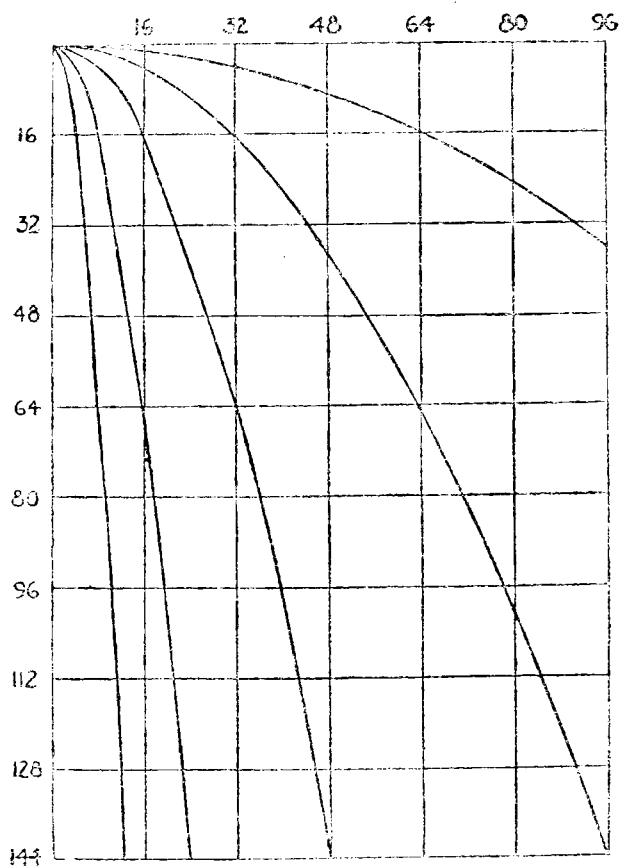
牛頓用各種“質量”，和各種材料的“擺垂”順次繫在

頂端縛牢的一條皮帶的末端，並使它們來回擺動。它們以相同的週期來回擺動，足以證實每個擺垂上面的重量或向下拉力係和它的“質量”成比例。這個關係已經由渥提弗士(Eötvös)證明得非常準確。

“第二定律”也極關重要，每個力都不依賴所有其他的速度和加速度而生出它對應的“加速度”。即以安放在桌上不動的一本書而論，書的重量也生出一個向下的“加速度”，並且桌子對書本的上壓力又生出一個相等而向上的“加速度”，以和前者相抵消。這段譬喻也許不大用得著。更加有關一點，可以想像從崖頂橫擲一石的情形。這時候橫的等速運動就和重力所造成的垂直下墜相結，同時結果的路線就是人所習知的“拋物線”(Parabola)。第十圖表示四個這樣的曲線，當時的水平速度是每秒 4, 8, 16, 32, 64 等呎，而向下加速度是由無阻力的重力所生的，等於在每秒時內增加的每秒 32 呎。

第三定律

“運動第三定律”大半應歸功於武倫(Wron), 華立士(Wallis) 和 惠更斯(Huygens), 即牛頓在他有名的格致



第十圖 物件以各種速度自由落下。

原理(Principia, 或作自然哲學原理)——物理學舊時特殊的名稱——中所稱為“我們前代最大的幾何學家”。

是最簡單的一個敘述，“作用和反作用相等而反向”。它不僅適用於如像“用你的指壓石，指也就被石所壓”，曳車的馬等一類情形，並且適用於“一個物體對另一個碰撞”的那些情形。

碰撞(Impacts)

相爭須有兩個人，而相擊或相撞須有兩個物體。實驗證明在一短時間內，每個物體都經歷一種大小相等，方向相反的明確的動量(Momentum)變化。一個物體的“動量”的定義是“質量”乘“速度”，不過像從前我們不應遺漏“速度”的方向。當開放一隻來復槍的時候，子彈被著火的火藥膨脹的氣體壓力推動前進，槍如不握牢也以相應的“動量”向後倒衝。如果來復槍質量為子彈的 200 倍，而子彈係以一秒 2,000 呎的一個槍口速度開始射出，那麼來復槍就以一秒 10 呎的一個速度向後倒衝。托槍不緊的人就要受到一個打擊，但是如果將它緊貼肩際，那麼人的身體就隨槍後衝，並且他的質量已被加到槍上，以減少他們

聯合後衝的速度。

在任何遊戲中，見到在某一方向運動著的一個球被棍棒或網拍之類一擊，速度的大小，或方向，或兩者就很迅速的被改變，這是一個普遍的經驗。在兩個物體間用大力作用不到一秒幾分之一，“加速度”立刻就關連到結果的速度的改變。

在方向和大小兩方面都用所生“動量”的全部變化來測度“碰撞”，這在實際上是便利的，同時在理論上是健全的。由代表“速度”的線（或向量）的相減，就得“速度”的變化。如果一條直線 OA 代表“碰撞”前的速度，而從同一點 O 作出的另一直線 OB 代表“碰撞”後的速度，那麼 AB 在方向和大小方面表出“速度”的改變。用物體或球的質量乘這個得數，這就得“碰撞”的一種特別合宜的公量。在“碰撞”的情形中，並不一定必要贅說作用和反作用相等而反向。這一個物體常受到和他一物體大小恰相等而方向相反的一個“衝”（The impulse）。甚至質量 m 的一片石，從靜止下落到地面直至它獲得一個速度 v ，相信也吸引質量 M 的整個龐大的地球直至它獲得一個速度 V （極

其微細)，而成 $mv = MP$ 。遍整個宇宙間，無論怎樣微細的現象總生出異常微細的變化。

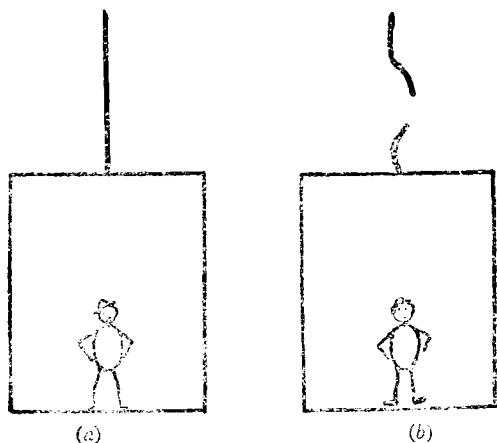
在此，我們應該特別注意力的單位叫做一達因的定義，這是能夠給一克的一個“質量”每秒每秒一釐米的一種“加速度”的力量。另外，一克的“重量”將給一克的“質量”以 g 的一種“加速度”，或 980 釐米/秒² 的一種“加速度”，所以由是推出一克“重量”是 980 達因。最好腦海中，我們將一“達因”粗率的想做一毫克的重量，在此“毫”與別處的用法一樣，表“千分之一”的意思。

升降機(Lifts)

如果一個人在一靜止或以等速運動的“升降機”(Lift, elevator, depressor) 內，這時候機箱底板的上壓力就恰等於人的體重；因為他並未被加速。如果一個升降機正在向上或向下增加速度，這種情形與前不同。假設(第十一圖)一個質量為 160 磅的人正以每秒增加每秒 2 呎的一個“加速度”向上運動；底板對他的壓力必須超過他的體重到足夠生出這種向上“加速度”的程度。單獨“重力”必定給他 32 呎/秒² 向下的力量，所以底板必須給他

32 加 2，即 34 呎/秒² 向上的力量。這個力量等於 170 磅的重量，所以必須是底板的壓力。如果 a 是質量 m 的一個人的向上“加速度”，底板壓力就是 $m \frac{g+a}{g}$ 。如果機箱正以“加速度” a 向下運動，這時候，底板對人的壓力用磅重表示就是

$$m \frac{g-a}{g}。$$



第十一圖

- (a) 上昇，“加速度”2 呎/秒²，人的質量 160 磅，向上力量 170 磅重在他足底。
 (b) 索斷，機箱降落，在他足底的壓力為零。

例如：設一個人的質量是 160 磅，而機箱的向下“加速度”是 2 呎/秒²。所以 $2 \times 160 = 32 \times 160$ 底板向上的壓力；因此

底板壓力 = 160(32 - 2) 磅重 (見本章第二定律節)

$$= 160 \frac{32-2}{32} \text{ 磅重}$$

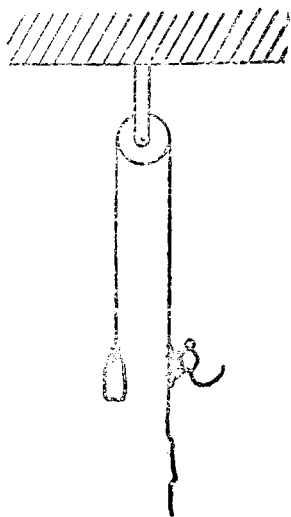
$$= 150 \text{ 磅重。}$$

如果前邊的結果真實，這時候如向下加速度為 g ，或 32 呎/秒²，壓力就一定完全不見。這是當升降機鏈索斷時的重要情形。人和底板中間並無壓力，在這個有趣的實驗內片刻間，人體在“升降機”內並不像受重力作用下降，彷彿懸空不落。按照愛因斯坦 (Einstein) 的說法，當移開鏈索的束縛時，這是比較自然的事變狀態。各個物件繼續在一種完全滿意和自然的情況，直到後來機箱的和平因機軸底部受重大損壞而猝然終結為止。一個比較簡單的實驗是，放一如像厚重的書本之類的重物在手心內，從一把椅子或桌子躍下。在空氣當中時，手上面並無壓力，但是到達到地板時，手上面就有一個超過書重的壓力，並且書

被阻就不致落下。

猴子和酒囊

有一個猴子和一個酒囊質量相等，一個握牢，而另一個附著在繞一堅固的輕捷“滑輪”的一條細索，這樣兩個的動作成為動力學上一個有名的啞謎。假設兩物開始都在地板上同一水平面，並且靜止不動。如果猴子沿索往上爬，酒囊也往上昇；如果猴子向下滑，酒囊仍舊保持著和它相對的位置。無論猴子的“速度”或“加速度”為何，酒囊總與它相同，因為力被“滑輪”上所繞的索一點不損失的從這個傳給那個；所以任何急遽的碰撞在兩個身上



第十二圖 如果索細滑輪滑，

猴子不能和酒囊遠離。

也產生相等的，急遽的“動量”變化。實際上，所支持物的摩擦力，索和滑輪的“慣性”都是以影響這些結果的正確，

而且一個靈巧的堅忍的猴子竟可以做到無須永遠和酒囊作伴的地步。

物體的“加速度”

在所有前邊的簡單的解釋中間，都不難用釐米來代替呎，克或仟克來代替磅。並且我們必須用 980 來代替 32，因為 32 呎差不多等於 980 釐米。假設用一條繩將放在一平淨桌面上的 7 磅重物和一自在懸著的 1 磅質量相連，同時這條索繞過桌邊的一只輕捷的滑輪，那麼在這種情形裏面，被加速度的共有 8 磅，而生出那個“加速度”的只有 1 磅。所以，“加速度”將不過是 32 的八分之一，即 4 呎/秒²。再則，這個極為普遍。如果 M 是桌上的質量， m 是懸著的質量，這時候力是 mg ，而被加速質量是 $M+m$ ，所以“加速度” a 等於 $\frac{Mg}{M+m}$ 。我們不難進一步推廣到更較複雜的情形，即當時的物體不只兩個，滑輪也不只一個，而且對摩擦也應有相當的注意。

“第二定律”有少數簡單的情形，值得解釋幾句。將一條堅韌的線放在一只輕捷的並且旋轉自如的滑輪上面。這條線遊離的兩端懸以相當的質量。如果這兩個質量相

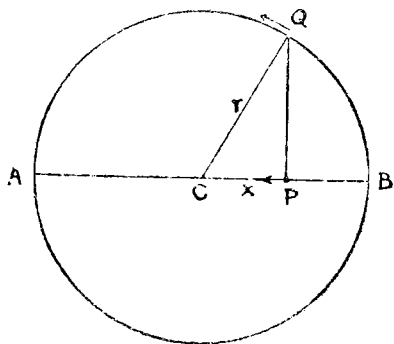
等，它們將永久靜止。如果給某一個以一個向上的速度，另一個將得到一個值永久一定的向下的速度。又設這兩個質量是 14 和 18 噸（1 磅 = 16 噸）。這時候，運動著的質量是它們的和，或 32 噸，同時運動著的力是相差的重量，即，4 噸重量。因為這個力是它們合重的四分之一，“加速度”將為由重力而生的四分之一，而等於 8 呎/秒²。這個結果極為普遍；如果 m , M 是“質量”， a 是“加速度”，那麼由“第二定律” $a(M+m) = Mg - mg$ ，而 $a = \frac{M-m}{M+m}g$ 。並且不難推出這條線的“張力”。

簡諧運動(Simple Harmonic Motion)

前邊曾經提到(第二章彈性節)，虎克定律說“位移”和位移的力成比例。例如提琴或鋼琴的琴弦，或一隻音叉的振動股，等許多振動物體，力正在使被位移的質量回復到平衡位置的地方都有這個情形；又因質量是一定的，我們可以將在任何和每個時刻的加速度看成和位移成比例。所成的運動稱為“簡諧運動”(Simple Harmonic Motion)。如果將一個完全的來回擺動或振動的時間，或週期，表為 T 秒，每秒的擺動“頻率”(The frequency) 為

f ，這就得 T 乘 f 等於 1。例如一條鋼琴絲或音叉有 256 一個“頻率”，它發出一個約與一個鋼琴的中鍵 C 相等的純音，在一秒內做成 256 次完全的擺動；在這一種情形，週期就是一秒的 256 分之一。我們不妨稍越出現在的範圍以外來證明 $T = \frac{2\pi}{K}$ 這個簡單的關係，在這裏 $\pi = 3.1416$ ，約為 $22/7$ ，是任何圓圓周對直徑之比，而 K^2 是常因數，它的解釋包含在“加速度”為 K^2 乘“位移”一句話內面。

下邊是這種證明的一個說明。設 Q (第十三圖) 以速度 Kr 繞一個半徑 r 的圓運動。設 C 為圓心，而 AB 為任意固定直徑。作 QP 垂直 AB，和作 CQ，又設 CP = x 。我



第十三圖 以說明簡諧運動。

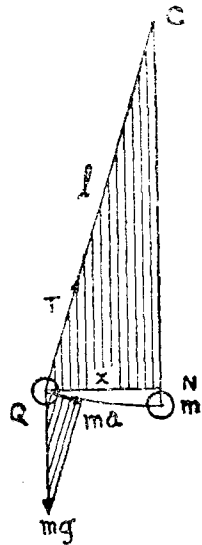
們曾經證明過 Q 的加速度向 C 同時等於 V^2/r ，所以等於 K^2r ，因 $V=Kr$ 。因為 $CP/CQ = x/r$ ，由此推得 P 的加速度向 C ，沿 BA ，同時等於 K^2x ；所以 P 的加速度和它離開 C 的位移成比例。簡短說， P 點有 S. H. M.，這即是“簡諧運動”的一個縮寫記號。當 Q 完全繞圓一周， P 經 C 前進到 A ，又經圓心退到 B ，然後回到 P 。這種完全振動的時期就由 Q ，速度為 Kr ，繞周長 $2\pi r$ 的圓一周所需的時期求得。簡短說，如果 $a = K^2x$ ，那麼 $T = 2\pi/K$ 。

單擺 (Simple Pendulum)

一條細線上端裝在一固定的支點上面，下端懸一細小的重物或秤錘。將這個重物稍稍移動，並使它來回擺盪。這是一個顯明的事實，無論何人做，以及無論在何處做，只要線的長度相同，振動的時期總是相同的。它既無關於重物的質量或性質；如果擺幅比較線的長度為小，也和擺幅的大小無關。所得結果與觀察者無關，並且在地球上各處差不多完全相同。但是，如果我們做四個長度成 1, 4, 9, 16 的比例的“單擺”，那麼它們的“週期”的比就是這些數目的平方根，即 1, 2, 3, 4 之比。一個長度 l

的“單擺”的“週期” T ，或一次完全擺動的時間，由 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 這個關係得出，這裏 π 的定義已在前邊說過， g 是“重力”所生的“加速度”，它的值在赤道是 32.088；在緯度 45° ，32.171；而在兩極，32.258 呎/秒²。 g 值上的這種差異大半由於地球的自轉和它造成的橢圓形狀的影響，如在赤道半徑約為 3,963 哩，而兩極的半徑將近為 3,950 哩。

下面是“週期”和“長度”中間的關係的一個證明。索（第十四圖）在



第十四圖 單擺的說明。

C 處被縛牢，而質量 m 的秤錘在 Q，如是 CQ 就是長度 l 的索。QN 和經過 C 的垂直半徑成直角。秤錘的重量是 mg ，這就會形成向下的一種“加速度 g ”，但是對索的張力就有它向上的分力抵消。重量的“切線分力”（The tangential component）並沒有旁的力量妨礙它，所以它就沿切線生出一個“加速度 a ”。兩個有陰影的面積有不

同的大小，而有相同的形狀，所以 $a/g = x/l$ ，這裏 x 是離開垂直位置的“位移”。因為 $a = \frac{g}{l}x$ ，這是顯明的 S. H. M. 一個實例，並且 g/l 代替前節的 K^2 。所以，一次全擺的時間是 $2\pi/K$ ，或在這個例中 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 。例如 $l = 2$ 呎， $T = 2\pi\sqrt{\frac{2}{32}}$ 或 $2\pi/4$ ，或 $1\frac{4}{7}$ 秒。

鐘擺並不是“單擺”，它們的質量既不小，又未裝在一根棒的極端，而且還有特殊的種種裝置以抵補溫度變動所生的長度變化。然而它們卻具備和“單擺”相同的主要性質，即無論擺動的大小，只要離開靜止的位置不過弧上幾度，“週期”總是一定的。

功(Work)

當一個力勝過阻力時候，它就叫做“做功”。這種“功”係用力乘力(以及它所作用的質量)沿所說力的方向被移動的距離計量。如果一個人將一個十磅的質量沿垂直方向舉高 3 呎，他就逆地球對這個質量的向下拉力作成 10 乘 3 或 30 呎磅的“功”。如果這個質量重行降到原來的高度，這就不是逆地球引力，而是地球引力作 30 呎磅的

“功”。向上和向下兩者全部所作的“功”爲零。在另一方面，如果沿水平方向將一座冰橇逆地面的摩擦，假設等於4磅重，被拉3呎遠，這時候所作“功”就是12呎磅。如果現在重將冰橇推回，摩擦的阻力相同，但方向相反，這時候就必須另作12呎磅的“功”，同時全部“功”就不是零，而是24呎磅；因爲在這個情形內，摩擦力有完全相反的方向。如果一個200磅質量的人登山4,000呎，他必須逆重力作800,000呎磅的“功”，又當他下山的時候，重力曾經對他作過一個等量的“功”。然而上山和下山曾經消費各種肌肉所施的力量，他將會稍感疲勞。

如果一個人開一座教堂時鐘沈重的法條，他就算已經蓄有將使這座時鐘走一週或若干天的“功”。

能(Energy)

“功”的另一個字是“能”，這是一個英國古字在希臘文上的直譯。人從甚麼地方獲得他的“功”，他的“能”呢？由他自己的肌肉用力或動物的肌肉努力；由風車，水車和輪機，由燃燒煤或油所生的蒸汽，由機筒內空氣和氣油的揮發。這種“能”可被蓄成各種方式，如舉高的重量，伸展

的彈性體，盤繞的彈簧，用閘塞堵的湖，旋轉的飛輪，帶電的萊頓瓶，蓄電池之類。這樣的蓄積計分兩類：一類由位置，形狀，組態，應變所生，叫做“位能”(Potential energy)；一類由運動所生，叫做“動能”(Kinetic energy)。

動能

一個運動體的這種“能”係由停止那種運動所必須作的“功”來計量，這就是“力乘距離”，還可以證明等於質量折半乘以速度的平方。顯明的，如果質量 m 的物體漸從 V 速減到 U 速，這時候無論方向爲何，“動能”的損失即是 $\frac{1}{2}mV^2 - \frac{1}{2}mU^2$ 。

在一種極滑的路軌上蜿蜒升降的鐵道，或凜滑的冰面上滑下的冰車等情形內，產生這種變化的就單是“重力”，同時在一垂直的高度 h 所作的“功”，無論路線若何，總是 mgh ；如是 $\frac{1}{2}mV^2 - \frac{1}{2}mU^2 = mgh$ 。可以將“質量”消去，結果得 $\frac{1}{2}V^2 - \frac{1}{2}U^2 = gh$ ，如果無有摩擦的作用，就是完全與車輛的“質量”無關。

所以可以知道，“力”有兩種看法： $mV - mU = F \cdot t$ ，或即“動量”的變化等於力乘以“時間”；又 $\frac{1}{2}mV^2 - \frac{1}{2}mU^2$

$= F \cdot S$ ，或即“動能”的變化等於力乘以“距離”。當然，一個力不能真正用“時間”或“長度”來乘啊！

究竟應將“力”看做乘以作用的“時間”得為一種“動量”變化，抑或乘以所經的“空間”得為一種“動能”變化，這個問題從萊布尼茨 (Leibnitz) 起，在十六世紀中間引起一個很大的爭辯。更加確實一點，雖然今天 $\frac{1}{2}mv^2$ 叫做“動能”，在當日爭辯的時期內， mv^2 就被稱為“活力” (vis viva)，當然是一個纏誤的名詞。直到算學家達隆伯 (J. Alembert) 證出兩種說法意義相同，並且每個都能夠很快的從另一個得出以後，這個偉大的爭辯纔算結束。牛頓 恐怕就明白這兩點，在討論“力學”時候，他說過能被保全的話，又說過當無有摩擦的阻力時候，“動能”的損失等於“位能”的增加，反此亦然；所以它們的和一定。注意一個搖盪不定的擺，我們可以看到，在擺動兩端都無有速度，無有動能，但是從最低水平舉高起來的重錘卻有“位能”。在擺動中間，“能”完全係由運動生出，換句話說即是動能；而從“動能”到“位能”，以及從“位能”到“動能”不斷的轉換，即是一個有趣的和實在顯著的穿插，因為它通俗

習見之故纔致如許多事物這樣簡單。

角 (Angles)

通常係將“角”計量成“度”(Degrees), 九十“度”合成一個“直角”(Right angle)。一種更較便利的公量係用任意圓, 並在它的周界上截一段“弧”(Arc), 使與“半徑”(Radius) 相等。聯這段“弧”的兩端到圓心, 這兩個“半徑”就圍成一個角, 叫做一“弧度”(Radian), 與圓的大小無關的一種“單位角”。任何其他的角都可以用“弧度”表出。因此, 如果另一在圓心的角 A 對一在圓周的“弧” S , 因為“角”和它們各自的“弧”成比例, 當然就得 $\frac{S}{R} = \frac{A}{1}$ 和 $S = R \times A$, 這裏 R 就是“半徑”。在一個直角的情形中, “弧”就是 $\frac{\pi R}{2}$, 所以一直角等於 $\pi/2$ “弧度”; 兩直角合等於 π “弧度”, 由此類推。在此, π 仍是圓周對半徑之比, 等於 3.14159……, 或差不多 $3\frac{1}{7}$ 。9 後面的小點表明小數位數無盡。這些數字曾經計算到幾百位以外; 最有趣的是, 我們能夠證明它們決未終止!

角速度 (Angular Velocity)

如果一個小物體, 質點或點子以一種等速繞圓前進,

並在 t 秒內經過距離 S ，那麼這個點在任何時刻的速度是 S/t ，或 V ，同時角速度(The angular velocity)或角的均勻增加將是 A/t 或 W ，所以 $V = R \times W$ 。如果一個飛輪每分鐘旋轉 120 次，或每秒(r. p. s.，即“弧度”“磅”“秒”單位)旋轉 2 次，那麼“角速度”就等於每秒 4π “弧度”；又如輪的半徑是 3 呎，那麼邊線上每點就有 12π 或 37.7 呎/秒的一個“速”。正像“變線速度”(Variable linear velocity) 導出“線加速度”(Linear acceleration)，所以“變角速度”(Variable angular velocity) 導出“角加速度”(Angular acceleration)。

轉矩(Torque)

在某幾種方式，必須使用“力”來增加繞軸旋轉的一個物體的“角速度”，而所生的“角加速度”(The angular acceleration)就和所加的外力矩或“轉矩”成比例。我們曾經說過，“質量 \times 加速度 = 力”。所以現在我們可以證明，“ $I \times$ 角加速度 = 轉矩”。符號 I 表與質量和輪上質量的分配有關的輪的“轉動慣量”(Moment of inertia)。一個已知質量離軸愈遠，它對於“轉動慣量”的幫助愈大，不與

軸的距離，而卻與垂直於軸的距離有關。所以，又如以 v 速運動的一個質量 m 的“動能”是 $\frac{1}{2}mv^2$ ，同樣得，角速度 W 的輪的“動能”是 $\frac{1}{2}JW^2$ 。“飛輪”(Fly-wheel)，“擺輪”(Balance wheel) 等對“能”的蓄積是保持機械永久運動的一個最便利的方法。

功率(Power)

無論何時作“功”，通常作功的時間也應該注意到。作“功”的比率叫做**功率**，普通的單位是馬力 (The horse power)，與一秒內作成 550 呎磅的“功”相等。因此，如果一個起重機在兩分鐘將 12,000 磅從一礦坑內舉高 440 呎，那麼所需“功率”就是 $\frac{440 \times 12,000}{550 \times 120}$ ，或 80 H. P. (馬力)。

單位

在米制上，“功”的單位是一邊同沿它自己的方向(質量和全體)移動邊 1 釐米，這種“功”或“能”的單位叫做一爾格(Erg)。這樣小的一種單位通常並不便利，另外一個代替的“功”單位是一焦耳 (Joule)，等於一千萬“爾格”。所以，“功率”的單位可用每秒 1“爾格”，也可用每秒

1“焦耳”，後者叫做一瓦特 (Watt)。一千“瓦特”叫做一“仟瓦” (Kilowatt)。所以 1 kwt. (仟瓦) = 1,000 瓦特 = 10^{10} 爾格每秒。我們記著，一“馬力”等於 746 “瓦特”，而一呎磅等於 1.356 焦耳，這樣於實用方面有相當的便利。商業局單位是 1 仟瓦小時，即“功率”乘以“時間”，這所以是一小時用到一馬力以上平常售出價格最廉的“能”或“功”，約 23 百萬呎磅。

帶傳遞 (Belt Transmission)

通常我們每能看見，“功率”被一運動不息的皮帶從一個旋轉的輪傳遞到另一個。皮帶的一邊緊，而一邊鬆，張力為 T_1 和 T_2 磅重。如果 V 是用呎秒表出的皮帶的速，所傳的“功率”就是每秒 $(T_1 - T_2)V$ 呎磅。因為皮帶一秒正移動 V 呎，而拉力 T_1 每秒在皮帶緊的一邊作“功” $T_1 \times V$ ，同時在鬆的一邊每秒也作等於 $T_2 V$ 的相反的“功”。因此就得出前邊的值。

天體力學 (Celestial Mechanics)

丹麥天文家台科布拉埃審慎的測得行星的運動，開普勒更經歷種種的艱苦，推斷出行星繞日成橢圓形運動，

橢圓形焦點之一即是太陽。用兩枚定針，一段絲線和一隻鉛筆，就好作一個橢圓形。每個定針做一個焦點。在行星方面，每個都有一個固定的面積速度 (Areal velocity)。這是說，如果 S 是太陽而 P 是行星， SP 線在每秒時間內旋展相同面積。過一個橢圓形的中心，經過兩焦點，最長的這條線叫做“長軸”(The major axis)；開普勒發現在行星方面，“行星年的平方”和“長軸的立方”成比例。牛頓證明如果質量 S 的太陽吸引任意設定的行星，質量 P ，而在 R 距離引力為 F ，

$$F = G \times \frac{S \times P}{R^2},$$

[這裏 G 叫做引力常數 (The gravitational constant)，注意不要和由重力所生用 g 表示的加速度相混。]那麼所有三個定律都完全適用。由在適當位置懸著的一個大鉛球對一個小金球的拉力(或即引力)，能夠得出 G 值。又由這個結果，能夠算出地球的質量和密度。因為地球對一磅質量的引力是 g 磅達，我們可以說

$$g = G \frac{E \times 1}{r^2},$$

(這裏 E 是地球的質量， r 是地球的半徑，而 g 和 G 都是

已知量。)這樣就求得 M ，又因為地球的體積已經知道，它的密度也就能夠算出。地球成分平均較水重五倍半，又因為外殼是兩三成重，所以地球內部必須包含如鐵，鎳，等一類較重的物質。牛頓用月來證實他的重力學說；月繞地球一周約為二十八天，和地球中心的距離為地球半徑的六十倍。取地球表面上的一個質量 m ，所受引力為 mg ，就得

$$mg = G \frac{Em}{r^2},$$

同時在月方面應得

$$M \frac{V^2}{R} = G \frac{VM}{R^2}.$$

所以兩式相除，

$$\frac{V^2}{Rg} \text{ 應等於 } \frac{r^2}{R^2},$$

而這個關係由觀測已得證實！

在前邊， M 是月球的質量， E 是地球的質量。 R 是月球軌道的半徑，差不多成為圓形， r 是地球的半徑， V 是月繞地球已知的速，同時牛頓不知道的引力常數很巧妙的被消去。牛頓推廣他的萬有引力定律到行星，彗星，潮汐等方面；並且有人曾經更進一步推廣到雙星（Double

stus), 兩個互相旋繞的太陽方面。這個定律保持著極大的準確, 並且由它的應用曾經查得幾個重要的新行星, 如海王星和冥王星都是。愛因斯坦所做的種種的修正當然有一種深徹的哲學價值; 不過關於從遠星體發出的光線在臨近和經過太陽的“引力場”(The gravitational field) 時發生屈折一點, 觀測得到的結果卻每有一點差異, 尚需有特殊的遠征隊到太陽全蝕的各處再加著下次的觀察證明。據愛因斯坦的計算, 屈折角應為從牛頓學說得出的兩倍, 而就全部, 事實是於愛因斯坦方面有利的。

穩定和不穩定平衡 (Stable and Unstable Equilibria)

在一個物體被支住的時候, 如像被支住在山坡上面的一輛運貨車, 經過“重心”的垂直線必須落在支住的範圍內, 否則物體就要顛仆。這是一個動力“系”(System) 在可能的時候從靜止開始運動的一個普遍的趨勢, 如是這個“系”的重心開始移動到一個較低的水平。換句話說, 最初的運動係從損失“位能”而達到獲得“動能”。一個在一平滑的桌面上的圓球在任何位置都是平衡的, 但是一

枚雞卵卻有一端並不成“穩定平衡”。如像這類成“不穩平衡”的物體：重心的直線只有在物體完全豎直時候纔落註在支柱範圍內，並且稍微一點移動就要造成顛覆。哥倫布用在蛋殼上刻痕增大底面積的法子，解決過使一枚雞卵直豎不倒的難題！運動著的物體如像一輛自由車，滾轉的銀幣或銅幣，每會在靜止時應該不穩的環境，運動時竟能維持一個時間的穩定。一個迴轉著的陀螺也有同樣的情形。它表現出始終以它的旋轉軸直豎的傾向，或以一個禿端進動而使它的旋轉軸旋成一個圓錐體面的傾向，地球因為太陽對它的橢圓形狀，或即赤道凸出部分吸引而生位移，在25,700年內都在實現這個工作。這是公元前123年希帕苦士 (Hipparchus) 發現的一個事實。地軸有一種細微的跳動，叫做章動 (The nutation)，以十九年為一週期，這是牛頓就已經預知而後經布拉得萊 (Bradley) 發現的結果。

一個在稱平環上旋轉自如的旋轉盤將保持著它的軸方向固定(註)。但是，如果夾緊垂直的支柱，而用手持著

(註) 魚雷艇的駕駛即應用這個原理。

“迴轉器”(The gyroscope)繞人身旋轉,除非人身和盤的旋轉方向相同,盤就要輾轉不定。在迴轉羅盤(The gyro-compass)上,就應用這個原理;這是一個用電推動的旋轉盤,盤軸總想和地軸平行,並且始終在直指真北極的子午線上;但反是,“磁羅盤”(The magnetic compass)卻傾向“磁子午線”(The magnetic median),在地面上許多地方,都和真北極的方向相差。

這個動力學題目曾經有過許多的討論,因為物體在各種環境下的運動必定是整個物理學範圍內最基本的一個。

第五章 熱學

熱的來源(Sources of Heat)

熱有許多來源。最重要的就是太陽的“輻射熱”(The radiant heat), 這像光一樣, 成爲波狀在將近 $8\frac{1}{2}$ 分鐘內經九千三百萬哩的長途來到地球上。這種“熱”, 降到地球上, 使地球溫暖, 而這種溫暖又大部分被風和海流分佈到各處。沒有“熱”從太陽來, 地球整個表面就不免很快的被冰雪掩沒; 若是, 在一個短時間內, 所有的生命就不免要臨到末日。局部的“熱”來自木炭, 煤炭, 油, 煤氣等一類物質在火以及火爐內的燃燒, 由碳和氫與空氣中的氧急遽化合產生出“熱”。我們也能夠從水或水蒸氣動力產生一個電流, 這個電流經過“電阻器”(The resistor) 就生出“熱”, 如在電爐, 放熱器, 電熨斗等器內是。這一種方法得熱比較費鉅, 不過卻很潔淨和便利。“熱”有時可從地球內部如溫泉和火山的情形引出。最重要的是人和動物的“熱”, 這是由吸入的空氣, 含有百分之二十的氧, 和體內

貯存從食物得到的碳水化合物結合生出。

熱的效應(The Effects of Heat)

如果一只盛有冰和水的鍋放在火上，水始終在“凝固點”(或叫“冰點”，Freezing point)，即華氏度 32° ，或百分度零度，直到所有的冰都已被溶解為止。在水內放一個“溫度計”(The thermometer)，將見這時候溫度陸續上升，以至昇到“沸騰點”(The boiling point)，即 212°F 或 100°C ，只要大氣壓力是正常的，或即水銀氣壓計停在 76 厘米。到達這個階段以後，“溫度”即不再增加，不過所有水逐漸沸乾，變成水蒸氣。再繼續下去，到鍋的溫度不斷的逼近火的溫度時，它就難免遇到災禍。所以，我們知道，熱能夠改變形態從固體到液體，或從液體到水蒸氣，並且它也能夠升高一個物質的溫度。

“熱”和“溫度”(Temperature)

當一個物體被加熱時，它或許溶解，或許沸騰，或許增加溫度。關於“熱”和“溫度”間的區別，我們計得到明確的觀念。因此，如果說一針鍋的沸水較一座大的冰山為暖，這就是說，針鍋內的水具有較高的溫度。稍後，我們

一定很驚異的看到，冰山實在含有比水更多的“熱”！因此一千克冰在 0°C . 能夠溶解多量在 -40°C . 凝固的水銀，遠過於 5 克水在沸騰點 (100°C .) 能夠溶解的量。

“熱”從一種在較高溫度的物體流到，或者總趨向流到，另一種在較低溫度的物體，有點像水從高的水平面趨向到低的水平面一樣。當認為“熱”是熱質 (Caloric) 的時候，它顯然並不像從前相信的一種“物質”；但是顯見得“熱”卻是一種大部分由一個物體成分的運動所生的“能”。“熱”是一種“能”這個見解的理由是，它可以由摩擦生出，如在一個未塗油時灼熱的輪軸是；也可以由運動生出，如在捶鐵的時候；也可以由電流生出，如用一個烘乾器或熨斗的情形是。

膨脹 (Expansion)

許多物體，但不是全體，熱時候都膨脹，在長度，面積和體積等方面增加起來。人人熟悉的最簡單的實例就是“水銀溫度計”(The mercury thermometer)，在中間可見“溫度計”被熱的時候，沿玻璃桿上昇，因為水銀膨脹漸漸充滿容器。裝置鐵軌，或建造橋梁時候，我們必須預留

餘地，以備由夏季較熱的空氣，或由日光的直接輻射形成的鋼鐵的膨脹。不留這樣的餘地，結果一定是很危險的，因為膨脹內所含的力是極鉅的。

溫度計 (Thermometers)

這些是計量或記錄‘溫度’的工具。一個玻璃球，附有一小孔穴的玻璃桿，充滿水銀或著色的酒精，將玻璃桿端封固，同時液體正在沸騰以逐出空氣，將‘溫度計’沈在溶解的冰中，定出“冰點” (The freezing point)，在百分度記為 0，在華氏度記為 32。再將這付工具放在從沸水出來的大量水蒸氣中，定出“沸點” (The boiling point)，又因為“沸點”與壓力有關，所以必須用一個標記 76 厘米的“氣壓計”來校正現在的標度。這個點定出時就是 100°C ，或 212°F 。由是推得，百分度標度 = $\frac{5}{9}$ (華氏標度 - 32)；或 $F = 32 + \frac{9}{5}C$ 。

室內“溫度”約為 20°C ，或 68°F ；水銀約在 -40° 凝固，這是在每個溫度計上相同的溫度。對於稍微比較低的“溫度”，可用“酒精溫度計” (The alcohol thermometer)，因為酒精凝固將近在 -115°C 。有時在“溫度計”上面，

都看見有一種“體溫”(The blood heat)的標記,這就是人體在通常情況下的溫度(98.4°F)。高過正常的一種“溫度”往往表現一種發熱的症狀或不良的健康。一個健康的人,重量不增時,在一天內可以消耗8磅的食物和水,將近3磅會通過他的組織,而5磅會從他身體的表面蒸發。

人體溫度的固定顯有規則存在,結果由體內化學變化的“熱”的獲得與由身體表面水的蒸發的“熱”的損失中間有一種平衡。

膨脹率 (Expansivity) 或膨脹係數 (Coefficient of Expansion)

“係數”這個字在物理學上純粹用來表一個數或量。一條20呎長的鐵棒當從 0° 升到 100°C 時候,將增長到0.024呎,或將近一吋的四分之一。所以每呎長它的膨脹,溫度升高 1°C 時,是0.00012呎,或一百萬分之12,並且這叫做物質鐵的線膨脹係數 (The coefficient of linear expansion),或“線膨脹率”(The linear expansivity)。同理,鉑(Platinum)的“膨脹率”是一百

萬分之9。

鋁.....	百萬分之25。
銀.....	“ “ “ “ 19。
銅.....	“ “ “ “ 17。
鉛.....	“ “ “ “ 28。
玻璃.....	“ “ “ “ 7至8。
石工.....	“ “ “ “ 5至7。
松材直理.....	“ “ “ “ 5。
松材橫理.....	“ “ “ “ 34。

所以也可以說“面(或體)膨脹率”(Surface, or volume expansivity)是每單位表面(或體積)對百分度溫度上升一度的表面(或體積)增加。如果取一單位立方體,而使它的溫度上升 1°C , 那麼長和寬和高將因“線膨脹率”每個都有增加, 普通可用 X 表這種“膨脹性”。所以, 每個表面的面積將變成 $(1+X)^2$, 而體積成 $(1+X)^3$; 或者各個將近是 $1+2X$, 和 $1+3X$, 因為 X 是很小, 結果 X^2 和 X^3 都可以省去。所以面和體膨脹率就是這種物質的線膨脹率的兩倍, 和三倍。液體和氣體就沒有像這樣方便的話可

說；每單位容積，並對溫度上昇 1°C ，它們的容積增加有如下述：

容積膨脹率(在 18°C .)

酒精	……………	百萬分之1,100。
水銀	……………	“ ” ” ” 180。
氫	……………	在固定壓力，千分之3.66。
空氣	……………	“ ” ” ” ” ” ” ” 3.67。
氮	……………	“ ” ” ” ” ” ” ” 3.67。
二氧化碳	……………	“ ” ” ” ” ” ” ” 3.70。

上面略去水不提是值得注意的，不過這種習見的物質卻有顯著的性質，在後邊我們必須專用一節來說明。

熱量單位(Thermal Units)

將怎樣量計“熱”呢？通常係取一定量的水，而觀察它所經歷的溫度上昇的情形。最方便係觀察溫度已被昇上 1°C 。1克的水，而說水已經收受一單位的“熱”，即卡(The calorie)。如500克被昇高 12°C ，那麼那種水就已經收受6,000“卡”。有時用前邊單位的1,000倍，叫做一“大卡”(Large calorie)。如果不是同時有審慎的說明以

免錯誤(註)，這種用法仍以不用爲妙。另一種單位是 B. T. U.，或“英國熱量單位”。這是使 1 磅水昇高華氏 1° 所要的熱。我們必須記得，世界文明各國，除英帝國和美國而外，都已經廢棄像呎，磅，尤其是華氏溫度標等一類單位，所以我們儘可以廢 B. T. U.，專用“卡”。不過這樣的改變總是迂緩而且實行困難，所以要說出，因爲 1 磅等於 454 克，而 1 華氏分度等於一百分度之 $\frac{5}{9}$ ，結果就得 1 B. T. U. = 252 “卡”。一“克卡”(The therm)是 100,000 B. T. U.，工程家有時用 1 磅水昇高 1°C. 的這種熱單位。

混合物(Mixtures)

如果使在 60 度的 5 單位水很快的和在 100 度的 5 單位混合，這時候“混合物”的“溫度”將在 80 度左右，較冷的水所得的熱將等於較暖的水所失的熱。又如使在 10°C. 的 500 克和在 40°C. 的 1,000 克混合(這時候“混合物”的“溫度”將在 10° 和 40° 之間，偏於較暖的一邊與質量成比例，即 2 對 1，結果就得 30° 將爲“混合物”的

(註)一個做苦工的成人每天必須從食物和氧提取 3,000 “卡”左右。這裏所說的“卡”就是“大卡”(Large calorie)或“仟克卡”(Kilogramme calorie)。

“溫度”，平衡的損失和增益是 10,000 “卡”。

其他的問題就立刻引起：“熱”曾經漏去一點嗎？容器有效應嗎？

熱之滲洩 (Leakage of Heat)

設有一個熱物體，如像一鍋水或一只熱熨斗之類，它很快的失去它的“熱”，直到它和四周的溫度相同為止。“熱”容易由三種方法離開一個物體，即“傳導”(Conduction)，“對流”(Convection)和“輻射”(Radiation)。

傳導

“傳導”的一個實例如一下端放在熱茶中的銀湯匙，上端頃刻就會“變熱”，就是，它的溫度上昇，因為“熱”沿銀質桿傳至上面的柄端。如像銀和銅之類良好的“導體”(The conductor)也都是“電”的“良導體”(Good conductor)，這是值得注意的。所有金屬都是“熱”和“電”二者的“良導體”，然而木材，玻璃，瓷器，生絲等卻都有“非導體”(The non-conductor)或“部分絕緣體”(The partial insulator)的性質。我們注意下列的數字或許有相當的便利，它不僅給出各種物質的相對“傳導性”，並且

很明白的說出在1秒鐘內，一個1平方釐米面和1釐米厚的立方體，當各面間溫度相差是百分度1°時候，兩面將要傳受的“卡”。

熱量傳導性

(約在18°C.)

銀.....	1.006	玻璃(乾的).....	.001至.002
銅.....	.918	岩石.....	.004
金.....	.760	木材.....	.0004
鐵(熱的).....	.144	生絲.....	.0002
水銀.....	.0197	空氣.....	.000005
水.....	.0013		

對流

空氣熱時因為膨脹變成稍較稀薄，並且稍輕，比較冷空氣更為趨向上昇。一個燃著火的煙突上面空氣流動就是“對流”的一個好例子，還有用來生熱或供給熱水的管內水的循環亦然。用一個繩鉅的眼光，風和海洋即足以例證“對流”。在冷天氣中，人着皮毛大半即在防止因風造成的“熱”的對流的損失，動物的毛髮也有一個相同的效用。

包在衣服中間的空氣也能夠防止熱損失，因為空氣就是一種不良導體。

輻射

一個人立在日光直射的當中，或者在一個火或一個熱的輻射器前面，就有“熱”經過他身旁，他感到這種“熱”，也就是熱向他身上來的這種方式，不是由於“傳導”，也不是由於“對流”，而是由於經過空間的“輻射熱”(Radiant heat)。我們能夠證明，這種“輻射”係由波，有一種電磁形式的，所生，波長稍較光波長一點，這一個題目在下邊還要另外說到。光澤的表面，特別是金屬物，都反射“輻射熱”和“光”；但是黑暗的表面卻反吸收它們。通例，良好的吸收表面都是不良的“反射器”(The reflector)，而是良好的“輻射器”。光澤的銀茶壺比較黑暗的器皿能夠保溫。深色的衣服在耀眼的日光中覺“熱”，同時白色的裝束將太陽的熱反射離開。有些物質都值得選用，例如一個玻璃屏障就能夠將火的長波遮斷，可是卻仍舊能讓太陽的“輻射熱”通過。

比熱(Specific Heat)

在每一種物質 (Substance) 方面, 我們能夠考查出使那種物質一克升高 1°C . 所要的“卡”, 並且或者就叫它做那種物質的“熱率” (The heativity)。它和“比熱”有同一數值, “比熱”是和水比較的一種比率。當我們說水銀的“比熱”是 0.033 時候, 就是說如果使若干質量的水升高若干度需 1,000 “卡”, 那麼使同質量的水銀升高相同的溫度就只需 33 “卡”。水銀較水容易熱, 而且凡在等質量的這些物質方面, 這個三十三對一千的比率總是成立的。這裏是幾個其他的例子:

水在 20°C	1.00	銅.....	0.091
水銀在 20°C	0.033	鐵.....	0.104
鉛.....	0.21	銀.....	0.056
木炭.....	0.16		

氣體	在一定壓力	在一定容積
空氣.....	0.24	0.17
氫.....	3.4	2.4
水蒸氣在 100°C	0.47	0.34

熱容量 (Heat Capacity)

每種物體，例如一方石或一塊木材或一片磚之類，提到“熱”，都有它的“水當量”(Water equivalent)。將一方冰涼的石放在熱水中，結果水將連帶變涼。在和石相同的最初的溫度而夠對熱水生出同一效應的水的分量叫做石的“水當量”。設將溫度在 10°C . 的一方石，或其他物體，放在 60° 的一千克水中，經過急速的攪拌後，設結果的溫度為 50° 。在此，250 克水顯然就夠生出同一效應，所以 250 克是那方特殊的石類的“水當量”。換句話說，使這方石昇高溫度一度，或若干度，和夠使 250 克水昇高同一度數需要同一熱量。這可以叫做“熱容量”(The heat capacity, 或 thermal capacity)，它的定義通常是使所指的物體昇高 1°C . 所需的“卡”數。在現在這個情形內，整塊石的“熱容量”是 250 “卡”。在許多岩石的情形中，每克的比熱，或“熱率”，或熱容量約為 0.20，若是，5 克岩石和 1 克水等量。

水

如果一塊冰受冷，它就要收縮，每百分度一度損失體積百萬分之五十一；這時候使冰受熱，它就要膨脹。到“冰

點”以上一點，就漸漸的全化成水。因為冰較水輕，所以浮著；冰的“比重”是 0.916。所以 916 立方呎水將膨脹成 1,000 立方呎冰。當管內的水變成冰時，水管破裂；這種破裂到冰解以後就可以發現。我們看到，水在結晶的時候比較成液體的時候多佔百分之 9 的體積，這是很有趣的。浮在蒸餾水內的純冰將有千分之 84 的體積在水面，和千分之 916 的體積在水內。冰山就與這個情形大不相同，冰山內含有落雪時被圍著的多量空氣；由全部質量空氣和雪結成冰川，慢慢的順流到海內，裂成冰山，再由風和海流推送使這些冰山浮遊到各處。再則，海水和淡水密度之比成 1.01 對 1.05。所以，由這兩個原因，一座冰山將就有顯著的一部分在水面上，大約佔整個冰山六分之一。在冰點”的水，當緩緩加熱時，將漸漸收縮。到 4°C . 或 39°F . 達到它的最大密度；過此以後，它將又漸漸膨脹，直至達到“沸點”為止。如果水在 4°C . 的“密度”（最大值）是 1.00，那麼在 0°C . 它就是 0.99987，而在 100° 就是 0.9584，全體都是用每立方厘米一克作單位；所以全部膨脹約為百分之 1。生活在這種地球上，除掉看見某幾種顯

著的和穩定的水的特性外，其餘盡都是不可能的。還有，注意這些性質在水方面是一律的，讀者且問一問自己，整個體系究竟係出於偶然抑出於預定——

- (1) 最大密度在 4°C ，“冰點”在 0°C 。這造成池沼溪河低處水的慢慢凝固。
- (2) 冰熔解的“潛熱”高，就是 80 卡。這是說為要結成冰必須從水放出多量的熱。
- (3) 冰的密度低，所以它浮而不沈。
- (4) 水的“潛熱”(The latent heat) 值最高，所以將水變成水蒸氣需要多量的熱。

所以，使溫度變到百分零度以下，或沸點以上，都自然的而且率直的被限制，並且億萬年來，地球表面大部分也都在這種狹窄的溫度範圍裏面。動植物生活遲緩而穩定的進化，據我們所知，都只能夠在這樣境遇實現，這種情形固然為我們所最習見，但卻也有它奧妙值得注意之處。

潛熱(Latent heat)

熔解的“潛熱”就是熔解這種物質一克，或改變它的

形態從固體到液體而不改變溫度，所需要的“卡”數。實驗，將冰放進溫水內就容易做出，證明熔解一克冰需用 80 “卡”。所以，熔解任一塊冰所需要的“熱”夠使一相等質量的水升高 80°C 。這是一個奇特的結果，特別是因為在這種過程中冰在大小方面減小。由水結成冰，和由水蒸氣凝成雨雪露或白霜，都必須放出多量的熱。

湖泊開始緩緩的凝固，因為在 0° 的水較在 4° 的水輕，所以對流必須將每滴水帶到水面，直到所有水都達到 4°C 為止。在以後，表面的水溫度落到 0°C ，這時候就只有開始結成冰。在像蘇必里爾湖 (Lake Superior) 的深水的大湖中，這種過程決不能完成；並且冰決不在深水部分上面形成，只有在接近湖邊的部分纔真結冰，同時湖底的水縱在最熱的夏季始終仍在最大的密度和 39°F 。

汽化潛熱 (Latent heat of vaporization)

更足令人驚奇的是使一克水化成一克水汽，或看不見的水蒸氣所需要的熱的分量。在正常壓力(水銀氣壓計 76 厘米)，和在 100°C ，使一克水變成在同一溫度一克水汽差不多需要 537 “卡”。為便利那些願意用英制單位的

人起見，或者可以說：要使一磅冰化成一磅水，需要夠使那磅水昇高 $\frac{1}{80} \times 80$ 或 144°F . 的熱；而使一磅水化成一磅 100°C . 的一磅水汽所需要的熱等於使將近 970 磅水昇高 1°F . 所需要的熱。將乾燥的水汽送入一定量的水中，而注意由這種凝集的水汽形成的溫度的上昇和重量的增加。用水，水銀以及一種像“氫”的氣體互相對照，得出下表：

一克：	水	水銀	氫
熔解在	0°C .	-39°C .	-259°C .
熔解潛熱，“卡”單位.....	80	3	?
沸騰在	100°	358°	-253°
汽化潛熱，“卡”單位.....	<u>537</u>	<u>68</u>	<u>123</u>
固體到汽體，總“卡”數.....	<u>717</u>	<u>84</u>	

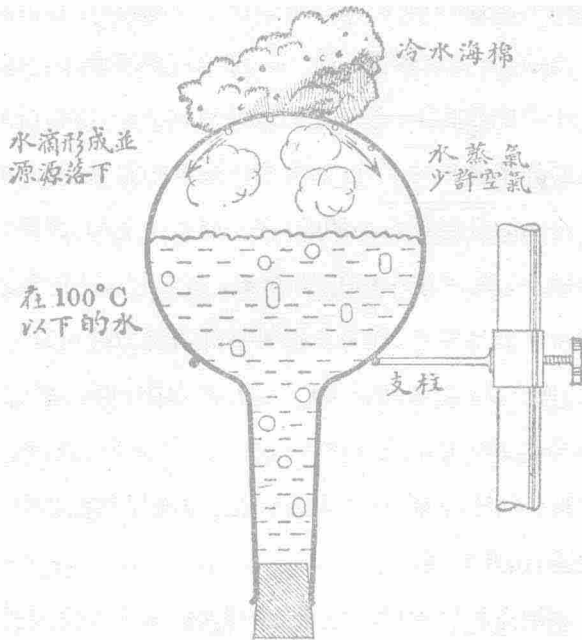
壓力的效應

如果增加水受的壓力，使它大於“大氣壓力”，“熔解點”就稍被降低。例如，上面裝有一個活塞的一圓筒內的冰上有一個小銀幣，如果儘量增加壓力，然後將壓力解除，這個小銀幣會在冰底尋到。一個重物在一塊一大塊冰的

鐵絲圈上面，將由局部的高壓力使冰被鐵絲溶解；但是鐵絲一通過，冰就立刻重新凝固。鐵絲這樣壓過冰，但是整塊並未破碎而為兩，它仍舊是凝固的整塊。通常由沿所經的平面許多微細的氣泡，即可看出鐵絲的路線。壓力對水的沸騰點的效應是更加明顯。在一座高山上面，因為大氣壓力減小，氣壓計並不在 76 釐米，所以它會不能夠煮熟雞卵或烹調馬鈴薯。如果水銀氣壓計的壓力較正常時(76 釐米)低 2.72 釐米(約一時)，這時候水在 99°C . 就沸騰，而不是在 100°C .。現在在一座高 1,000 釐米 (3,281 呎) 的山頂，氣壓計停在 67.4 釐米附近，所以水在 97°C . 就要沸騰，由此類推。

福朗克林(Franklin)所做的實驗(第十五圖)總值得重覆一作。取一玻璃燒瓶，瓶內一部分盛以水，將它放在一個煤氣燈上面直到它沸騰為止。移開燈火，插一塞後，將燒瓶倒轉，並在上面放一塊陰涼的濕海棉或濕布。燒瓶內只容有一點空氣，濕布使水蒸氣凝結，同時水將在 100°C . 以下的溫度就很生動的沸騰起來。

在不同的壓力下的“沸騰點”是：



第十五圖 福期克林實驗，溫水在減低壓力下沸騰。

溫度	壓力(水銀柱毫米)
0°C.....	4.58
20°C.....	17.5
40°C.....	55.1
60°C.....	149.2

80°C.....	355.1
100°C.....	760
120°C.....	1,489
140°C.....	2,709
160°C.....	4,633
180°C.....	7,514
200°C.....	11,647

右邊的數目也差不多等於左邊所舉的溫度的“飽和的水蒸氣”(The saturated vapour pressure)。在開動蒸氣機和輪機的時候，我們顯然的應該主張保持著高溫和壓力。

絕對溫度(Absolute Temperature)

我們知道，大多數的氣體，以及空氣，都有相同的“膨脹係數”，也都有相同的“收縮係數”。這些氣體當使它們變冷1°C. 時損失它們在0°C. 的容積的 $\frac{1}{273}$ 。所以為便利起見，用決不會恰巧達到的一點，即0°C. 下273°，作為氫或空氣溫度計的“絕對零度”(The absolute zero)。在絕對標度，或叫湯姆森氏標度，上，一度仍像百分度一

度一樣。使用絕對標度尚有幾個其他的健全的理由；按照絕對標度，轉換公式是“湯姆森度數等於百分度數，加 273° 。所以

溫度(湯姆森標度, 即絕對標度)	溫度(百分度)
0°	-273°
273°	0°
373°	100°
473°	200°

查理定律(Charles' Law)

正是查理 (Charles), 和給呂薩克 (Gay-Lussac), 他們發現一定質量氣體的容積在一定的壓力往往和它們的絕對溫度成比例；不過當時的說法卻不是這種樣子。

波義耳定律(Boyle's Law)

波義耳 (Boyle) 和馬略特 (Mariotte), 證出一定質量氣體在一定溫度時, 壓力和它們的密度成比例。

這兩個定律合併起來說, 在一定質量的氣體

$$\frac{\text{壓力}}{(\text{密度}) \times (\text{絕對溫度})}$$

的值在同一氣體方面往往是相同的。例如溫度是 27°C 。

或者說是絕對溫度 300°K ., 如果壓力加倍而密度變為三倍, 那麼新溫度就得由:

$$\frac{1}{T \times 300} = \frac{2}{3 \times (\text{絕對溫度})}$$

計算而得其值為 200°K . 或 -73°C ..

熱和功

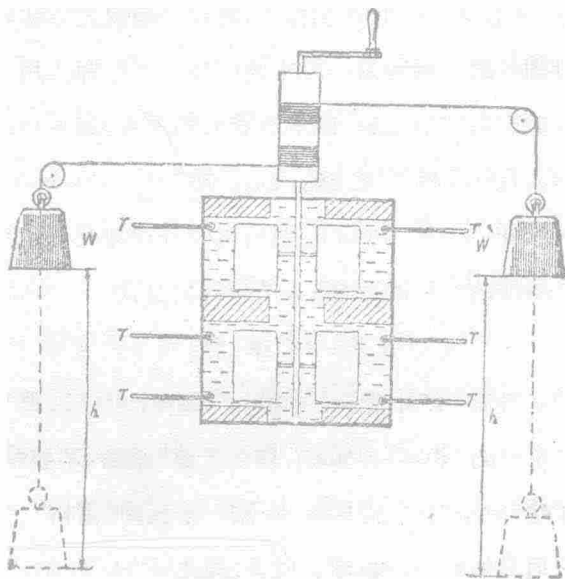
我們多知道, 摩擦生“熱”, 以及摩擦含有勝過空間所遇阻力, 即是“功”的作用。實際上, 最古一種取火方法就是將一段樹枝的尖端對另一段木的凹槽上下摩擦, 用力極猛以致於達到木的細絲, 或木屑着火的地步。第一個將整個問題放在健全的基礎上的人是曼歇斯特 (Manchester) 地方的焦耳 (J. P. Joule), 他切實的求得產生一定量的“熱”必須作的“功”的分量, 由此而得出公式:

$$(\text{工作}) = J \text{ 乘}(\text{熱})$$

這裏的 J 叫做“焦耳當量”(Joule's Equivalent), 與“功”的一種單位的“焦耳”(Joule), 即一千萬“爾格”不要相混。

產生一“卡”的熱需要 4.18 乘一千萬的“爾格”。我們也可以用其他的單位表示: 就是, 產生一“卡”的熱, 需要 3.08 呎磅的“功”。要得到一“英國熱量單位”(252 “卡”),

需要 776 呎磅的“功”。焦耳由一種實驗，一方轉動水中明輪 (The paddle wheels) 而他方重錘下落，證明所生的“熱”和所作的“功”的關係 (第十六圖)。他量出水中溫度上升的度數，一方面注意輪葉和容器的水當量的確數。由是他求得所生的“卡”數，再用重錘落下的距離和重量相乘，他就可以得出所作“功”的呎磅數。



第十六圖 焦耳實驗所生熱與所作功成比例。

這個實驗結果對物理學的進步以及對焦耳更進一步推廣到“電路”(Electrical circuit)方面的“能力不減”(The Conservation of Energy)觀念曾有過極大的貢獻，這是誰都不能夠抹煞的。

假設一個人運一重 70 磅的箱到一 800 呎高的山上，他將因此逆重力方向作 56,000 呎磅的“功”。現在使 1 磅水溫度上昇 1°F . 需要 776 呎磅。用 776 除 56,000，結果得 72。所以前邊這樣費力的“功”只夠使一磅水從 32° 熱到 104°F .，這是一個極細微的“熱”量。從“功”生“熱”並沒有從“熱”生“功”這樣如人意的方便。

熱和人體

一個平常的人，體重 160 磅，在“基本”情況(The basal conditions)，就是絕對的靜止，每天必定生出將近 1,800 “大卡”的“能”。這差不多相當於 90 “瓦特”或 1/4 “馬力”，或者每小時儘足夠將他自己的重量舉到帝國大廈(The Empire State Building)頂上有餘。這個“能”將近五分之一消耗在使水蒸發；將近十分之一消耗在心臟肌肉的工作。

平均 24 小時包括一全天勞苦的工作（農人，木匠之類）在內的“熱”的生產一定差不多是前邊數字的兩倍，就是 3,600 “卡”；在大學教授和其他久坐的工作者，約為 2,400。

在劇烈運動極短的片刻間，氧的消費會在基本水準以上十六倍；但是因為身體會“覓氧填補”，所作出的“功”在幾秒鐘內會有基本的百倍以上。心臟所作出的總數將不會加到十倍以上。

五百克碳水化合物，一百克脂肪和一百克蛋白質（便於提說的幾個大數目）產生將近 3,200 “卡”。“固體”食物真正的内容自然一定比 700 克多，因為至少一定含有 1,100 克的水，而使“固體”食物的全部内容可以有 4 磅。另外，人會在茶和其他飲料中飲取一升的水，又他由食物的氫的氧化作用——“新陳代謝的水”——必定會生出另外 400 克的水，合計成為 2,500 立方釐米的水。這個將近有一半會在尿內排出，大概有十分之一在糞內，而其餘則由肺和皮膚，依外界的溫度而有伸縮，排出。

這種知識係著者同事，麥吉耳大學 (McGill

University) 的湯姆森博士 (Dr. D. L. Thomson) 供給的。著者要特別在此申謝。

太陽

我們的動力來源，太陽，離地球九千三百萬哩遠，直徑 865,000 哩，大為地球的 329,000 倍，它似乎已經照耀地球達二三十萬萬年之久。我們相信，它的“輻射能”來自物質，達成輻射的完全變化，一秒鐘將近到三四百萬噸的數目，就中每秒鐘只要四五磅左右就足夠供給地球所需。

“太陽常數”(The solar constant)，太陽發出的輻射熱的一種公量，差不多是每分鐘在每方釐米上面降着 2.1 “卡”。這是指充足的陽光，垂直照射，不因雲，塵埃和大氣而有損失，並係在地球表面者。

發動機 (Engines) —— (引擎)

發動機可以藉一個熱着的汽鍋發生的蒸汽壓力推動，先在“汽缸”(The cylinder) 內的一個“活塞”(The piston) 一邊通過蒸汽，然後再讓它通過另一邊，同時在反對的一邊的蒸汽就被冷凝。另外一種方法就是“蒸汽輪機”(The steam turbine)，固定方向的葉片導引蒸汽以

衝動“轉動子”(The rotor)的“葉片”(The blades)。動力也可以由“水輪機”(The water turbine)得到，在這裏一個“水頭”(The head of water)藉它的壓力和動量，使“輪機”的葉片繞一個可以直接達到頂端“發電機”(The electric generator)的軸旋轉(關於發電機的說明見後)。倘若用磨成粉屑的煤吹送進爐內，並且利用過熱的蒸汽，可以使“蒸汽輪機”足夠和水動力抗衡。

“內燃機”(The internal combustion engine)實現以汽車代馬，和天空飛行的效用，因為每馬力所需要的機器重量由是而大被減削。“汽油”(Gasoline)連著空氣注入“活塞”一邊的“汽缸”裏面，再由一個“電花”(Electric sparks)使它起燃燒和真正的揮發，而對活塞產生一種顯著的並按定時的壓力。在“狄賽爾機”(The Diesel engine)內，油和空氣能夠不用“電花”，而用“壓縮的熱”(The heat of compression)，在“汽缸”內揮發，因油成霧噴到被壓縮的空氣裏面，繼而揮發或燃燒，最後則為排氣如是形成一個“循環”(Diesel cycle)。“狄賽爾機”連上蓄電池的發明使“潛水艇”(The submarine)的製造成為事

實，不過因為它的動機純粹是破壞的，所以是一個可疑的恩物。

回過來說“蒸汽機”：設效果都在絕對溫度為 S 的熱源，和絕對溫度為 T 的冷凝器中間傳達。那麼真正的效果就是在 S 和 T 中間傳達，而如果我們想用 S 所有的“熱”，理想的效果就應在 S 和零中間。所以最大的可能的效率應該是

$$\frac{S-T}{S} \times 100/100$$

例如，設一個機車的發動機在 123°C . 和 23°C . 或 400 和 300 絕對溫度中間動作。這時候，無論打樣怎樣完美，機師怎樣靈巧，可能的效率在那種溫度範圍內，不會多過

$$\frac{400-300}{400} \times 100, \text{ 或 } 25/100.$$

彷彿是一個從海拔 400 呎落到 300 呎處的飛瀑，它有多少效率，立刻可以看出。

熵 (Entropy)

“熱”在自然界的趨向是從熱的物體傳達到冷的物體，當這種程序已經經過充分時間以後，兩個物體就變成在同一的溫度。所以在程序的開端，“熱”可以用來開動各

種熱機”(The heat engine), 到末了“熱”就不再能供利用。第一個定律是, 能力既不能造出, 也不能消滅, 它只能的被改變形狀, 譬如從功變成熱, 或從熱變成功。第二個定律是, 在這第二種程序, 從熱變成功方面, “熱”漸漸變做不能供利用。整個宇宙似乎正向著這個“不能利用”的境地趨近。“熵”(Entropy) 就是“一組熱能變成機械功的無效性 (The unavailability) 的一種公量”。一個微小的“熵”增益係用所加的一點“熱”除以增益時的“絕對溫度”來計量。如果“一卡”熱在絕對溫度 600° 從一個物體失去, 熵的改變就可以量成 $-\frac{1}{600}$ 的一個損失; 又如那個“卡”在 400°K . 流到一個物體上面, 那麼那個物體就應該增益 $\frac{1}{400}$ 。這樣量得的“熵”的總增益 (Total gain) 應該是 $-\frac{1}{400} - \frac{1}{600}$; 而這是一個正量, 結果所有這類自然的熱的轉移 (Natural heat transference) 有使這樣量得的“熵”成一個極大值的趨勢, 所以說“熱”趨向變成不可利用的, 或者說“熵”趨向於成爲一個極大值, 兩種說法都是相等的。有些人預料, 宇宙有“熱滅絕”的最後一天, 所有物體都達到一個而且相同的低溫度。其餘的人又尋到

各種的理由，證明這種情形不會有。我們固然不能說定！不過在各種有限的標度和在當前的時間，“能”實在逐漸有不可利用的趨勢。有些人對於“能”值的看法，並不將它看成一種“有效性”的事體，而寧將它看成一種“或然率”（The probability）的問題，最或然的境地是溫度一律成爲最普遍的現象。無論何時，一付紙牌和起來，即可使目的物隨心所欲的散開。將若干物體放在一處，這時無論它們的溫度最初怎樣，它們將使彼此間的“熱”混和起來，直到全體都達到同一溫度爲止。這時候，這一組的“能”是一個極大值，在它的分子中間沒有“能”可供作用，並且已經達到最或然的階段。

動力論

洛凱（Locke）說“熱是物體覺不到的各部分的劇烈的攪動，這在我們身上生出那種我們因而說這個物體熱的感覺；所以在我們感覺上是熱的，在物體身上就不過是運動。”

這類觀念根據一種實驗的基礎來擴充後，就形成氣體的一種動力論，這個理論的要領是，氣體的“熱”，“溫

度”以及“壓力”全都歸根到它們細小的質量，或分子的急劇的運動。這是一張有趣的畫圖。在圍繞我們的空氣每立方釐米內，將近有 2.7×10^{19} 或二千七百萬萬萬萬分子，每個分子極其微細，一萬萬個頭接頭纔等於3.5釐米，或差不多 $1\frac{1}{2}$ 吋。可是它們間卻有無數的空隙，而衝碰所越的路線平均有一釐米的 100,000 分之一，這段路線長等於它們中一個的直徑的 286 倍。各分子以一秒 47,000 釐米或 1,540 呎的一種平均速運動。一個氧或氮分子的質量雖極細小，可是若干個數和高速竟生得出這樣偉大的一個總動量，能夠對每方吋生出將近 15 磅的“大氣壓力”。絕對溫度和速度的平方，或分子的平均動能，成比例。這個理論證實是一個一致的理論，並且它可供說明許多別的現象，如像氣體和水汽相互的擴散（The diffusion），以及一種如子彈，高爾夫球，皮球或飛機等一類物體經過空氣所過的這種摩擦或粘滯等。

液體係由反而粘結和密聚的分子所組成，所以它們的運動較難，而粘滯性較高。有趣的實驗可用一個圓的鋼球，先使它經一個水柱落下，其次使它經一個等高的甘油

柱落下。甘油較水更富於粘滯性，所以球落下就比較遲緩。提到固體，有的是膠體，有的是晶體。在一種如像食鹽，石英，冰，硫鐵一類晶體物質，“原子”(The atoms)有一種整齊的排列，並且格式通常在各個方向是重複的，有點像一張糊壁紙在兩種主要的方向，上和下，橫和直，重複一樣。“Colloid”(膠體)這個字原文出自一個有“膠”的意義的希臘字。石蠟，樹脂，膠，玻璃都是“膠體”的實例，在這些物體內，分子成一種不規則的而且出自偶然的排列。“非晶質的”(Amorphous，原意為“無定形的”)時常有人用來代替“膠體的”(Colloidal)這個字。

第六章 天氣物理學

人類的健康，財富，和舒適都和“天氣”(The weather)有關。德來克 (Drake) 告訴依利薩伯女皇說，“所有的陸地都可以居住，而所有的海洋都可以航行，”對於一個勇敢的探險家或航海家，這或者是真實的。可是格林蘭 (Greenland) 的腹地卻不分冬夏，都是冰雪載道，而撒哈拉 (Sahara) 缺乏雨水的潤澤，是一片酷熱的沙磧。人們都不居住在這樣的地方。

濕度

太陽照射著海和陸，用它的“熱”將水變成空氣中看不見的“水汽”(The vapour)。用一玻璃杯水，在裏面熔解若干冰塊，直到濕氣和露滴開始在玻璃杯外面看見為止；“水汽”的存在儘可以藉此證明。水的溫度可以在露滴開始形成的片刻來計量，這種“溫度”就叫做“露點”(The dew-point)。如果“露點”和大氣係同一溫度，這時候空氣就叫做飽和 (Saturated) 有“水汽”，而濕度是100，意指

百分之100。

如果引一列管的空氣通過管有一種乾燥的觸劑，如像“氯化鈣”之類，的管內，在空氣被引過試管的前和後都稱過，這時候就可以說出一定容積，如像一立方呎，或一立方米內所有水汽的克數。又可以推出相對濕度 (The relative humidity) 如像 70，意指在室內或當地溫度最大的濕度的百分之七十。

如果將兩個同類的“溫度計”並放在一起，不過不要放在陽光裏，並且如果一個溫度計另用一個布套包蓋，布套一端稍微垂在一隻小容器的水中，這時候，包蓋一個溫度計的布套將要變濕，並且往往將要從布套起蒸發現象，結果造成一度的冷，如是“濕球”溫度計當濕度低時，將標記較“乾球”溫度計低得多的溫度。而當濕度是 100 時，兩個溫度計將標記同一溫度。預備幾張表，由乾濕兩種球的溫度計的標度，我們就可以迅速的定出“濕度”和“露點”。當張開布套使乾時候，我們知道它們在陽光中，在空氣乾燥時候，以及在有風吹著時候，都乾得很快。

膨脹與冷 (Cooling Due to Expansion)

如果用氣體注入一個“氣缸”裏，並且推下“活塞”以壓縮空氣，“功”就算在氣體上面作成，分子運動更加迅速，並且溫度被昇高。在另一方面，如果有氣體在一個“氣缸”內，並且活塞被提高，氣體就膨脹起來並且氣體變冷。爲甚麼呢？因爲氣體分子衝動回舉的“活塞”，以遞減的速度和能衝回。這就是動力論所解釋的“變冷作用”(Cooling)。

雲(Clouds)

大量的溫暖空氣，垂直上昇或者逐漸升起，膨脹而且變冷，有時直到空氣在這種較低的溫度含有飽和的水蒸汽，並且達到“露點”，這時候極微細的點子形成一層白雲，如此的經過了一天。再變冷，雨點，雪片，或雹塊之類就會出現。

“雲”共有四大類：

- (1) 層雲 (Stratus clouds)，成廣大的橫層或片 (Sheets)。
- (2) 卷雲 (Cirrus clouds)，成掃帚狀伸展的絲紐如毛絨一樣，其實這個字意指一種鬚物 (Curl)。

(3) 積雲 (Cumulus clouds), 互相堆疊成圓形的白塊, 而帶砥平的底層。

(4) 雨雲 (Nimbus clouds), 從包含濕氣更多的“積雲”所成。另外又有將兩個字連結成“高層雲” (Alto-stratus), “卷層雲” (Cirro-stratus)——即習見的魚鱗狀的雲是——等等名稱。

霧 (Fog)

在夜間, 通常還有一個晴朗的天空, 從地面到天空的輻射會很迅速的生出冷, 如是煙霧就籠罩了低層的大氣層, 這種霧氣在一個城市中受煙塵的影響愈增濃重。

露 (Dew)

在有些時候, 熱因輻射的損失使逼近地面的溫度降低, 這時候從微較溫暖的地面來的水汽就要在花草的葉上冷凝, 結果水就在它們上面冷凝成露, 或“露滴”。如果這種情形繼續下去, 直到“溫度”在水的“冰點”以下, 那就有“白霜” (Hoar frost) 出現。雲宛如做成一幅氈毯, 這幅氈毯不僅白天遮蔽太陽的熱, 而且夜間防止地球輻射熱向外的流散。

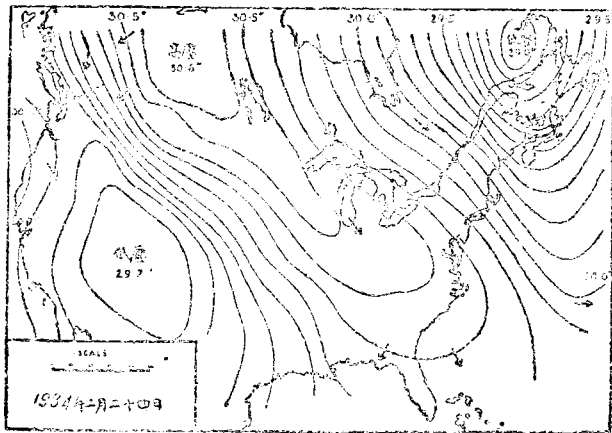
風(Wind)

在晝長的夏天，太陽高懸天空並有多量的熱到達地上，到晝短的冬天，太陽位置較低，從它收到的輻射熱也比較減少。在兩極範圍內，這類比較是顯著的，然而在熱帶裏面，它們就很少存在。溫帶是由北面來的冷空氣和由南面來的熱空氣交會的地方。慣在戶外生活的人能夠預告天氣到有限的一點；不過在更可靠的預測方面，至少必須每日有從散佈在一廣大地區內若干地點發來的電報，報告溫度，壓力（氣壓計的），風速度和方向，濕度，雲或陽光，雨，雪，雹等項。這些都繪在一個大尺度的圖表上，並且天氣的變遷逐日的登記出來。

高壓(Highs)和低壓(Lows)

在繪出氣壓計的標度時候，我們知道可以用曲線（第十七圖）將所有壓力相等的地方連絡起來，這些曲線就叫做等壓線（Isobars）。低壓力的區域用低壓（或“旋風”，Cyclones 表記，而高壓力的區域則叫做高壓（或“反旋風”，anticyclones）。我們立刻看到，風並不像有時理想的，直從“高壓”流動到“低壓”。不然；風都差不多沿“等壓

線”繞低壓區前進，不過卻稍微傾向中心。風都沿與一座鐘面朝上擺着時的針相反的方向，繞“低壓區”前進。用一個老字眼，它們繞“螺旋形”前進。環繞一個“高壓區”，或叫“反旋風區”，我們仍看得到風在前進，不過卻不顯明，差不多沿“等壓線”並且稍微向外，宛若空氣正從“高壓區”向下臨近並且向外散開。其實環繞“高壓區”，風隨時



第十七圖 從北來的一種冷波——1931年2月24日。

在中心溫度在華氏零下 30° 至 40° ，在阿拉斯加、阿爾卑斯和英倫、哥倫比亞近 32°F ，將近零上 40° ，華盛頓(D. C.)， 58°F 。雨雪掩蓋西部直徑1,500哩的低壓區域。

都在沿一種“正鐘向”方向繞中心旋轉，或者照好像太陽所取的方向旋轉。在南半球，風環繞“低壓”和“高壓”的循環每個都與在北半球相反；這個原因可以穩當的歸根到直徑約為 8,000 哩而周界約為 25,000 哩的地球的自轉。赤道上一點在 24 小時內，必須繞地軸行過這段 25,000 哩的距離。一小時一千哩是一個高速；在北極就沒有這樣的速。在赤道和北極半中間，緯度 45° ，自轉的速是一小時 $500\sqrt{2}$ ，或 7,000 哩。在這樣的一種緯度，向南前進的一股風遇到一個地區，自這個地區以下，繼續從西向東前進，比較風所發出的地點迅速得多。所以風使左邊落在後面，或對一個觀測者而說，風彎到它的運動方向線的右邊。我們稍加一點思索，將看出，行向北方的風也將彎向它的運動線的右邊。這種向右手彎的事實就是環繞一個“低壓”的“反鐘向”旋轉的解釋。

“低壓”並不是始終不動；它們會帶著自己的那種天氣一齊行進幾千百哩一天。因此纔能夠預測。雖然“高壓”或“低壓”的運動時常浮游不定，但是一般的趨勢總是自西徂東。假設有一個“旋風”或“低壓”正向英格蘭西海岸，

設爲威爾士逼近。從海上船舶發出的警告一定在氣象局已經在無線電中被收到。氣壓計開始在威爾士各氣象臺下降。在英格蘭各處，就將要有向南，或者差不多這樣的風。雲增多，雨下降，蘇格蘭的北部會有向東或向東南的風，同時英格蘭的南部將有西到西南的風。所有這點就是有一個“低壓”逼近和經過威爾士的正常的預期結果。通例隨後就有向北的風，較冷的空氣，和或有的陽光。各地觀測者常用的一個公式如後。面向風並將臂向自己的右邊伸開，它或許將，但不一定，直指“低壓”的中心，同時伸向左邊的一隻臂會給出“高壓”的方向。我們卻不應認爲事體總像前例所舉的這樣簡單。

天氣角逐場上一個比較生動的圖形可借極陣線 (Polar front) 的圖形表現，這是較冷的極風正開始衝動自己所循的一條線，比較粗，位在被舉起的從南來的溫暖空氣下面，連帶有結果的膨脹，變冷，凝固，和雨雪（第十七圖）。

天氣徵兆 (Weather Signs)

注意觀察天氣圖，我們將看到在任意已知時間，地球

表面上各處各種的天氣，可是月球將總是在相同的階段或情態。不管對於海洋潮汐有顯著的效應，不管一般民衆的迷信，月球對於我們的天氣沒有效應，似乎是確實的。在另一方面，一種“日暈”(Solar halo)，並且一種“月暈”(Lunar halo) 也有幾成，是一種高度的風的推送力一種差不多確定的徵兆，這是暴風雨，有風雪雨的不良天氣的先驅。氣壓計的一度緩慢而繼續的降下暗示有一個長時間的暴風，“預告得長，持續也長；預告得短，立刻就過去。”

氣壓計的一度迅速的顯著的降下就是有一個短促的，劇烈的暴風，它會成一種“颶風”(Tornado) 或者“大雷雨”(Thunderstorm)。這樣暴風多半發生在夏季，在地球上通常有一二千次“大雷雨”在發作。這類暴風的主要原因是含有多量水汽的極熱的空氣，因迅速膨脹變冷的一種突然昇上。這就有強的風，劇烈的陣雨，或許還有冰雹。至於說到大量的電，附帶有一二哩長的電火，或電火以及由它們發生的雷聲幾方面，我們儘可以說，這種解釋係不在本書範圍以內，最主要的因為這方面並沒有

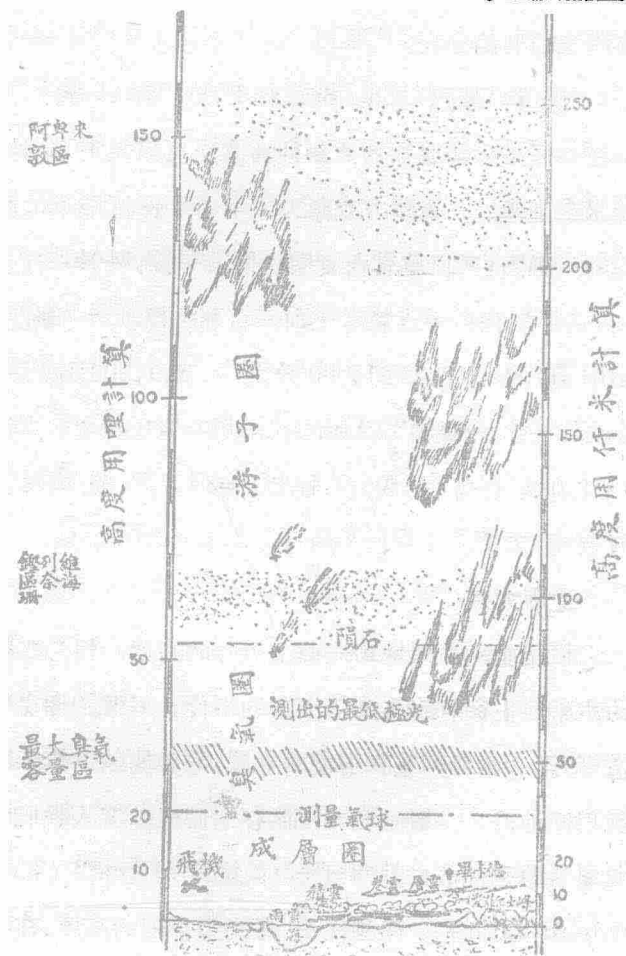
實在滿意的理論存在。

“巴”和“毫巴”(The Bar and the Millibar)

在一個氣壓計裏面的水銀柱的高度可以規定為吋，或釐米或毫米。一個壓力或應力 (Stress) 係量成單位面積上的一種力，所以就有人發明一種新單位，叫做“巴” (Bar)，等於在一平方釐米上面一百萬達因。一“毫巴” (Millibar) 是“巴”的 1,000 分之一，或 1,000 (達因)/(釐米)²。一“大氣壓” (Atmosphere) = 760 毫米 (水銀柱) = 1.013 百萬 (達因)/(釐米)² = 14.776 磅/方吋 = 0.98 公噸/方呎。

上層大氣 (The Upper Atmosphere)

人很難能夠昇到地球表面上幾哩的高度。但是在很高的水平面上卻有許多興趣深永的事件，好像一個臭氧製造廠；至少兩層帶電和導電的氣層，它們能夠將無線電波反射回地球；一層隕石或流星在它們從外突入我們的大氣層時似乎變成白熱的氣層；最後為“北極光” (The Northern Lights)，達到從 40 哩到幾千哩的高度，在變得稀薄的氣體中放電。



第十八圖 大氣

第七章 聲學

聲源(Source)

如果將一面鼓一面朝上平放，並在上面灑上幾粒砂子，這時候鼓槌輕敲一下就要使這些砂子上下活潑的跳躍。“聲音”，以及任何種類有害的“音”，叫做“噪聲”(Noise)，通常係由相當的振動的物體生出，例如提琴或鋼琴的琴絃，喇叭的空氣柱，音叉的叉股，鈴的邊緣，鑊鈸的片之類。沒有振動的物體，就沒有聲音！

介質(Medium)

“聲音”從“振動器”(The vibrator)到“接受器”(The receiver)，就是人耳，通常係藉它們中間的“介質”傳送；這種“介質”以空氣為最普通，有時一種如像水的液體，有時一種固體棒甚至地面都可作成“介質”。從玻璃罩內用一橡皮帶懸著的一個作聲的電鈴發出的聲音，當空氣從玻璃罩內漸被抽出時候，就要現出漸變微弱的情形，因為在鈴周圍就不再有空氣將聲音向外傳送。

聲音的速度 (Velocity of Sound)

“聲音”在空氣中有一個速度，這可以由“聲音”進到牆邊再由牆邊反射回來在觀測者心目中成爲一個“回聲”(Echo)所需時間的測算證明。牛頓在劍橋三一學院(Trinity College, Cambridge)的奈維爾廣場(Neville's Court)做過這樣的一種測算。我們容易測算出看見一個遠處發礮的閃光以及聽得發礮的聲響中間的時間。用這段測出的時間來除礮和觀測者的距離，就得出在空氣中“聲音”的速度。就在百分零度(32°F.)乾燥的空氣說，速度就是每秒1,093呎(332.4米/秒)。速度會隨溫度起一種增減，但是氣壓計的變動卻沒有影響，因爲照“波義耳定律”，空氣的壓力和密度成等比例變化。在10°C. 速度是1,110，而在30°C. 就是1,148呎/秒。如果電光一閃，五秒鐘後聽得雷聲，那麼電光離觀測者最近有5,500呎，或即1哩將近。雷聲延遲有兩個原因：這閃電光也許一哩這樣長，它的最遠點也許比最近點遠得多。山，林和雲等方面都也有回聲作用。如果兵士在和觀測者相距若干遠的地方，一分鐘120步正向前進，看起來他們的步伐好像

並不和鼓的敲擊相應。但是，如果他們是在 550 呎遠的地方，看起來他們將像正在踏足；不過現在看起來似與鼓擊相應的卻是左足，而不是右足。

“聲音”能用一面鑼或一只鈴，擊以錘，在水中造出；或用在一個規定時刻在水面下爆發的炸藥做出，如是一個在遠處的觀測者能夠用一只大“傳音筒”(The ear-trumpet) 插入水中傾聽，和測算時間間距。因為水有顯著的彈性和中等的密度，“聲音”在水中經過極遠的距離，一秒有將近 4,700 呎，或較經過空氣約速四倍半的一個速度。海水較淡水彈性大百分之 8，密度大百分之 3，因此速度在海水內較在淡水內大，將近 4,900 呎一秒。這種速度經過固體較經過空氣高許多倍；例如，鐵 15 倍，銅 11 倍，槲木 10 倍，樅木 14 倍，鉛 4 倍。由花崗石的爆發發生的“聲音”速度是 3 $\frac{1}{2}$ 哩一秒，而地下層的爆發的“聲音”速度則每秒約為 4.8 哩。

聲波(Sound Waves)

當一個振動體來回擺動時，它更迭的將附近的空氣從它推開，而造成一個在裏面空氣被周圍的壓力推回的

局部真空。類似的運動施到連接的各層空氣方面，所以不僅這個物體在來回擺動，並且連它周圍的空氣也在振動，而且有相同的週期性(The periodicity)。因此，如果一個音叉的叉股一秒鐘做成一種完全的來回振動 256 次，那麼環繞音叉的空氣一秒鐘也來回振動 256 次。這樣的一種“頻率”(The frequency)或“旋距”(The pitch)叫做 256 週(Cycles)一秒，而“週期”(The period)是一秒鐘的 256 分之一。“聲音”將以同一“頻率”從牆壁，地板和頂板回響，並且由振動的空氣，將使耳鼓以同一“頻率”振動。再進而到腦以及到理解的和注意的心靈方面，這是一個極有趣而又極困難的，物理學，生理學和心理學共同有關的問題，但並不在本書範圍以內。所以說物理學不論何時都可以將“我聽”這句話的充分意義說明，這是不足憑信的。

“頻率”(Frequency)不應和“強度”(Intensity)相混，這是從擺動的“振幅”(The amplitude)方面得來的。更加用力敲鼓，或用力拉提琴琴絃，就得到一種“強聲”(Loud sound)。如果絃在一個定點來回經過 $\frac{2}{10}$ 吋，那麼

“振幅”在那點就是 $\frac{1}{10}$ 吋，或擺動的闊之半。

波(Waves)

“波”有許多種類：“可見的”(Visible)和“不可見的”(Invisible)，“橫的”(Transverse)和“縱的”(Longitudinal)，“物質的”(Material)和“以太的”(Aethereal)；“聲波”(Sound waves)，“水波”(Water waves)，“光波”(Light waves)，“震後潮汐波”(Tidal waves)，“無線電波”(Radio waves)等。就大體來說，共有兩大類，藉物體來傳送的波(Waves conveyed by matter)同“電磁波”(Electromagnetic waves)是。

“聲波”，不論在空氣，液體或固體內經過的，都屬於“縱波”(Longitudinal waves)一類。運動的物質正沿“聲波”在運動的方向或線來回振動。可用幾個象牙球懸吊作一排，而碰撞末端的一個球。碰撞被從這球傳到那球，最後到另一端的一個球突然躍起。如果一個音叉被振動，持在一支玻璃管的盡頭，這時候將有一種“聲波”流到管內的空氣。並不是空氣都被逐進管內，但是卻將有以一秒1,100呎的一種速進行的“稠密區”(Condensations 即空

氣被壓緊的地方)和“稀薄區”(Rare fractions 即空氣較平常稀薄的地方)。在正依來回運動的一支振動的音叉又股生出這些連續而活動的稠密區和稀薄區。一個波在空氣中的長是從一“稠密區”到貼近的另一“稠密區”，而在有一秒 256 週的一種“頻率”的音叉方面，波長是，並且常是，速度除以頻率，即 $1,100/256$ ，或將近 4 呎。這種“波長”(The wave-length)係由音叉的頻率所生，而與關繫“響度”或“強度”的音叉擺動的振幅無關。

水波

在此可以說，海的波是橫的，或與波的運動方向成直角。在有波的海上，一隻小船大半上下運動，不過也有相當程度的一種來回的水平運動。水的質點有和這隻船類似的運動。波向前進，而質點卻上下運動，或者更加確切點有一種卵圓形或橢圓形的路線，以大的長軸向上，而短軸水平，直對著運動的波的方向。可以說，“相”(The phase)在前進而不是水在前進，在此這個難認的字眼“相”表在時間以及在空間方面都是連接不斷的“動態”(The state of change)。一個波的顛剛向下降，一個波的

尾方向上昇，在時間，亦的質點就迅速的向上或向下運動。如果將“上下”字眼換成“來回”，所有這段說明在“聲波”方面也是真實的，不過另外將“頭”換成“稠密”，而“尾”換成“稀薄”就可以。

沿弦的波(Waves Along Strings)

如果有一長索或帶，遠的一端縛牢，近的一端握在一個人的手裏，用他的手迅速的與索成直角來回運動，他能夠做成人目可見的沿索移動的“波”。他能夠看見這些波。他能夠測算它們的“波長”(Wavelength)，“頻率”(Frequency)，和“振幅”(Amplitude)，和“速度”(Velocity)。這類“波”明顯是橫的，並且它們沿索運動，但是弦本身卻並不前進。他拉弦愈緊張，波前進益迅速；索愈粗大，波的速度益細微。

駐波(Standing Waves)

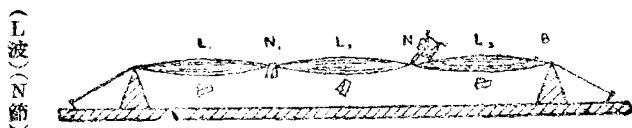
當湖上的波碰一座直聳的堤壁時候，這類波被碰重新折回，而與正在前進的“波”造成種種的奇景。專門的術語對這個，不過卻稍易引人誤會，叫做“干涉”(Interference)。如果兩個相等的“波峯”(Crest)相遇一處，它

們就造成一個“雙波峯”(Double crest)。如果兩個相等的“波谷”(Trough)會於一點，它們就造成有兩倍每一個深的一個“波谷”。“振幅”相等的一個“波峯”和一個“波谷”彼此相消，結果就沒有“振幅”。有時在海中，兩組“波”正成直角前進，所謂的“干涉”就產生出一種“龜裂形狀”的海面。

再提到人和索的一個例子，他能夠沿索盪出一些“波”，這些波又從遠端折回，只要索在那裏縛牢在一個沈重的或固定的物體上面。一個有學問的觀測者將注意到在遠端的“相”的一種變化。如果波是在一垂直平面內上下，他將看見一個凸波折成凹波回來，又一個凹波折成凸波回來。其次，他能夠減少他的手的擺動，直到索上的波減少至半個，最初完整時係向頂板擺動——現在卻改而向地板擺動。慢慢地將他的速加倍，他將在他的手和遠處的支柱中間得出一個“全波”。並且他能夠繼續做去，慢慢地加到三個“半波”(Half-waves)，兩個“全波”(Complete waves)等。這些都屬於“駐波”一類，在這裏，回的波和來的波彼此干涉有相當的妥切。

弦 (Strings)

所有這些實驗可用一提琴琴弦 (第十九圖), 或用任意這樣的弦張緊在兩個固定而且沈重的木樁上重復做出。用一隻弓在這種琴弦上, 最好接近一端, 着實的而輕和的拉一拉, 整個弦將振動而成一種“半波”。再做這個實驗, 不過用手指或一片鳥羽輕觸弦的當中, 就會有兩個“半波”。在距離一端相當弦長三分之一的一點用指輕觸, 就有三個“半波”。這時候將有三點“振幅”最大, 叫做波腹 (Loops); 除兩端外, 兩點靜止不動, 叫做波節 (Nodes)。一段“波長”並不是從“波節”到緊接的“波節”, 因為那只是一半“波長”。如果在任何時刻, 在任何“波腹”, 弦正向着我們運動; 那麼在緊接的“波腹”在同一時候, 弦的運動方向正與我們相反。所以, 從“波腹”到緊接的“波腹”只是



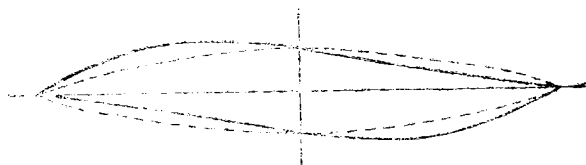
第十九圖 共振板

當在 A 處用弓拉, 波腹處而非波節處的紙折紙騎被拋出。

一半“波長”。“波腹”有時叫做“反波節”(Antinodes)。在第十九圖內、用紙做的輕騎在“波腹”就被翻下，但在“波節”卻仍保持它們的位置。

諧音(Harmonics)

假使一個提琴師拉他的樂器的一根弦，使它一秒鐘生出 500 次振動的一個“純音”，這時候的弦就在 500 分之一秒全部來回運動一次。它也許曾經在這種主要的或基本的“頻率”上面，重添上另一種一秒鐘 1,000 次振動的“純音”(第二十圖)。這根弦立刻能夠具備兩種振動，因為它能夠這樣敏捷的分成基本波的 1, 2, 3, 等倍的“駐波”。具有這種簡單的關係——兩倍、三倍，主要或基本“純音”——的高“純音”叫做它的“諧音”(Harmonics)或“泛音”(Overtones)。正就是這些“泛音”，給一個純音的性質叫做音色(Timbre)。一個純正的純音是不中聽的，



第二十圖 振動的弦 基本的和諧的。

好像蒸餾水不中喫一樣。正就是各種“振幅”的許多“振幅”，給予一個管弦樂隊各種樂器性質；不過它們卻可以奏出“音調”或“頻率”相同的一個純音。這無數的“泛音”和其他補助的關係使我們立刻能辨認朋友的聲音，在他用電話對我們講說的時候。

在“音調”和“頻率”中間也可以有一種分別，不過這卻近於造作。“頻率”指一種數目(Number)，通常就是在一秒鐘內振動的數目。在音樂上“音調”是“音尖銳或沈重的程度”。

管(Pipes)

當使一個管內的空氣起振動時，聲音——“噪聲”或“樂音”——就從管發生。如果一個細小的煤氣頭正在一個玻璃管或煙管的下端（管兩端都開著）燃燒，空氣有時將起振動並且控制燃燒著的火焰，結果使它和管作出的音調也成合拍的聲音。通常多用“風箱”（Bellows），如風琴或風笛等類都是，這保持著一定的空氣流過一個“連通管”（Connecting tube），由此達到風琴管上的一個孔口，而因孔口的一個薄唇順次將空氣分開以及使它起“振

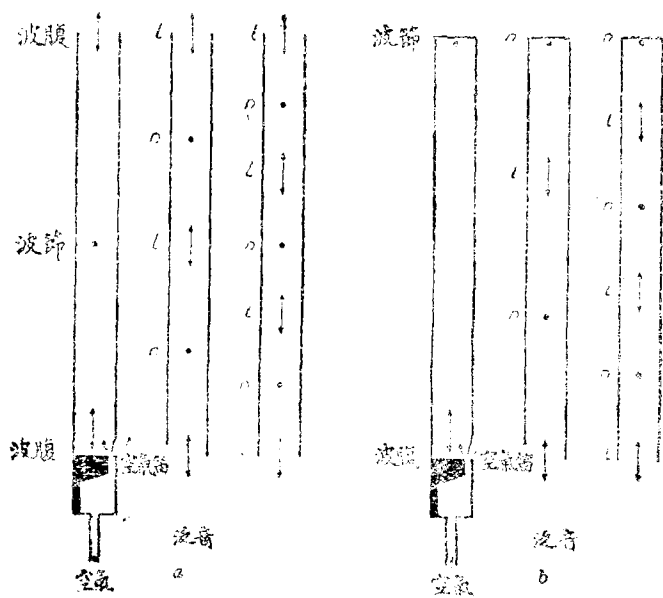
動”。風琴管內的空氣差不多立刻就開始振動並且影響這個“振動”的“週期性”，這就聽得管的主要的或基本的“純音”。

開端管(Open End Pipes)——(開管)

在這類管的兩端(第二十一圖 *a*)就是最大的振動，或“波腹”；然而在中心，空氣並不振動並且有一個“波節”。沿管內空氣先向內，繼向外，不斷的自“波節”來回擺動著，使壓力在那裏也在變動著。空氣在一個風琴管內的振動和一根張緊的並且振動的弦類似；不過最顯著的區別是，空氣在管內係沿管在擺動，或者說沿縱的方向，而弦的物質係沿橫的方向振動。

“純音”的“音調”以“頻率”計算，然而“純音”的“強度”則受振動的“振幅”所支配。一個“低音”(Bass note)係有低“頻率”的一種“純音”，一個“最高音”(Treble note)有高“頻率”。一個波的長度通常是兩倍從“波腹”到緊接“波腹”的長度，所以一個“開端的”風琴管的“波長”是管的長度的兩倍。實在 $l = 2d$ ，這裏 l 是“波長”而 d 是“管長”。

在應該有“波腹”的兩端間，也可以有具 2, 3……個“波節”的“諧音”。由圖立刻就可以看出，管的長是 1, 2, 3, ……倍“基本音”和它的“諧音”的半“波長”。如果“基本音調”是 200，那麼“諧音”將是 400, 600, 800 ……同時這些都能夠像“基本純音”一樣可以查出。



第二十一圖 風琴管，開閉兩種。

閉端管(Closed End Pipes)

如果一個管的上端(第二十一圖 *b*)被塞緊,這個端就變成一個“波節”,而下端就是一個“波腹”,如此管現在就是波長的四倍,又因為在開閉兩端間能夠有 1, 2, 3, … 個“波節”,由是就明白,管的長度是一端閉塞的管的“基本音”和“諧音”四分之一“波長”的 1, 3, 5, … 倍。

例如,假設有一管 3 呎長,而聲音的速度是 1,080 呎/秒,那麼閉端管將有“頻率”每秒振動 180, 360, 540, 720 … 次的“波長” $6, 3, 2, \frac{3}{2}, \frac{6}{5}, \dots$ 等呎。同一 3 呎管,一端閉塞,將有“波長” $12, 4, 12/5, 12/7, \dots$ 等呎長,又對應的“頻率”就是 90, 270, 450, 630, … 等。我們將注意到,這些是 1, 3, 5, 7, … 等所有奇數的九十倍,同時開管有 1, 2, 3, … 等奇偶交迭數的 180 倍的“頻率”。

波的一般理論

在所有“波”方面,明白的,“波長”等於振動的“週期”乘以波的“速度”,因為在那段週期時間內,恰已前進一“波長”。再者,週期(Period)乘以頻率(Frequency)通常等於一,或即一個是另一個的倒數。如果在—秒鐘內,四

個水波經過我們面前，那麼波的“週期”就是一除以四，或一秒的四分之一。這段冗長的解釋可以縮短，成爲 $l = vp$ ， $lf = v$ ， $p f = 1$ ，在這裏 l 代表“波長”， p 代表“週期”， f 代表“頻率”，而 v 代表波的“速度”。這些簡單的關係對於各種“波”方面都成立。

口聲 (The Voice)

在許多樂器，簫笛，風笛，橫笛，小銅角等等，都在管筒上有許多小孔，可以用指按住或塞住。這種的“音調”或“頻率”係被在“接口管”(The mouthpiece) 處的孔和最近開著未按住的孔間的距離所支配。有些樂器，如像大銅角之類，“音調”係受唇所支配，而這個樂器的其餘部分是一個“共振器”(Resonator)。人的“口聲”也有一種類似的情形，在這裏一個婦人或一個兒童緊張的“聲帶”(The vocal cord) 生出一種“高音”(Treble voice) 或“女高音”(Soprano voice) 或“女中音”(Alto voice)，而一個男人欠緊張的“聲帶”生出一種“男中音”(Tenor voice) 或“低音”(Bass voice)。再用口腔作成“共振器”使音調充足，以及由舌，齒等項加以微細的改變，而成“唇音”(Labial

sound), “齒音”(Dental sound) 和“鼻音”(Nasal sound)。

培養一種充足而且娛耳的“口聲”，這對於所有的人們和對於聽這種“口聲”的人都極重要。這不僅是說甚麼或唱甚麼的一種問題，而且是怎樣說或怎樣唱的一種問題。每個人(此處的“人”兼指男女而言，餘亦仿此)生來就賦有各種樂器(或有的)最精巧的，各種聲器最敏銳的，以及各種光器最完全的；可是奇怪得很，許多人竟遺忘這些最寶貴的天賦，而被某種究竟仍賴耳目表現的機械發明所眩惑。

拍(Beats)

如果一個音叉的兩股塗上一些軟蠟或別種物質，運動的震量將被增多，但是由鋼的彈性而生的運動力沒有變動，由是音叉將振動較緩。如果有兩個音叉，置在一端開著的兩只相配的回聲或共振箱上，並且如果一個音叉正在做一秒 256 次的“振動”，而另一個塗蠟的音叉係 255 次，那麼當兩個都在作聲的時候，將聽到“強度”(第二十二圖)的一昇一降。隨著音叉進出“音級”(The step)，“響度”(Loudness) 每秒將有一次增加和一次減少。這些



第二十二圖 兩種振幅相等而波長和頻率不等的波干涉或“拍”或“拍”，生出粗曲線所表的不同振幅。

“漲落”(The fluctuation) 通稱為“拍”(Beats)。255 次和 254 次的，或 256 次和 253 次的振動一秒鐘將生出兩“拍”。這種“拍”的原理在調諧風琴或鋼琴上最有幫助。只有當“拍”是無限長時，纔是兩個音調諧。赫爾姆霍斯(Helmholtz) 指點出，兩個不諧和的音調因有“拍”在它們的“泛音”中間，所以會不中聽。其實兩個有力的而且急劇的發生拍的音調不僅不中聽，抑且真正刺耳。

共振(Resonance)

如果置一個音叉在一高玻璃柱上面，在玻璃柱內緩慢的用水注入，在容器的頂和水的頂中間將有一段深，使音叉聲音特別響亮。如果“音調”是 550，而聲音速度是 1,100 呎/秒，那麼聲音的“波長”將為 2 呎，並且在水面約在玻璃柱頂下 6 吋，或一“波長”的四分之一時候，將

有“共振”出現，當在容器上面的叉股向它送下“碰撞”的振盪時候，空氣也向下流動，當叉股向上運動時候，空氣也竟向上躍回；並且當有“共振”時候，這種經過繼續不斷。所以，對 550 “音調”適當的“共振箱”也將是 6 吋左右長和一端開而一端閉的。一個鋼琴的“共振板” (The sounding board)，一只四絃提琴的腹，一座留聲機的喇叭以及一付微音器 (The microphone) 的盤能夠對一大列“音調”響應，或生出共振。考查振動可將幾塊板夾在剛性的直豎的樁的中心，而用一提琴弓在它們的邊緣拉拉。板上撒一點細砂和石松粉 (Lycopodium powder)，砂礫將從“波腹”向上跳躍以至停到“波節”，同時石松粉捲在空氣流動的旋風內，會被帶到“波腹”。

鈴的振動以及它們的運動的“波節”和“波腹”的研究尤其是有趣的。

桿 (Rods)

如果一條直徑將近 $\frac{1}{2}$ 吋長 4 吋的黃銅桿在它的正當中被很緊的夾著，並且用塗有松香的羚羊皮從桿中間向外用力磨擦，這時候這條桿將起縱的振動而發生一種清

晰的高音。當中是一個“波節”，兩端是“波腹”，“波長”是桿長的兩倍。這是對黃銅中聲音的速度講，而不是說空氣中的速度。這兩種速度之比將近是 10 對 1。所以黃銅中聲音的速度是 11,000 呎/秒；並且如果黃銅內波長是 8 呎，那麼從黃銅桿生出的純音的頻率就是 $11,000/8$ ，或 1,375（見第二十三圖）。



第二十三圖 共振管

如果黃銅桿端的一個活塞被放在一支玻璃管內，但並不和管壁接觸，在玻璃管另一端塞有第二個活塞，其間可以有一種隨意變化的長度。並且如果玻璃管內裝有纖細的軟木屑，它將停止在那個管內振動空氣的“波節”處。這些“波節”的面積將為黃銅桿內“波節”距離的十分之一，因為這個比例就是空氣中和黃銅內聲音速度之比。所以“波節”，即軟木屑所聚處，將相距 4 呎的十分之一或 4.8 吋遠。改換桿的質料，或改換管內的氣體，可以求出

在所用桿內，或在所納入的氣體內，聲音的速度。

超聲(Supersonics)

我們能夠造出與“聲音”類似但有一種更高的週期性的振動，如是對於人或動物的聽官方面都不生效應。從石英的一方結晶截取一塊適當的板，對板的兩面用平滑的金屬板壓緊，更將金屬板順次聯到一個高頻率的交流電源上。變動著的“電荷”造成石英迅速的伸縮。在水中，這種振動將殺害較小的魚類；在牛乳中將有滅盡微生物的效用。從這種“超聲”(Ultrasonic 或 Supersonic)的發明生出的振動可以利用來從船的船殼直向海底發出，由此得到海底的聚集的回聲，如果測出這回聲的時間的“落後”(Time lag)，便可以推算出海的深淺。

都卜勒效應(Doppler Effect)

如果一個觀測者正向一個聲源前進，或者如果聲音正趨近觀測者，每秒鐘進入他的耳裏的波的數目就必須有一個增加。所以，“視音調”(The apparent pitch)的升降視趨近和遠離為轉移。當一個機車引擎的汽笛聲或一座雪車的鈴聲正連續急遽的傳到聽者耳裏時候，“音調”的

這種變化顯是一種普通的經驗。當火車正在趨近的時候，“音調”顯然更加響亮或尖銳，到經過以後，“音調”顯然漸漸降低。這個重要的原理是都卜勒 (Doppler, 1805--58) 的發明，船與水波相碰，星光向我們射來的各種現象都有這原理存乎其間。“頻率”變化的大小與距離無關，並必定包含真正的“頻率”，波速度，和趨近的速度。例如，如果聲源正以 100 呎/秒速度趨近，如果聲音速度是 1,100 呎/秒，又如“真正音調”是 600，那麼“視音調”就是 660，因為應該估著 1,100 呎，即 600 的波被縮短，顯成爲 1,000 呎，由此纔達到一秒鐘 660。

音樂 (Music)

“音樂”是“注意於格律的美妙和情緒表示相結合的一種聲音的藝術。”這種審美的努力有賴於聲音的調和，這在相當的範圍有一種物理學的根據。以及聲音的順序 (The sequence)，如“曲調”(The melody)，但是一種比較深奧而令人生快感的東西。“聲音”也許是振源方面的，或是傳遞的介質方面的，或是收受聽器方面的，或是理解和鑒別的心靈方面的，在所有這些解釋的上面，就有一

種音樂的精神。

“和聲”(Harmony)必須和音符的調和(The blending)同時合拍,“曲調”必須和一種有意味的聲音的連續(The succession)合拍,節奏(Rhythm)必須包含由多寡變動的音符的期間(The duration)造成的格式。

第一個將“音樂”開始和“物理學”連繫的是畢達哥拉士(Pythagoras);將近在公元前 550 年,他詳知娛耳的音符間有簡單的數目表示的關係,這在我們近世之中是尋不到的,隨意在一座琴上面擇定一個音符,最好就擇一個白音符,它的“八音度”(Octave)是右邊第八個白音符,它的“五音度”(Fifth)是右邊第五個,由此類推。現在事實是,高音符(八音度)的弦振動比所擇音符的弦快兩倍。它們的“頻率”成 1 和 2 之比,而它們在空氣中的“波長”成 2 和 1 之比;這樣也或許就是振動弦的長度。同理,這個音符和它的“五音度”有 2 與 3 的簡單的“頻率”比或“音程”(The interval),與“大三音度”(The major third)成 4 與 5 之比,與“小三音度”(The minor third)成 5 與 6 之比。赫爾姆霍斯查得有這樣簡單關係的兩個音符當然可

以免除這類集在一起生出惹厭的“節拍”的泛音。

全部“自然音階”(Gamut, 或 Diatonic scale) 可以表爲：

音	Do	Re	Mi	fa	Sol	La	Ti	Do
字	C	D	E	F	G	A	B	C'
比率	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
相對的振數	24	27	30	32	36	40	45	48

在任何樂器上應當可以擇定任一音符，而得到如剛纔所說的，在音階上無論高或低，這樣按一定比例的“音符”。一個優良的提琴師或一個名歌者都能辦到此層。鋼琴或風琴，並不能供給足數的弦或管，而不可少的音鍵盤(The key board) 爲數又過鉅並容易混淆。所以纔另增額外的五個黑音符，連“八音度”合成 12 的一個總數。“音級”或“音程”都一律被截長補短，因此這種格式得名爲“等程音階”(The equal temperament scale)。如果“音級”或“音程”值爲 x ，那麼 12 個這樣的“音級”應等於 2，或

$$x^{12} = 2;$$

$2^{\frac{1}{12}}$ 就等於 2 的十二次根。現在 2 的十二次根等於 1.059，這是在全部“半音程”(The semitone interval) 上都是一律的。至於說到選作鋼琴的中部 C 的基本音符，它曾有過一段混亂的歷史。韓戴爾 (Handel) 的中部 C 是 499 前後；在 1834 年斯圖嘎得集會 (The Stuttgart Congress) 決定用 528，音樂會“音調”是 638，意大利樂劇是 546。它到達愈高，則作女高音或男中音的高音符也愈加粗獷。

物理學家就已經竭力避免這層麻煩，而擇 256 和 512 來作他們的“Do”或 C，和它的“八音度”。

再生作用 (Reproduction) 的實踐

在一個“留聲機”(The gramophone) 方面，附在一個“膜片”(The diaphragm) 上面的一個尖針在蠟上刻出“紀錄”(The record)，再由“電解方法”(Electrolytic methods) 得成一種有倒轉的再生作用的硬橡皮 (Ebonite) “傳真片”(The facsimile)。在有聲電影方面，從一個受“微音器”(The microphone) 變化的光源，得成一種照像的“紀錄”；他日再由光的變化影響一只與一“揚聲器”(Loud speaker) 相連的“光電管”(The photocell)，使再

生作用出現。現在，並不要讀者牽涉到各種奇巧的力學的和電學的器械。值得注意的事實是，日聲和音樂能夠沿直線，藉無線電和經由空氣傳送，與原來的樣子差異極微，差不多已經做到忠實的再生的地步。

分貝耳 (Decibel)

如果一間屋內有一支燃著的燭，然後另燃著一支燭，眼睛立刻就發覺“照度”(The illumination)的這種改變。如果30支燭在放光，而再多燃一支，眼睛通常就不能發覺“照度”方面的這種改變。在聲音方面，也可以做出與此類似的說法。兩個人在同時談話比較一個人單獨在說話容易被發覺，但是31個人和30個人比較卻不容易了。用比率以比較差異更加重要！在物理學方面以瓦特計算強度(The intensity)，成10與100與1,000之比的三個“聲源”在與它們都成等距離的聽者耳裏，彷彿就有約當於1與2與3之比的一種生理學方面的響度(Loudness)，這個比例就是前邊所說的數目10, 100, 1,000, 的對數或10的乘方的指數。這是一種更較普遍的生理學關係；效應與原因的對數成比例。從前已經能夠

發明響度的一種標準或等級，叫做——“貝耳”(Bel)。一個聲音 A 在響度方面較另一個聲音高一“貝耳”，就是當 A 計成瓦特的物理的強度相當 B 的強度的十倍時候。“貝耳”再被分成十個不相等的階段，每個叫做——“分貝耳”(Decibel)。如果有兩種計為每平方厘米若干瓦特的強度 I_1 和 I ，而 $\log_{10} \frac{I_1}{I}$ 等於十分之一，這時候由 I_1 來的“響度”就比由 I 來的響度大一“分貝耳”。這是響度的差！這段話不見得再可以刪除，所以最好我們就將“響度”的一種等級定成下面的樣子。習慣上係從有這樣令人驚異的低強度——即在 10^{10} 平方厘米，或將近一百萬方公里地面播散 4 瓦特的強度——的最低能聽得的噪音開始。在下表裏面的數字顯然只是近似值。

“響度”的等級

比率	分貝耳	聲源
10	10	沙沙作聲的樹葉，柔和的風。
	17	輕聲的密談，相距三呎。
100	20	通常的密談，相距四呎。
1,000	30	寂靜的街衢。

$10,000$	40	在家中無線電廣播時。
$100,000$	50	緊談。
10^6	60	熱鬧的商場。
10^7	70	打字辦公室。響雷。
10^8	80	高架鐵道。
10^9	90	氣力鑽孔器。獅喊。
10^{10}	100	特別快車, 12 呎外。飛機。
10^{11}	110	四個人錘擊鍋爐鋼板時。
10^{12}	120	不算聽而算受痛苦時。

如果就兩個“聲源”來說, I_1 和 I_2 是表成“分貝耳”的知覺的“響度” L_1 和 L_2 是表成 (瓦特)/(厘米)² 在耳裏的對應的強度, 這就總是

$$L_2 - L_1 = 10 \log_{10} I_2 - 10 \log_{10} I_1$$

驗音盤 (Sirendisk)

如果使一有 150 齒的齒盤一秒鐘旋轉四次, 另持一紙片而使它照一定的順序被齒碰撞, 這時候耳裏就聽得一秒鐘 600 次振動的一個音符。變換輪速, 可以隨意將“音調”變化。如果在盤上各處鑿成若干等距離的孔, 並且如

果用一管嘴繼續不斷吹送空氣或水汽，這時就聽到一個音符，這個音的“音調”就等於孔的數目乘以每秒旋轉的次數。每天黎明喚人上工的汽笛有時就是這類“驗音盤”。

發聲體 (Sounding Bodies)

所有剛體都有各種可能有的振動，與它們相伴。用一枝平常的鉛筆，一端握在手中。用鉛筆適當的地方敲擊桌邊，我們能夠譜出歌曲來。玻璃杯盛水，當輕敲杯側時候，會隨玻璃杯內水的深淺而發出不同的音符。八段材料相同而且同長和闊的木塊，只要它們的厚準備得很適當，就可以生出一個“八音度”的所有八個音符或音階。按照順序或按和音，使這八段木塊落到桌上，我們就會看到這種事實。一本書或一張報紙可以和某些響亮的音符相合而起振動，並且這種振動能用手指探出。如果“聲音”使頭的骨起了振動，它們也能夠達到腦裏。

靈敏焰 (Sensitive Flames)

如果可燃的氣體在充足的壓力下通過一個長的直管，然後升到一個末端為一細管嘴的玻璃管，那麼當在管嘴點燃這種氣體時，火焰是長而且穩定的，除非有如嘶

聲，嘯聲，腳擦地板，或鑪匙叮當一類的“噪聲”，又當別論。一只“音調”可以矯正的高爾敦警笛也將刺激火焰以致於短縮搖曳成一種非常的樣子。

聽程 (Range of Audition)

這種火焰將指示出有人耳難以查覺的高“頻率”的超聲波 (ultrasonic 或 supersonic wave)。婦女普通能聽到男子聽程以外的音符，青年通常又較老年有一個更高的聽程。據說，犬比較人能夠聽到更高音調的音符。蝙蝠，鳥，鼠和蚱蜢發出人聽不出一種超高“音調”的呼喚。關於人耳聽到的最高音符的正常值方面，現在仍不能十分確定，大概平均最大值將近 20,000 至 25,000。同樣情形，關於低極限方面也有相當的疑問，這大概是在 15 左右，因人而有很大的差異。雖然眼睛只能明瞭一個“八音度”的一種聽程，耳能夠查得十一個“八音度”的一種聽程。眼不能夠分析色。一隻有素養的耳能夠聽出一個“管弦樂隊”所有的音符以及它們的基本音和許多的諧音。耳，腦和智慧合作的分析能力在人生經驗上是無與倫比的。

樂器 (Musical Instruments)

弦樂器有用手彈的，如像豎琴，六絃琵琶和月琴等是；有用弓拉的，如像提琴，胡琴以及大提琴等是。在鋼琴上面，當指頭彈動“靈動的機件”時候，槓杆推動有墊的小錘向前碰撞琴弦。在小風琴(The harmonium)和手風琴(The concertina)上面，用空氣使金屬簧振動，不過不像在風琴方面尚有“共振管”(The resonance pipes)。笛有一個管而無簧，係在一個小孔處吹它。又有用竹，木或金屬做成的簧或振動片，連上圓錐形的木管，如笙，古代歐洲的簫笛，英國所用的喇叭和立笛；還有用直管如像銅簫是。

銅樂器都有向內凹的接口管，而人的兩脣也有簧的作用；例如大銅角，小銅角，軍號喇叭，大喇叭以及許多用指操縱隨有效長度的變化而變換音符的這些樂器。此外有鼓，蘇鼓，鑊鈸，三角鈸，鈴，口風琴，猶太豎琴，盤笛等類樂器。而風笛和撒克遜笛也叫做樂器。人類的“口聲”按照它的自然音調可以成“女高音”，“女下中音”，男中音或低音等。

第八章 磁學

磁體(Magnets)

磁體就是磁石，今天不難用極廉的價購得一塊棒狀或馬蹄形的小“鋼磁”(The steel magnet)。這塊“磁體”可以吸取縫針，小刀，鐵釘或鐵屑；但是對於許多物質如銀，銅，金，玻璃，木料等卻看不見有這種效應。一個例外是實際上係用鎳造成的小角，也容易被“磁體”吸取。

造磁(Making Magnets)

一個奇異的事實是，一塊“磁體”可以用來隨意造成許多“磁體”。只須用這塊磁體的一端，對每顆縫針從頭到尾輕輕碰過。原來的“磁體”照常完好，並且它未曾損失甚麼，然而我們現在已另有不少的“磁體”！在碰撞工作裏面，必須作相當分量的“功”，一部分的“功”就被用做使針磁化的“能”。將幾顆這樣的針按不同的位置放在一張紙下面，並在紙上遍撒鐵屑，我們容易看到與鐵屑想使自己所循的方向相反的一些“磁力線”(The lines of magnetic

force)。這些線大半彷彿都從這個“磁體”的近端或他端發射出來，這兩個點就叫做極(The poles)。

去磁(Unmaking Magnets)

在使一顆縫針變成一個“磁體”以後，倒轉的手續就不是這樣的容易。有的磁性可用猛烈的震盪和用錘擊移去，但是使磁針加熱差不多到白熱點卻是最有效的方法，不過一部分“鍛性”將從鋼裏面失去。

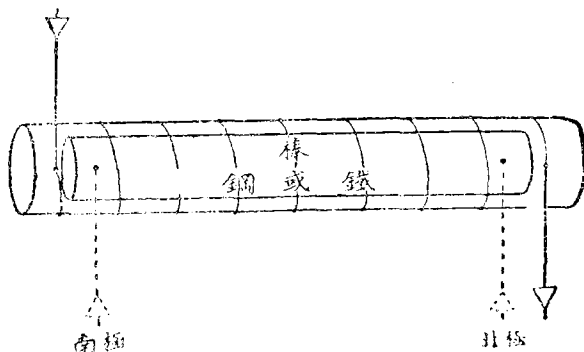
分裂一個磁體

如果一顆縫針被磁化而成每端有一磁極，那麼當用一付鉗悉心的將它斷開時候，將有兩段，每段都容易證是一個每端成“極”的“磁體”。這個手續可以重復使用，而得出四個，八個，等等小“磁體”。到甚麼地方這個手續纔停止呢？根據學說方面，一段鋼或鐵係由無數小部分或分子(Molecules)做成，每部分自己就是一個小“磁體”。使這些小“磁體”都對一個方向時候，它們的共同的效應就是所見的磁性。在鐵方面，用一個“磁體”幫助，這種定向手續很容易辦到，這種手續可用一個最常用的字眼叫做感應(Induction)。軟鐵不能保持這種效應，但鋼卻富於頑

磁性(Retentive)並且趨向永遠保持著磁化。最顯著的實際就是有幾種“合金”(Alloy),特別是霍歐士勒(Heusler)發明的一種。這種“合金”係由銅,鋁和錳所合成。這三種金屬每一種都是不含磁性的,但是在適當的比例,它們的“合金”或許比較鎳或鈷還富有更強的磁性。

磁和電(Magnetism and Electricity)

如將絕緣線的一個長“線圈”(Coil)——或“螺線管”(Solenoid)——纏繞連到一個“電池組”(Battery),如是一個電流可以繞過線圈所有的捲(第二十四圖),那麼線圈內沿圈長方向放著的一顆縫針將被磁化。如果驟然將電



第二十四圖 以電流磁化一條棒的“螺線管”或長線圈。

流改變，使它先沿一個方向流過線圈，然後再沿另一個方向流過，就看到這個針磁性差不多完全失去。假設我們表裏的鋼已被磁化，臨近一個“發電機”(Generator)能夠有這種現象，那麼表就會停止。當然這就不希望用前邊提示的震盪，錘擊或熱到灼紅，以去它的磁性。最好就將它放在帶有一種“交流電”的線圈內面，這個辦法通常將可以補救這種意外。

羅盤(Compass)

如果將一根帶磁性的針用一根不至於不能回旋的細絲線平懸著，或者裝在一個纖巧的尖物上面，這根針將差不多在南北方位；在英格蘭將近偏西北 12° ，在蒙特里(Montreal)將近西北 16° ，在芝加哥，它將指正北或地理學的北極，而在北美洲的西海岸，磁針係指東北。真的或即地理學上的“北極”和“磁北極”——即由一個隨意懸吊或支架著的磁體所示的——中間成一個角度，物理學家和陸居者就叫它做“磁偏角”(The declination)，然而浮遊海上的人更加恰當的叫它做羅盤的**變更**(The variation)。在倫敦“磁偏角”曾經有如下的改變：1580年， $11^\circ E.$ ；1657

年,零; 1820年, 24° W.; 1934年, 12° W.。

極(Poles)

恆向北指的一根針端的極或尖端叫做一個指北極 (The north-seeking pole), 或比較簡短說成“北極”。另一個極叫做“指南極” (The south-seeking pole) 或“南極”。用兩個磁體做一個小玩意, 將證實同極恆相斥而異極恆相吸。可是有一點應該注意, 因為一個強磁體會操縱一個弱磁體, 恆由感應將它的磁性逆轉。兩個磁極有一個力在它們中間, 與它們中間距離的平方成反比, 同時這個力也與各極的強度的乘積有關。這種“反平方” (Inverse square) 式的定律在自然界中間是普遍的, 並且第一個牛頓就應用到“重力”方面。他說, 地球吸引月球, 以及月球吸地球, 用一個可以計為 $\frac{M \cdot E}{D^2}$ 的力量, 在這裏 M, E 是月球和地球的質量, 而 D 是從中心到中心它們相離的距離。所以在磁學上, 可以說, 強度 m, m' 而相距 r 遠的兩個極將以一個力量 $f = \frac{mm'}{r^2}$ 彼此相斥。如果兩個極開始在一個很遠的距離, 並且被迫接近到一個距離 r , 這時候能夠證明所作“功”等於 $\frac{mm'}{r}$, 不論它們臨近的路線若何; 並且

這種值叫做它們的位 (The potential), 另一個用處極廣的字眼, 這個字眼係指強使物體, 極或電荷從一個無限遠的距離到一個指定的位置所費的“能”。關於磁體間的力量, 無論傾向吸引, 排斥或偏轉, 中間有一個極完全的算學的理論。一個羅盤磁針振動的週期有相當特別的趣味, 因為每分鐘擺動的數目給出“磁場” (The magnetic field) 一個相對的公量, 急遽的振動表示一個強場。

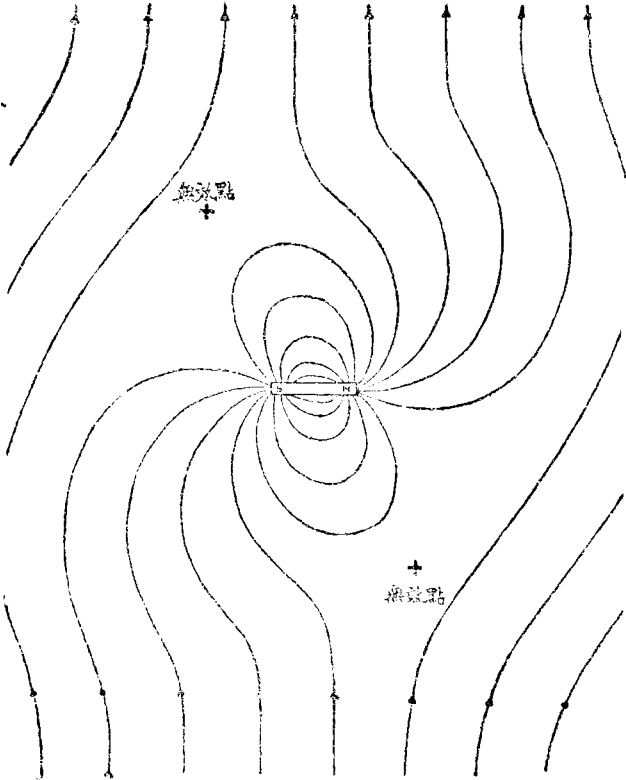
場 (Fields)

在地球的貼鄰, 墜落的或投射的物體總要回到地球。撇開重力的原因這個困難麻煩而且迄未解決的問題不論, 通常總說地球被一個引力場 (The gravitational field) 所圍繞, 並且研究在它的影響下物體的行為。牛頓發現, 愛因斯坦更加推闡, 得出引力場的性質, 就是如像由太陽, 或地球, 或月球而成的“引力場”以及它們對行星或月運動, 或對潮汐的效應。

同樣的情形, 除掉用一種電流說法, 或許就不能辦到磁性或磁力的任何解釋; 但是現在卻能決定磁化物體在一個磁體周圍的場內的行為。

地球乃一個磁體

將一條磁棒沿磁的東西向橫放桌上(第二十五圖),並用一小羅盤在紙上將“力線”從一個極畫到另一個端。



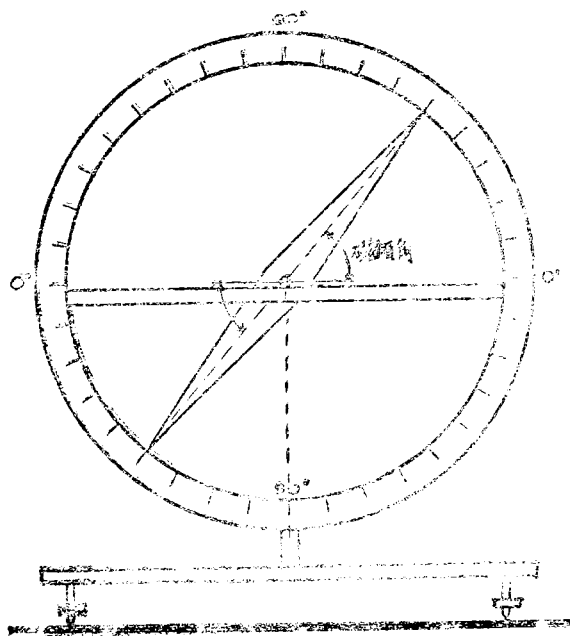
第二十五圖 東西橫置的,一個磁棒附近的磁力線。

如果用一大幅紙，我們將看見有幾條“力線”離開北極繼續向北。順它們追尋下去，我們一定會達到在北坎拿大境內的地球的磁北極！磁性羅盤應該在那裏的地球下面若干距離。所以，這些線再從這個磁體的南極繼續前進到地球的磁南極，而在下面就是磁性北極！現在值得注意的是，地球的磁性軸並不是它的自轉軸，而磁性子午線和赤道也並不是地理學上的子午線和赤道。所以關於地球磁性的來原有很大的疑問，固然可以歸根到鐵與鎳，但是地球內部溫度既如此的高，何以磁性能夠保持不變始終就難以解釋。如果一定要將磁性認做自轉的一種效應，那麼為甚麼磁極不和地極在一處呢？

磁傾角(Dip)

地球的磁力並不是一律地平，而且它卻與地平線成一種角，叫做“磁傾角”。這傾角可以用一種磁傾儀(The dip circle)來量，這有一個在磁子午線上垂直刻度的圓(第二十六圖)。在這個圓的中心，謹慎的用軸支著一個磁體，並且有一條交叉的棒和它成直角恰放在經過這個磁體的重心和對稱點的地方。這個磁體能夠在一個垂直平面

內，繞在同一水平面的“支樞”(The pivots)自由旋轉。在地球的兩處磁極，這種“磁傾角”是 90° ；在磁赤道，這種角是零。所以可以提出一個地方的“磁緯度”(The magnetic latitude)，例如倫敦，在1700年，將近 70° ；而在1934年，是 67° ，地理學上緯度是 52° 。



第二十六圖 磁傾儀。

船用羅盤

船舶的羅盤或者裝在“稱平環”上，或者用軸支著，使它一點不受擺動或傾側所影響。船舶上的鋼會永久的被磁化，並且我們知道在羅經箱附近適當地位放一條形磁（即磁棒）可以糾正所生的錯誤。船舶的鐵會有隨船舶行駛的方向而變動的感應磁性。在這類情形裏面的錯誤可用軟鐵球或棒按高度距離和方向適當裝置來補救。

一個急速旋轉，用電推動的“迴轉器”（The gyroscope）加以適當的操縱，將辨到指真的而不是磁性的北極。在這種設備中間，由擺動，傾側，加速，和改變緯度而生的種種差誤都可以不致出現。

歷史

磁性的發現與“指南石”（The lodestone 或 leading stone）有連帶關係，這是一種叫做“磁鐵礦”（The magnetite）的鐵礦，當從地中取出時候就是一種天然的磁體。這一種“石”可吸取鐵屑，針釘等物，同時別些磁體能夠用它做成。如果用一條細纖維將一塊磁懸掛著，使它不致糾纏起來，那麼這一塊指南石將直指磁北極。這種知識來

自東方，大概在十字軍時代，而傳到歐洲。航海家最初的羅盤針或許就是這種簡單的形式，所以可以說十字軍促成哥倫布等人對美洲的發現。麥哲倫(Magellan)從大西洋航到太平洋時候，他的舟子們看見磁針由西北向變成向東引起極大的驚異；無知識的人往往成爲不必要的恐懼的犧牲品。

在1600年，依利薩白女皇(Queen Elizabeth)的醫師吉柏(Gilbert)發表他的“磁體”(De Magnete)一書，這是實驗科學方面一部最初的偉大著作。這部書每冊都是有用的，並且圖解和文字兩者並皆津津有味。此外關於將這門學問和電學放在一個健全的基礎上面一層，我們或者應該對“算學家之王”的高斯(Gauss)表示一個同等的謝意。

應用

磁的特性不僅用於航海用羅盤上面來指揮海上的船舶，並且用於地底鐵或鎳的礦苗的發現。一個活動的磁傾針(The dip needle)夠作粗糙的測定，但是審慎的平衡裝置起來的磁針將測出地面下幾百呎的不少的鐵或鎳貯

量所生的磁力。因為有些岩層所含磁性物質較其他物質為多，所以有時可借一個“磁強計”(The magnetometer) 獲得地質上的情報；並且這種工具實際上已經在南美洲用作合金石英礦的探測。

第九章 靜電學

起電 (Electrification)

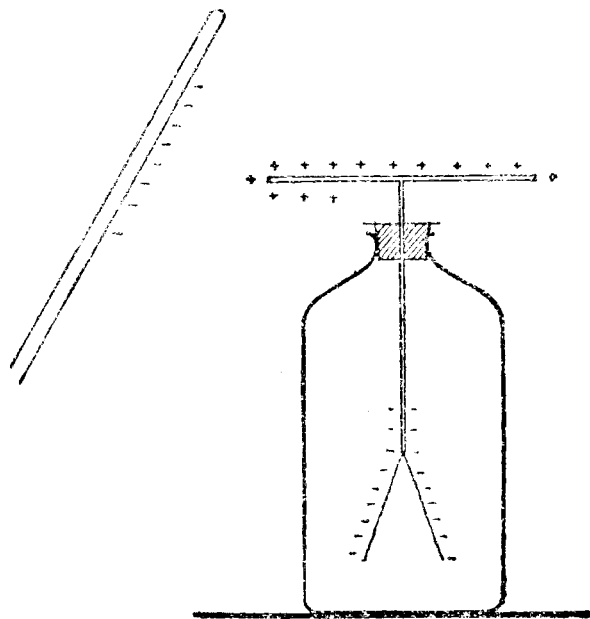
如果一條火漆 (Sealing wax) 或硬橡皮 (Ebonite) 棒被用獸皮摩擦或擊碰，由近世學理的解釋，就有細小的電質點，叫做“電子” (The electron) 離開獸皮而黏到火漆或硬橡皮上。這時候就說，棒有負 (Negative) 電在表面。確實的，這類棒將可拾取小塊的織物或紙，只須不過於乾燥。如果一條玻璃棒被用絲絹摩擦，電子去到絲絹上面，而現在缺少“電子”的玻璃棒表面就叫做有一種正 (Positive) 電荷。

推斥和吸引 (Repulsion and Attraction)

可用一根細絲線懸吊一個鏡，並且在這個鏡或支架內順次橫放入各種帶電的棒，而測驗它們對於別些帶電棒的行爲。硬橡皮推斥硬橡皮，玻璃推斥玻璃，硬橡皮吸引玻璃，以及玻璃吸引硬橡皮，如是“同類”電荷物體相斥，而“不同類”電荷相吸。

驗電器 (Electroscope)

用兩片金箔立刻能夠着手進一步的研究。這種金箔用金，鋁或荷蘭金做成，而懸掛在一根金屬棒的下端，金屬棒的上端從一個玻璃瓶瓶口伸出，頂端為一平橫的盤。在一根硬橡皮棒(-)臨近，或一根玻璃棒(+)臨近時候，



第二十七圖 金箔驗電器

硬橡皮棒(帶-電)排斥電子到金箔上，金箔即互相排斥張開。

金箔張開；但是當兩種棒同放到適當的距離時候，它們的效應互相中化而金箔也就不張開。這種實驗提示檢查一個物體究竟有一種正電荷或一種負電荷，抑或完全不帶電荷的法子。

等量分離說

如果在“驗電器”頂端放一金屬小桶，在桶內，一塊硬橡皮被裝在另一塊硬橡皮柄上面的一片獸皮上摩擦，將見金箔完全不張開。移開獸皮，金箔張開；重放上獸皮，金箔又再閉合；抽去另一根棒，金箔重行張開。顯見這兩種物體有等量或等電荷的兩種電，另外的試驗又證明硬橡皮有負電，而獸皮有正電。由法拉第(Faraday)，我們得到的重要觀念是，電不是創造的，又不是做成的，也不是產生的。它總是由“分離”而來的。這種“分離”(Separation)包含等量的兩種，當混合或放在很近的一處時就互相中和。

導體(Conductors)

如果手內握一金屬棒，而用獸皮，絲絹，橡皮等物來摩擦，這時候用驗電器試驗，它並不現出任何起電的樣

子。奇怪！但是如果這條金屬物被緊結在一個玻璃或硬橡皮的柄端，那麼用獸皮就容易使這根金屬棒起電。另外的實驗證明金屬，濕物體，人體以及地全都是“導體”，因此在一個金屬物體上面的電能夠流到手，身體，以及流到地內。一個人如果使他立在一只用玻璃做脚的踏脚凳上而致絕緣時，擊以獸皮將受到一個高度的“電壓”(The voltage)。

絕緣體(Insulators)

那些不傳導電的物體叫做“絕緣體”(The insulator)。最佳的“絕緣體”是石英，硫黃，雲母石，硬橡皮，絲絹，只要它們的表面潔淨和乾燥。“半導體”(Partial conductor)和“半絕緣體”(Partial insulator)也很普遍，例如木材和棉花是。

量(Quantity)或電荷(Charge)

庫侖 (Coulomb) 用一條細絲線橫懸一根輕的玻璃棒，在棒的兩端是包以金箔的老年樹心做成的木髓球。當使兩個球都帶電時候，由對第三球和兩球之一的排斥力的測算，使他說出一種簡單的定律，與剛纔已經說過在引

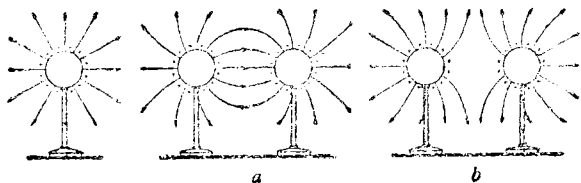
方方面和在磁性方面的定律，算學意義恰和類似，而物理學的觀點卻完全不同。如果 q_1 是甲球上面的電“量”，而 q_2 是和它有一個距離 r 的乙球上面的電“量”，那麼每個球上面的力就是

$$f = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

因此可以用在一個規定距離一個等電荷上面推斥的力量來計量電的分量。實用的單位是一庫倫 (Coulomb)，這種單位比較大，一“庫倫”推斥相距30米的一“庫倫”應有一萬萬萬“達因”，或將近一千噸重的一個力量。

力線 (Lines of Force)

因為在靜電學中間力的定律和在磁學中間的定律相同，所以在兩方面可以使用類似的幾何圖解和算學方法。因此有每一帶正電荷的小物體必定沿著前進的“靜電力



第二十八圖 力線球；(a)不同類電荷，(b)同類電荷。

線”(The lines of electrostatic forces)。所有的線最初從一帶正電荷的物體開始，而最終落到一帶負電荷的物體上面。第二十八圖表示一個帶正電荷的球連它的力線，以及兩個球(a)帶不同類電荷，(b)帶同類電荷，或許對這種認識有相當的幫助。如果將這些線看成“實在的”並且互相推斥成張力狀態，它們可幫助了解“場”以及推斥和吸引的一種局部原因幾個觀念。但是，在磁和靜電中間卻有這個顯著的區別。一個“磁體”破而為兩就變成兩個“磁體”；南北磁性在同一物體內到處都存在。在靜電方面，“電荷”是可分離的。

表面分佈(Surface Distribution)

無論一個導體的形狀若何，一種電荷因為本身所有元素互相的推斥影響，總以極高的速使本身分佈到表面。可在—硬橡皮棒端取一小平面，從表面各處採取樣品並用一個“驗電器”來檢查它們。表面愈彎曲，在那裏可以遇到的電荷的比例愈大。表面密度隨曲率為增加。

尖端放電(Point Discharge)

因為“曲率”(The curvature)以在—個細巧的尖端

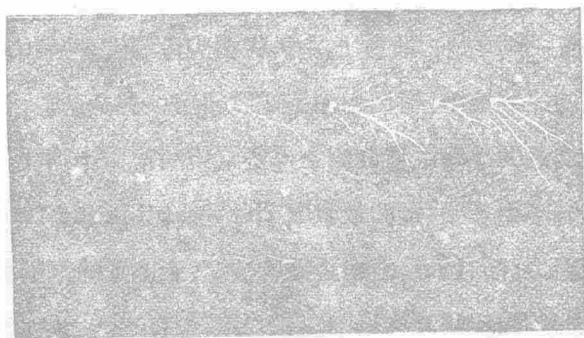
處最大，預料每單位面積電的密度或量將會在這樣的一點處變得浩大無涯。一個帶電的針尖所以將吸引在它周圍的空氣，並且給這些的質點，或分子，一種電荷，以致它們將被推斥。這種情形會有這樣多的無數分子，致在一種尖銳的尖端產生出一種“電風”，足夠吹滅這個針面前的一隻火燭。因為作用和反作用相等而反向，空氣愈被逼向前，針就必定愈被推後退。在一個金屬陀螺上面的兩枚針尖當連到後邊所說的電機之一上面時，確實就迅速旋轉。

避雷針(Lightning Rod)

在一座建築物的頂上，一根尖端尖銳的銅棒被鍍鋅的粗鐵線連到地中。這個用作對電閃襲擊一部的防禦。從尖端到空氣的電的電荷會使上邊空氣中的電荷中和化，由是減輕不免產生“電閃放電”(The lightning discharge)的電壓力。而且如果這座建築物被襲，大部分的電就會經過“導體”從尖端流到地下。必須“地”是良導體，否則整個計畫就反招致毀壞。鐵線下端或皆用鋸接到地下的水管上，或者接到埋在潮濕的焦煤內大片的鍍鋅的鐵線或鐵板上。

電火花(Sparks)

兩個帶相反電荷的物體相遇時，即借一種能夠看見而且聽到的“電火光”換電。在反對方向運動的帶電分子一度突然調頭就形成一個“電火花”。大概的經過如下：最初電子以足夠使它們逃離分子的速離開帶負電荷的物體，這樣剩下分子只帶正電荷。這種變化繼續以一種急遽的累進的速率進行，直到爆發出“電火花”。當電子復回分子或原子時候，光就這類被激動的分子或原子發出，並且



第二十九圖 變形電閃

一個照像底片當和極乾燥的天氣急驟去濕紙包皮時上面自等照出來的電火花。

使所生的熱迅速膨脹而造出聲波。由擦摩發生的小火花將在照相底片上感光成第二十九圖內的樣子。

電閃(Lightning)

福朗克林 (Franklin) 提示過，有一尖銳的尖端和濕繩的風箏會將電從雲端導至地中。這類實驗已經是成功的並且曾經重做過多次——一次而且有不幸的結果。“電閃”是一種幾千呎長的龐大的電火花，以及“雷”(The thunder)是所生的熱發出的爆炸的噪聲，都是很明顯的。“電閃”並不值得過度的畏懼，因為它並不是引起死傷以及火災的主要原因。最好只要不在樹蔭下藏身，或靠近金屬的柵欄，或在一個廣場內握著鋼柄的雨具。關閉窗戶以及將鏡面反向牆壁可以說都是兒童般的迷信。可怕的或許是入浴只有鼻和面部露在水面的時候。可是從來卻沒有一個人在這樣的情況下致死。聽到雷鳴的人可以相信，因為光前進的速遠過於聲音，那一閃的危險已是成爲過去。

感應(Induction)

如果一個物體A有一種負電荷，並且如果將它拿到

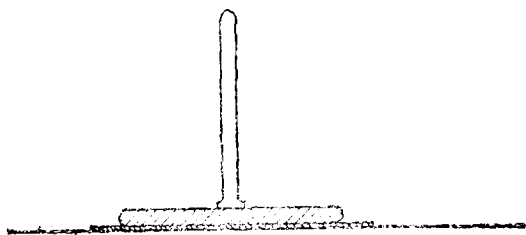
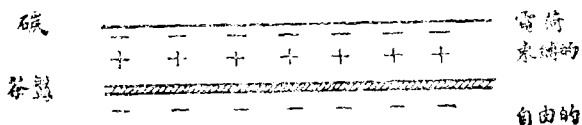
一個絕緣的金屬物體 B 的附近，這時候 B 最靠近 A 的一邊將有正電荷，因為電子已經被斥並且被迫到 B 離 A 較遠的一邊。用指接觸 B 片刻， B 的上面自由的電子將經過我們的身體以到達於地。移開 B 到和 A 有相當距離的地方，將看到它有一種正電荷。 B 叫做有一種“應電荷” (Induced charge)，或者說，已經因感應帶電。同樣，一種負電荷也能夠在 B 中被感應，如果 A 起初有一種正電荷。

起電盤 (Electrophorus)

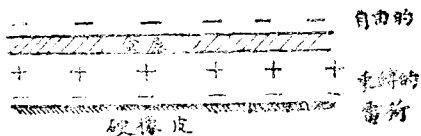
得到一種“正電荷”的一個便捷的方法就是用一個“起電盤” (The electrophorus 或 Electricity-bearer)。家庭自製的一種 (第三十圖) 計用一橫放在三只玻璃酒杯上面的大的金屬茶盤，一塊同樣大的紙板，和一片獸皮。所有這些零件都應該放在一個爐火或發熱器前烘使乾燥。用獸皮猛擦紙板，紙板將獲有一種負電荷，而與電作出清脆的小爆裂聲。將它平放在茶盤上面，“束縛的” (bound) 正電將留在茶盤上，同時“自由的” (free) 負電將在接縫生出半吋至四分之三吋的“電火花”。移開紙板，重



在絕緣的底座上面的帶電碳板



在帶電碳板上面的金屬起電器



第三十圖

行有一個“電火花”能夠從茶盤現出，這時候係帶正電荷。全部手續可以重復無限次數，“電火花”的“能”即由從茶盤取去紙板所作的“功”而來。乾燥的，冰凍的天氣是做這種實驗一個很好的時間。儀器廠的出品係用一塊大的硬橡皮板，和一块有一硬橡皮柄的金屬板（第三十圖）。這兩件代替紙板和茶盤，但是解釋起來仍舊圓滿。而且，由此因接觸使物體帶正電，或由感應使物體帶負電，有這種帶一個柄的金屬板總較便利得多。

電機(Electrical Machines)

舊式發電，或者更加確切點，分電所用的機器係一個旋轉的玻璃圓筒或盤，反面有幾幅塗有少許汞膏（Mercury amalgam）的綢帕在摩擦著。玻璃器上面的正電被一差不多和玻璃器相觸的綢齒的鋇所收集，同時這個鋇又被連到一個大黃銅球上。同樣，負電也從綢帕上流到第二個黃銅球上。照這個方式，大量電荷就可以被分離而且被收集到。

感應起電機(Influence, Induction Machines)

在現在，以使用“感應起電機”(Induction Machine)

為最普通。例如威姆胡斯特 (Wimshurst) 起電機：這是用兩個相並的在反對方向旋轉的大玻璃盤。在兩盤朝外的面上都膠結有許多個絕緣的金屬扇形物。如果一組扇形物帶有一種正電荷，那麼在對盤上面的扇形物就帶有束縛負電和自由正電。後者在用一個纖細的鐵絲刷接觸時候即流到地中，以後扇形物繼續供給它們的電荷到負電收集器。同樣的經過正在對盤上進行，並且有類似的電荷流到正電收集器。在這種起電機的球中間，有時可得到六吋到八吋的“電火花”。

凡得格萊夫機 (Van der Graaf's Machine)

最近對“感應起電機”的增添應推凡得格萊夫設計的一種。將兩個磨得極光滑的空金屬球，每個足夠包容一個人，放在高石柱上面使成絕緣。一條綢或紙做的“輸運帶”從基腳伸到每個球的內面。在基腳處給帶一種電荷，到球的內面使它差不多和一個金屬刷或鈹相觸。這種電荷離開帶而到球的外部。因為照福朗克林借許多巧妙的實驗所證明，電受它自己的排斥力的影響，總想跑到一個導體的外表。甲帶正在輸運正電到甲球，乙帶正在輸運負電

到乙球，直到它們的“位差”(The difference of potential)有時竟達到幾百萬伏特。

位(Potential)

使一個正電荷靠近一個正電荷需要力所以必須作功來完成這個。如果使一個正電荷到一個地方，無論空的或填滿物體的，必須作功，那麼那個地方的“位”(The potential)就叫做正，並且正電一定竭力離開那個位置或地方。用“負”代替“正”，又可以作出一個類似的說法。爲方便起見，最好有一種標準做根據，並且將地說成在“零位”(Zero potential)。

顯然可以將這個觀念推廣，而把兩個物體間，或兩個指定的地點間的“位差”說成從甲物體取一標準量電到乙物體所作的“功”，或所消耗的“能”。

伏特(Volts)

通常係將“位差”表成“伏特”，並且實際上係用兩個磨得極光而不染一點塵土的球間電火花的距離作它的計量。下表給出產生兩個1吋直徑的球間，或兩個10吋直徑的球間所需的“位差”。

伏特數 (Voltages)

球間距離	1 吋直徑球	10 吋直徑球
$\frac{1}{4}$ 吋	23,000	
$\frac{1}{2}$,,	48,000	
1 ,,	56,000	75,000
$1\frac{1}{2}$,,		110,000

“伏特數”也可以從一帶電的板對另一帶反對電荷平行的板的引力更較間接的定出。由這個計畫，產生出多種的“靜電伏特計”(The electrostatic voltmeter)。

來頓瓶 (Leyden Jar)

來頓 (Leyden) 地方一個偶然的發現引出一種有名的“來頓瓶”容電器 (The condenser)。這是一種玻璃容器，在底部和圓筒邊從底向上三分之二的地方內外兩層都敷以錫或鉛箔。經過頂端的一個乾燥的木塞，是一根金屬棒，上端有一磨得光滑的黃銅小球，下端是一條鏈而和瓶內的箔相連。它將容納多量的電，理論上無限大量，但是實際上卻受直穿玻璃器的一個“電火花”的可能性，或內外箔片間電的漏量所限制。如果底部被一條附在一個

煤氣管或水管上面的鐵線連到地內，那麼增加等量的電，或者就用一個“起電盤”來做，一個“靜電計”(Electrometer) 就會證明“伏特數”也按比例升高。實際上如果 $+Q$ 是內部的電量，如果 $-Q$ 是吸引到外箔上的相等電量，並且如果 V 是計成伏特的“位差”，那麼實驗就證明 $\frac{Q}{V}$ 比一定。現在這個比叫做“電容”(The capacitance)，表為 C ，並且計為“法拉”(Farad)。所以就有這個極簡單而且準確的關係

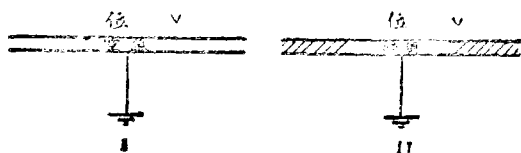
$$Q = C \times V$$

庫倫 法拉 伏特

“法拉”這一種稍嫌太大，所以通常多用“微法拉”(The microfarad)，即一“法拉”百萬分之一，或“微微法拉”(The micromicrofarad)，即一“法拉”一萬萬萬分之一。

蓄電器(Condenser)

“容電器”(The condenser)是一種有“電容量”(The capacity, 或 Capacitance) 的容器。“來頓瓶”就是一個好例。通常計為兩個金屬導體(第三十一圖)，而以一個“絕緣體”(The insulator) 或“介體”(The dielectric) 隔離。今天容易購得用薄紙隔離的長捲錫箔做成的價廉而



第三十一圖 電位相等的兩個相等的容電器，空氣和硫黃的介質常數是 1 和 4，所以充滿硫黃的容電器在任一電位能夠比充滿空氣的容電器多容 4 倍的電量。

且物美的“容電器”。在更要精確的工作方面，就用雲母來代替紙。法拉第證明如果將兩個“容電器”製成大小和形狀都很相似，不過一個係有空氣做“介體”而另一個設有硫黃做“介體”，那麼這個用硫黃做“介體”的所有“電容量”就有那個用空氣做“介體”的四倍多。這種比通常叫做“The specific inductive capacity”（介質常數），也就是現在通稱的“介質常數”（The dielectric constant）。下面是這種比的幾個實例：

物質	介質常數
真空	1
空氣	1.000586
硬橡皮	2.7—2.9

冕牌玻璃	5-7
火石玻璃	7-10
冰	94
橡皮	2.2
雲母	5.7-7.0
石蠟	2-2.3
石英	4.5
硫黃	3.6-4.3
石蠟油	4.7
酒精(乙醇), 14°C.	27

能(Energy)

“容電器”在帶電時候是“能量”的貯藏處，所以使它們帶電必須作“功”，並且在使它們放電的時候這種“能”又重現成“電火花”的“能”。如果將一塊板埋在地中，而將另一塊舉到帶有一個電荷 Q 的“位” V ，這時候我們能夠證明蓄積的“能”是 $\frac{1}{2}QV$ ，又因為 $Q=CV$ ，這種“能”計成“焦耳”就是 $\frac{1}{2}CV^2$ 。這種形式在自然界是很普通的，例如，一個有 v 速度的彈丸 m 有動能 $\frac{1}{2}mv^2$ 是。但是一個

“容電器”內的“能”卻比較一條伸張的絃或彈簧更富“位能”的性質。如果一個張力 t 將一條絃伸張到一個面積 x ，那麼由虎克定律， t/x 是一定，設為 k 。伸張所作的功是 $\frac{1}{2}tx$ ，或 $\frac{1}{2}kx^2$ 。有時這個“折半”使人迷惑，但是張力在最初是零而在最後是 t ，如是伸張經過一個距離 x 的平均張力是 $\frac{1}{2}t$ 。

歷史

據說，米勒圖 (Miletus) 的泰勒斯 (Thales) 就懂得琥珀 (希臘文即“Electron”)，一種地下掘出的膠質，如果用布摩擦，能夠拾取碎片的毛和輕的物體。這個名稱已經擴充起來，籠罩了鉅大的全部電學，並且成為那些看起是物體的主要成分的帶電元素的專用名稱——即“電子” (Electron)。摩擦電或靜電學被放在一個穩定的基礎，這應歸功於法拉第 十九世紀初葉在倫敦皇家研究所 的偉大實驗。在有些人眼裏，這種物理學好像有一個陳舊的內容，和無用的外表。可是“電容”卻是無線電方面，以及海底電纜和電話方面一個最重要的因素。

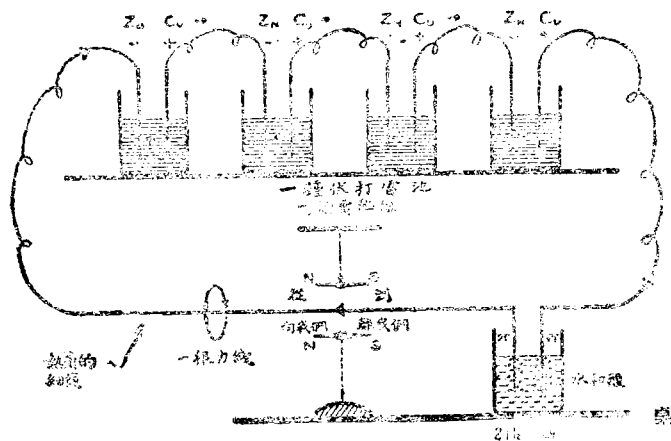
評論

我們將看出現在並不想“解釋”電是甚麼，因為本來就沒有更基本的可以用來表電。電現成種種可量的量，以及在種種的電壓。電的所在由大部或全部，為帶電質點組成的物體中看到。我們不知道，究竟萬有引力最後是否真具備電的特性，抑或質量是否就由一部分或全部電荷而生。認為電完全係在物體中間，這種認識是錯誤的，因為它的效應擴充到與物體無關的空間中的距離方面，甚至真空方面也一樣可能。這類問題——甚麼是“電”？甚麼是一個“電子”？——意義模糊得很，但是電的習慣和動作卻能夠感受，描繪，控制和預測。

第十章 動電學

發現

這是值得注意的，科學中最後進而有過最大的進步。
賈萬尼 (Galvani, 1737—98)，意大利的一個內科醫生，
 證明兩種不同類的金屬，一端相接，當另一端分別與一隻
 死蛙剝皮的大腿的神經和肌肉接觸時候，可以使這條脚



第三十二圖 伏打電池的一個電池組
 使一根線繫，一個磁體偏轉，水分解。

顫動。在1799年，伏打 (Volta)，意大利的一個物理學家，證明蛙不一定證實這種效應；又證明兩種不同類的金屬浸在酸和水中，並使它們的上端連到一個適當的驗電器上，發生出效應和摩擦電毫無不同的電。他由是發現“伏打電池” (The voltaic cell)，而且他更進一步又發見串聯連結成“堆”或“電池組”(第三十二圖)的若干個電池比一個電池更有力量。直到現在，蛙或驗電器總是兩種最“靈敏的”驗電工具。

磁效應

在1819年，丹麥人奧斯特 (Oersted) 有極重要的發現，即，用軸支在一條連一個電池組兩端的導線附近的磁體，或羅盤針，被電流使其偏轉。

在所有的地方，北極總傾向繞導體(第三十二圖)成一個圓形前進，同時南極總傾向沿相反方向繞成一個圓形。如果將一根絕緣的線纏成一種圓形線圈，那麼“磁效應”就與捲數成比例的被增加，如是甚至一個極薄弱的電流可以用支在或懸在這一種線圈中心的一個小磁體查出。用一個指針和一個刻度尺，或由落到一面附在磁體的

小鏡上反射光到一個刻度尺的一個光線：可以表出這種偏轉。這就產生各種的“電流計”(The current measurer)，通稱的“Galvanometer”(也譯作電流計)稍嫌欠妥當一點。正像一個磁體能被一個線圈內的一個電流所偏轉，同樣，這種線圈當載有一個電流被放在一塊蹄形磁的端中間時，也能夠被偏轉，這就產生一羣圈轉(Moving-coil)儀器(如圈轉電流計是)。電流的測算已經發展成一種精密的學問，而且曾經擇定一種適當的標準或單位叫做“安培”(Ampere)，以紀念測定磁體和線圈中間，線圈和線圈中間的力的那個法國偉人。例如，安培(Ampère)發見，載有相同方向電流的兩根平行的長線中間的吸引力和兩個電流的乘積除以它們相距的距離成比例。如果電流係在相反方向，力相同不過它們卻是推斥的。安培又有一個重要的發見，載有一個電流的一種線圈行爲和一個磁體相似，線圈有一面具備一種極性，而另一面具備相反的極性，他更進一步後發表一種意見，或許是正確的，即，一個磁體係由繞鐵的質點或分子在週流著的極多的小電流所組成。現在，這些電流係被歸結到電子的迅速的旋轉。這

樣的電流總在流動著，不過當鋼被磁化時候，它們的路就自動變成相同的而全都轉向相同的方向。這樣，所以磁能夠用電流來解釋。

後來由奧斯特實驗得到一種進一步的結果，就是“電報機”(The telegraph)。如果良導的紫銅線連結相距許多哩的一個“電池組”和一個“電流計”，又如在電池組附近插有一個“電鑰”，這時候可以隨意壓或開這個電鑰以通或斷電流，並且能夠隨意使遠離的電流計針偏轉。長和短的信號(The signal) 或者就表模斯電碼的常見的“線”和“點”。陸地電報引出海底電纜，由是密佈地球表面的電線網正就是伏打，奧斯特和安培們開關工作的一個直接的收穫。我們確實看到，這幾個人已經“電”，“磁”和“化學作用”打成一片。在一根直的線內的一個電流常隨處被圓形的磁力線所圍繞。所以照本在管內的想像而想像電全體在線內是不對的，因為電流的磁性在導體內和外都有，並且擴張到各處，無論多麼遠，不過距離增加效應自然就減少。

電磁體(Electromagnets)

如果照在一支絲軸或紗錠上纏線的樣子，用許多捲絕緣的線纏繞一塊條形或蹄形軟鐵（第二十四圖），這時候便一個電流通過線圈的每捲，結果就得出一個強有力的磁體，接近兩端處帶有南北極性。電磁體在各種應用上已經證明極為重要，最常見的如電鈴（The electric bell）以及種種的“保險開關”（Relay），在這裏，從一個相當距離發出繞一個局部電磁體的一個薄弱的電流使它吸引一塊條形軟鐵，由軟鐵的運動關閉一個更較有力的局部電路的電鑰。後面所說的“收話器”（The telephone receiver），“發電機”（The electrical generation）和“電動機”也有賴於電磁性質。

化學和電

當其時，在另一方面已經有極速的進展。引當時英國的一個大物理學家湯姆士楊格（Thomas Young）的一段話：“剛在伏打的論文提出皇家學會的時候，卡蘭耳（Carlisle）君同是造出一種電池組，而且他本人和尼古耳孫（Nicholson）君又發見電池組對水的分解的奇妙的效應”。水，加以一點酸後，就被分解成它的成分的兩種元素

(第三十二圖),兩部分容積的氫和一部分的氧。然而電的來源或者要追溯到電池中的化學作用,在電產生化學變化的時候,這就有可逆作用(The reversible action)的發現。亨弗理達維爵士(Sir Humphry Davy)在皇家研究所毫不猶豫的追循著這個線索,並且能夠從鈉和鉀的氫氧化合物中得到這兩種元素。在一只用鉑做成的盤上放一小堆濕碳酸鉀,同時使一根鉑絲和堆的上部相接。當導線將盤和鉑絲連到一個 250 只電池的電池組上時,鉀就有小金屬珠出現,有的還起爆炸。法拉第,有名的達維的後繼人,繼續研究這個電解(The electrolysis)問題,證明在一個電解液(The electrolyte)內,電藉載有分子的游子(The ion),照他的稱呼,居間沿兩個方向流通,帶有正電荷的氫和金屬與帶有負電荷的氧,氯等在相反的方向借電流前進。有時使這些物質澱積,如用金,銀,銅等電鍍(Electroplating)是;有時使它們成氣體的樣子,如 O_2 , H_2 等放出。法拉第又發見,“游子”的全部質量或重量常和一種穩定的電流,以及和它流動所經的時間都成準確的比例。將電的量計成時間乘電流,我們就可以說(澱

積的或放出的質量) ÷ (電量) 給出一種叫做“電化當量”(The electrochemical equivalent) 的固定數字, 而反過來這個在化學上又與化合的質量或重量成一種準確的比例, 換句話說, 與“化學當量”(The chemical equivalent) 或原子量對原子價之比成一種準確的比例。這種“電解”方法在實用上非常重要, 如將金銀銅鋅鉛鋁氧氫氯等分離成一種純粹的狀態, 以及用金銀銅鋅鎳和鉻等鍍金屬物等方面。

原電池(Primary Cells)

一個“原電池”係用兩種不同的金屬如鋅和銅放在含硫酸的水中組成。這個不是一種有實力的電池; 最好將鋅條和稀硫酸放在一只多孔或無釉的瓦罐內, 再將罐直放在一種浸有銅板的硫酸銅溶液內。這是丹聶爾電池(The Daniell cell)。

常見的“乾電池組”(The dry battery) 每個都係用一種鋅製的容器, 器內是用氯化銨(Ammonium chloride) 潤濕的石屑和焦煤的一種奇異的混合物, 同時中心的板是用包有二氧化錳(Manganese dioxide) 的碳製成。在

此必須有一種適當的物質來和移動到正的板，銅或碳上的氫游子結合。在剛纔說過的兩種電池內，硫酸銅 (Copper sulphate) 和二氧化錳就滿足這個條件。

蓄電池 (Secondary Cells)

如果將兩塊鉛板放在硫酸和水內，兩者都會變成被硫酸鉛 (Lead sulphate) 包蓋。如果使一個電流通過這一種電池，一塊板就添上一層過氧化鉛 (Lead peroxide) 的外衣，而另一塊添上一層鉛絨 (Spongy lead)。這是起電的過程。同一塊鉛板現在可以用作有將近 2.1 伏特的一個“電動勢” (The electromotive force) 的一個電流源。電流愈往下流，就愈變成稀薄，因為這時候 SO_2 游子都到板上，需要重行起電。良好的蓄電池製造時需有相當技巧，而使用時並需有相當的謹慎，不應該使它們不帶電空着。過高的一種電流是用不到的。這類電池始終是蓄有相當電量的電在用着時可以用來生出一個電流的唯一的工具。愛迪生 (Thomas A. Edison) 發明另一種“蓄電池”，採用在氫氧化鉀 (Potassium hydroxide) 溶液中鎳和鋼做“電極” (The electrodes)。這種電池的 e. m. f. (即“電

動勢”的縮寫)是 1.2 伏特，不過卻是輕而易舉並且節省濫費的。

標準電池(Standard Cells)

最常用的就是衛斯登式 (Weston-type)。一根鉛絲和潔淨的水銀 (+) 連結，在上面是糊狀的硫酸亞錫 (Mercurous sulphate)。另一個電極 (-) 是鎳和水銀的一種汞齊 (The amalgam)。在這個電池的每個臂的上部是硫酸鎳 (Cadmium sulphate) 溶液，內含有結晶物藉以使這種溶液飽和。這種電池只用來定出一種“位差”，在 20°C. 時 1.0183 伏特。實際上並不把它用作電流的一種來源。

電和熱

甚至在最初摩擦生電的時候，有人就已發見從來頓瓶的一個電池組造成一種放電儘能夠使一根細鐵線熔化，或者達到灼紅。到後來，用從伏打電池的一個電池組發生的電流昇高一根鐵或鉛線的溫度，也變成一種簡單的事體。這種生出的熱和產生它的電流分量間的正確關係已由焦耳 (J. P. Joule) 確定明白，他並且曾經證出生

出的熱和所作的機械的功間精確的比例關係。焦耳研究出，某一個導體內產生的卡數與電流的平方，以及與電流通過導體所經的期間成比例。電流用來生熱的實例不勝枚舉；最常見的如電發熱器，電灶，輻射器，電鎔爐，烘麵包器，電熨斗等等。注意，如果電流加倍，或三倍，每秒鐘熱的產量就各昇到四倍或九倍。

歐姆定律(Ohm's Law)

如果若干個電池發出一個電流，經過一根長的細線，我們容易證明，這個電流差不多與電池的數目成比例。如果將這根長線換成一根短線，這就不是前邊所說的情形。這時候，甚麼是可以叫做“電壓”(Electric pressure)(註)和它造成繞電路的電流間的關係呢？對這個難題，歐姆(Ohm, 1787—1854)給出一個答案，他的努力和成績直到他得到皇家學會的一個獎章後纔被人注意。他知道，由“位差”(或“電壓”)所生的一種電流正與在一個導體內由

(註) 著者不照慣例，在這裏改用“電壓”代替“位”，是值得評論的，或許可以說比較妥當一點。時常也有人用“張力”這個字，不過至少“壓力”比較“張力”更好。

溫度差所生的熱流相似。“位”(Potential) 這個字眼表示一個艱深而卻明確的算學觀念，並且或許可以用來代替“電壓”這個字。歐姆用實驗證明一根導線內的電流恰和它的兩端間的位差成比例，而這兩種量的比，即“位差”除以“電流”，就叫做這個導體的“電阻”(The resistance)。在一個完全的電路方面，使電流流動的電池阻的電壓重與電流成比例，而(壓力)÷(電流)是全電路的“電阻”的一種公量。“電動勢”(e. m. f.)這種不愜人意的名詞常被用到電池組方面，以代替前邊所用的“電壓”這種字眼。或許借一個使水繞一個長的水管路流轉的唧筒可以作一個譬喻，在這種情形內，水的流動與唧筒能夠生出的“水頭”(The head)有關，又與對水流的阻力有關。我們得記著，在證明像“位差除以電流等於電阻”這一類關係時候，必須保持著導體都在一種固定的溫度。許多物質如鐵、鎢、鎳等當增加它們的溫度時，在電阻上都有很大的增加。實際方面，有些有效的“溫度計”就利用這種電阻變化測定溫度。

標準

我們立刻感到應該將在一個電路內的三個基本的東西，即“電壓”，“電流”和“電阻”的單位或標準規定，並且精確的測出。這幾個單位的名稱是“伏特”(The volt)，“安培”(The ampere)和“歐姆”(The ohm)。第一個單位有時可用衛斯吞標準電池表示，這個有 1.0183 伏特的一種可以測定的“電動勢”。“安培”可以用它的磁力，或它的電解效應，來做定義，而實際方面，萬國電流單位係指：一“安培”相當每秒鐘澱積 .0011800 克銀的電流。至於“歐姆”，如果“歐姆定律”成立，即，

$$\frac{\text{(伏特)}}{\text{(安培)}} = \text{(歐姆)}, \text{ 或 } \frac{V}{I} = R,$$

它必須依賴“伏特”和“安培”。“標準歐姆”(Standard ohm)，“百萬歐姆”(The megohm)，以及有 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, …… 個線圈的電阻箱 (The resistance box) 現在都有人在製造，較準分量出售。將 e. m. f. 或電壓的讀數給成“伏特數”的儀器叫做“伏特計”(The voltmeter)；表示電流的叫做“安培計”(The ampere-meter, 縮寫是 ammeter)。電解方面的電流量器叫做“電量計”(The voltameter)。“歐姆計”(The ohmmeter)不

大有人使用，“電阻”可用一個導體兩端間的伏特數除經過它的安培數定出。又有使四種電阻“平衡”的簡單的方法，若是如果知道三種，就定出第四種。另一種重要的單位叫做，有良好的證據，一“庫侖”，等於當一安培流動一秒長久的時候經過一個電路各點的電量(The quantity)。這就有下邊的關係：

$$(\text{庫侖}) = (\text{安培}) \times (\text{秒數}), \text{或}$$

$$(\text{電量}) = (\text{電流}) \times (\text{時間}), \text{或}$$

$$Q = It.$$

“功”和“熱”

如果功在使一定量電繞一個電路進行時是必要的，那就一定可以表出它們間的某種關係。實際上，由電壓這個特殊定義，“電壓”，“電量”以及所作“功”中間就有這種簡單的關係：

$$(\text{焦耳}) = (\text{庫侖}) \times (\text{伏特}), \text{或}$$

$$(\text{功}) = (\text{量}) \times (\text{壓}), \text{或 } W = QV.$$

其實一“伏特”的一個完善的定義就是含有推動一“庫侖”的電繞一個受阻的電路的一“焦耳”的“功”。

由這個關係，可以誘導出“焦耳”的實驗結果的一種說明。由定義

$$Q = It, \text{ 又由“歐姆定律”}$$

$$V = IR, \text{ 因此}$$

$$W = QV \text{ 就變成}$$

$$W = RI^2t。$$

但是焦耳已經說過，產生一“卡”熱須有 4.18“焦耳”，所以

$$W = Jh,$$

在這裏 J 代替 4.18，而 h 係表成卡數，由是就得

$$4.18 h = RI^2t。$$

這是說，在一個導體方面，我們將那個電流的“電阻”，經過它的“電流”的平方，以及這一種流動的時間乘在一起，這就得 $4\frac{18}{100}$ 倍表成卡數的所生的“熱”。代數怎樣簡短，文字怎樣冗長！

“功率”和“功”

“功率”(P) 定義是被下成作“功”的率，或“功”被作那種“功”的時間所除。所以

$$P = W/t,$$

又因爲一個電流 I = 電量除以那個電量經過的時間，可以補充一個關係

$$I = Q/t.$$

用 t 除 $W = QV$ ，而得

$$P = IV, \quad \text{或} \quad (\text{瓦特}) = (\text{安培}) \times (\text{伏特}).$$

工程界時常喜歡再增添一段，因爲

$$V = IR, \quad \text{所以就得}$$

$$P = I^2 R;$$

或者他們利用“電阻”乘經過的電流的平方來量“功率”。所有前邊的情形係指直接的穩定而且連續的電流。

如果雇一匹馬五先令一天，雇用四匹馬六天預算就得付出六鎊（1 鎊 = 20 先令）。如果一個電力公司——“仟瓦小時”（The kilowatt-hour）收費二便士，這就是一千瓦特使用一小時的收費。公司售出“功”，或“功率”乘以“時間”。如果我們用 12 仟瓦計 30 小時長久，那麼價格就是 $2 \times 12 \times 30$ 便士，或三鎊（1 先令 = 12 便士）。如果在一所房子內，有 30 盞燈，每盞 60 瓦，而它們在一年內計燃 1,200 小時，“仟瓦小時”就是 $30 \times 60 \times 1,200/1,000$ 或

2,160 kwt. hr., 價格 18 鎊。——“仟瓦小時”是 3,600,000 “焦耳”，將近等於 2,650,000 “呎磅”。兩便士幾何廉！

一般都有—種固定“電壓”供給“功率”，若是一種計量“功率”的儀器，叫做一只“瓦特計”(The wattmeter)，實際只須測量電流乘以流動的時間，確定伏特，電流和時間的乘積；並且用日計(The dial)將結果表成“仟瓦小時”，所以實際方面它記出“功”，而不是“功率”，同時我們也係對功計費。

將最近的幾頁歸納起來，讀者一定會深切感到這類關係實在非常的簡單——

電解

在一定物質或電解質方面，(質量)/(電量)為固定值。

歐姆定律

(位差)/(電流)得出(電阻)。

熱

(功)/(熱)是(焦耳常數)。

功

(位差) × (電量)是(功)。

功率

(位差) \times (電流) 是 (功率)

電磁感應 (Electromagnetic Induction)

在1832年，法拉第公表出一個發見的結果，這個發現曾經使電學的理论和實際都有深刻的改變。他發現，如果將一個線圈的兩端連結到一個電流計上，那麼當經過線圈的力線數目被改變時，就有“暫時電流” (The temporary, or transient current) 發生。使一個磁體，或一個連結到一個伏打電池，或電池組的獨立的副線圈 (The independent secondary coil) 都能夠做到此層。在主要線圈上面，所經過的磁線或磁通 (The magnetic flux) 的這種改變的主要效應就是產生一種“電壓”或“電動勢”，這種“電壓”轉過來再生出“暫時電流”。如果將一個磁體的一極從一段距離移前，而停到線圈中心附近，結果就有“暫時電流”發生。然後，如果重將這個磁體移動，結果又生出一種“暫時電流”，不過這時候係沿相反的方向。楞次 (Lenz) 曾經見到，感應電流的方向常沿和產生它的動作相反的這一種方向。另外一個實驗係用一個電流，在與電流計

連結的較大的主線圈內，推壓一個小線圈。結果也有一種“暫時電流”生出。到這種電流已經停止後，插一塊條形軟鐵在較小的線圈以內，也可以感應得一種另外的電流。

由無數的實驗證明，主要線圈內的“電動勢”依靠（一）它的線捲的數目；（二）經過線圈的磁線，或磁通的改變；（三）磁通改變經過時間的簡短，因此一種遲緩的改變不及分量相同的一種迅速的改變有力。所以，一個線圈內的應電動勢（The induced e. m. f.）等於磁線或磁通改變的時率乘磁通所經過的捲數。

感應圈(Induction Coil)。

這引起了“高壓感應圈”(The high voltage induction coil)的發明，就中如像魯姆考夫 (Ruhmkorff) 式，係用許多捲絕緣的線纏繞一個軟鐵圓筒，做成所謂的“原線圈”(The primary coil)。在“原線圈”外面，仔細的用更多捲數的細絕緣線纏繞，做成“副線圈”(The secondary coil)。如果由一個電池組所生，經過“原線圈”的電流，驟被停止，或發出，經過“副線圈”的大量的磁通也迅速的被發出或停止，若是“副線圈”內的 e. m. f.，因它的許多的

捲，會可以達到幾十萬伏特。因為“功率”等於“電流”×“電壓”，有這樣高的 e. m. f. 顯見電流必定很小。幾吋長的電火花會在副線圈兩端間經過。當副線圈的兩端和窗上一面玻璃的兩面相接時，可以洞穿這面玻璃。

發電機(Generators)

如果使一個多捲的線圈在一個電磁體的極間迅速旋轉，並且，如果使這個線圈的端連到一盞電燈上，那麼這盞電燈由經過泡內細鎢絲的電流的熱效應，將被灼紅或熾成白熱。連結線圈到電燈上有兩種方法。或者在軸上有兩個並列的環，線圈的端就銲接到上面，並或有兩個銅或碳刷，每個壓在這兩個旋轉的環之一上面。刷的另一端將被線連到燈的兩端上，半繞它的線圈捲將時時變換它的面，使向電磁體兩極中間的固定的磁通。當線圈的平面和力線平行時候，這種變換將是最迅速的，並且這時候電動勢將成最大的。還有顯然可見，面的變換應該歸宿成電動勢方向的一種變動，若是電流將在交變 (Alternating)，並且一種完全循環應該發生和每秒線圈旋轉次數相同的這許多次。這一種“交流”(The alternating current) 將

從零起，上升到一個極大值，被減半，變成負面達到一個極小值，再達到零而重復出循環。許多鐵證，無疑，分子在線內來回擺動，不向任一方向前進。設想有 60 循環一秒的 100 伏特交流發電機 (The alternating current generator)。這個 100 伏特是一種特殊的平均電壓，叫做“均方根”(The root mean square)，這個的意義是——“將電壓自乘，取它們全體的平均值，開平方就得到！”湯姆孫對法定專家的一個特別委員會解釋這個意見時，他們都在訕笑，直到後來他纔使他們認識這個並不太簡單。根本的觀念是，一個 A. C. 的平均的熱效應將等於一個 D. C. 的熱效應 (The heating effect)；在這裏，以及無論何處，A. C. 代表“交流”(The alternating current)，而 D. C. 代表一種“直流”(The direct current)。閉總不嫌累贅所說的那種電流如果線圈一秒作成 60 次旋轉，一秒鐘也同樣發生 60 次。

回到在電磁體繞圈旋轉的線圈方面，移去這兩個環，而用一個裂成和一個直徑成直角的兩半的裂環 (The split ring) 來代替。這個裂環被縛在軸上，不過卻和它絕

線，並且必須使兩半環也互相絕緣。線圈的兩端也焊接到半環上面，同時銅刷在兩面和裂環相觸。線圈的面改變地位時候，半環也改變地位！因此，收電刷之一類似一個電池組的正極，而另一類似負極，所以一個直流將流到和外電路上。這種儀器通常叫做“Dynamo”(發電機)，不過現在卻叫做一種“直流發電機”(D. C. generator)。

電動機(Motors)——(俗稱馬達)

因為作用和反作用相等和反向，一個“發動機”不能作一個“電動機”的候補嗎？如果繼續有直流經過電磁體的線圈，並如用直流供給到刷以及線圈的半環上面，那麼兩面將帶北和南極性並將它電磁場內旋轉。這就是“電動機”的原理。電機工程家曾經發明出力大無窮的“發電機”，利用水或蒸汽輪機推動，生出高電壓來輸送 D. C. 或 A. C. 沿若干哩長的導管到各地方，在這些地方可以使用這種“功率”來生熱，發光，以及推動唧筒，電車，火車，車床等的“電動機”。

變壓器(Transformers)

如果輸送“功率電”經一段長距離，對一個固定電阻

的熱損失與電流的平方有關。所以最好在高電壓而以低電流輸送“電功率”。這類高電壓對於生命是有危險的，不能夠引進住宅裏面。這是計畫改變一個 A. C. 電供給使達到一種較低的“電壓”，和達到一種較大的“電流”，而自然毫不使“頻率”有改變。

所需的這種“變壓器”是法拉第在“電磁感應”方面的研究的直接結果。可用兩個獨立的線圈纏捲一個軟鐵“錨環”(The anchor-ring)，並且可以使它們的捲數，假設如此，成爲 1 與 50 之比。如果第一個線圈的 A. C. 電壓是 110，那麼在第二個內的電壓就將近是 5,500。這種叫做一座“升壓器”(The step-up transformer)。如果“電壓”增加 50 倍，那麼，就“滿載擔負”(Full load) 說，電流應降到原值五十分之一。我們也可以倒轉線圈的任務，而得出一種“降壓器”(The step-down transformer)。

爲要認識“變壓器”，我們應該牢記，因爲原來的許多線圈內的交流在變化，所以軟鐵內的通量也在變化，並且這種通量繞過環和穿過第二個線圈，藉原來線圈內的 A. C. 改變方向和大小。第二線圈心內的這種通量變化

生出與捲數有關的一種“電動勢”。

電話機 (Telephone)

兩種不同的電裝置用在一個“電話機”的“發話器”(The transmitter) 和“收話器”(The receiver) 方面。在發話器內，從一個電池組來的電流通過兩個小石墨板中間，在板的中間置有尖銳的細石墨粒 (Granules of graphite)。這種小裝置連到一塊和音樂或語音相應振動的薄金屬板上。石墨粒刮辣作響，電阻改變，電流變化並沿兩條線達到遠處的“收話器”。

收話器係由一塊蹄形磁和繞它的兩端纏捲的細漆線 (The enamelled wire) 線軸組成。逼近這幾件，是一塊照像鐵 (The ferro-type iron) 的薄板。繞線軸前進的“來電流”(The incoming current) 變化磁體兩極間的磁力線，這種變動使鐵盤振動。雖然習見這種器械，卻不應忘卻再生作用用這類簡單法子會這樣靠得住的奇蹟。這種經過的順序是——聲帶振動——空氣波動——盤振動——細粒刮辣作響——電阻變化——電流在線內——由線軸內電流發生的磁變 (The magnetic changes)——盤

振動——空氣波動——耳鼓振動。以後並有許多神祕的
事件過渡，最後，心靈鑒別而人聽到。

電燈 (Electric Lamps) 與白熾燈 (Incandescent)

最初實用的電燈係由愛迪生 (Edison) 和由斯旺 (Swan) 所發明，用玻璃泡抽空空氣，泡中是用一個電流，
A. C. 或 D. C.，使成白熱的一種細碳絲 (The filament
of carbon)。到今天，極細的鎢絲已經代替碳絲，並且泡
內一部分充以氮這種鈍氣。現在每支“燭光”(The candle
power) 需要將近1 瓦特，不過這種電能將近 100 分之 98
被消耗成熱而只有百分之二作光用。螢和宵行蟲就很少
濫費！

弧光燈 (Arc Lamps)

在兩條碳棒，稍微分開並有 70 伏特的“位差”，中間
一個將近 5 安培的電流發出有一個將近 $3,500^{\circ}\text{C}$. 的高
溫度的一種耀眼的光，而太陽的表面只顯出 $6,000^{\circ}\text{C}$. 的
一個溫度。又可以有一種玻璃包圍的水銀，或鈉，汽弧，以
一種小電流和輕電壓而發出高的“照度”(The illumina-
tion)。這類管是涼的並且少濫費如熱的能。“弧光燈”在

空氣中，或被包圍在石英中，發出多量的紫外光 (The ultra-violet light)，對於眼目有損害，但是當巧妙的施用到皮膚上面時或許對於健康是有益的。從太陽來的“紫外線”比較有限，因為短波的輻射 (The short-waved radiation) 大半被大氣所吸收。

熱電學 (Thermoelectricity)

如果兩根不同的金屬線，例如鐵和銅，在一端相纏結，並且如果另一端被縛在一個電流計的兩端而且被保持在一固定的溫度，這時候慢慢熱鐵和銅的這個接頭 (The junction)，一個電流將在接頭處從鐵到銅繞電路流動。使接頭冷到室內溫度以下時候，電流將沿相反的方向從鐵流到銅。這種效應提示出熱和電間一種最有趣的關係。極敏銳的輻射檢查器，叫做“熱電堆” (The thermopile)，要依賴使銻 (Antimony) 和鉍 (Bismuth) 的接頭發熱。因此知道，一個“熱電偶” (The thermocouple) 是電動勢在它的溫度比較電路其餘部分係被改變時的一個位置。當一個電流熱或冷一個“接頭”時，有一種相反的效應。上面的效應照它們的發現者分別叫做席貝克 (The

Seeberk——)和拍爾提效應 (The Peltier effect)。

由氣體放電 (Electric Discharge Through Gases)

在氣體在大氣壓力時的情形中，可以在兩點間得到一個電火花；或者在兩個滾圓的黃銅球間，如果它們間的電壓是屬於對兩球間每釐米距離 32,000 伏特的一級。這一種電火花彷彿具體而微的電閃，並且或許有一種小的主導徑跡，由從負球到正球急遽運動的電子造成；又當它達到這個徑跡時候，就有大量的正電荷的分子突然出現和別種分子碰撞生出多量游子，或帶電的氣體分子，曾經失去一個電子而成正的游子以及曾經獲得一個電子而成負的游子。正游子進向負球，而負游子進向正球。利用電路的適當的裝置，可以得出“振動放電”(The oscillatory discharge)，球以極大的頻率在變換符號。在這樣的情況下，可以有所謂無線電波的波輻射，這像光一樣是電磁波不過波長可以為許多米，然而光波卻屬於 10,000 分之一釐米一級。

刷形放電 (Brush Discharge) 和電暈 (Corona)

當一個導體的位高時，可以有一種“刷形”放電從一

個尖端，或一個稜，或環繞一根細線的一個“電暈”發生。這些發暈光的放電是由於藉碰撞游離(Ionize)空氣的電子因崎嶇不平以及尖端而成的向內或向外的運動。當電子復回有其他電子被分裂出的分子或原子時候，這就有“發光本領”(The luminosity)。電子的動能使“輻射”發生。類似的一種效應就是一支燭或一隻氣焰(The gas flame)發光的原因。

低壓放電(Discharge at Low Pressure)

如果一個將近一米長的管有兩塊和一個感應圈連結的金屬板封入兩端，這就難得到一種高度是發送沿管流動的一個電流的電位。但是，如果迅速將空氣從管內抽出，這就有一個時間，有一種緋紅色放電從板到板經管的中心流下。這條柱頃刻裂成閃爍不定或穩定不動的“輝條”(The striations)，這叫做“正極區”(The positive column)；同時在負電板，或“陽極”(The anode)附近，有一帶暗區叫做“法拉第暗區”(The Faraday dark space)。一種“負極電輝”(The negative glow)逼近“陽極”(或作“正極”)。竭力使真空程度加高，“正極區”歸於

烏有，而一種微綠的輝光 (The greenish glow) 掩蔽全管。這個現象首先由克魯克斯 (Crookes) 得到。

電子 (Electrons)

如果將一塊板內的一個小圓孔放在管內陰極 (The cathode)，或負電板，前面，一細柱光線 (The beam of rays) 將通過這個孔，並且能夠照耀一個直放在管內的“螢光板” (The fluorescent screen) 放光。

我們知道，臨近這柱光線的一個磁極例將光線彎曲成一個圓形，並且垂直於電子的運動線，以及磁力線的方向線。可是我們決不能使光線彎曲成這樣！這種彎曲 (The bending) 表示一個負，而不是正電荷。這柱光線如果放在管內，就被吸引到正電板上；它被一塊負電板所推斥。中間包含的力量使湯姆孫爵士 (Sir J. J. Thomson) 能夠證明“電子”，照湯氏所命名，的速度等於將近 10^9 到 10^{10} (厘米)/(秒)，以及證明每個的質量很微，將近一氫原子的質量 1840 分之一，為從前所知質量最大的實體。

倫琴射線 (Röntgen Rays)

運動的電子將使一塊“照相乾片” (The photogra-

phic plate, 或作底片) 感光, 驅轉一個有翼的小輪, 使許多物質發輝光或螢光, 游離一種氣體, 以及熱一塊鉑靶 (The platinum target) 成灼紅。倫琴 (Röntgen) 所做最重要的發現是, 當電子撞擊一塊鉑, 或鎢靶時候, 結果有一種新的輻射生出, 在性質方面完全與造成它們的電子不同。這些叫做“X射線” (X-rays) 或“倫琴射線”。這些射線將使裹在黑色厚紙內的“照相乾片”感光, 並且又可以透過手掌的血和肉, 然而它們卻被骨骼或指環所阻。因此得到在片上表現骨骼的影 (The shadows) 的寶貴照片。這容易將在身體任何部分內破碎的骨骼, 子彈, 針頭, 或別種外物等的位置查出。這類射線有時用作醫治的手術, 不過需要極度的謹慎, 纔不致生出焚燬或有害的結果。

光電學 (Photoelectricity)

如果“紫外光” (The ultra-violet light) 突然和帶電的潔淨的鋅 (Zinc), 它將迅速失去一個負電荷, 但是它總想保持著一個正電荷。這種細微波長的光能夠從潔淨的鋅內逐出電子, 又眼可見的光能夠從鈉, 鉀和鎊

(Cesium) 一類金屬逐出電子。於是就有“光電管”(The photo-cell) 的發明，用一種高度的真空，或一部分用“氫”，一種“鈍氣”，注入。在這種管內，有一個中央電極(The central electrode) 和另一個與一層絕，多半蒸積在氧化銀(Silver oxide) 上面，連結的電極。當光進入管內，電子離開負電板，大量的流到中央電極。顯然應該有一個在電路內的電池組和一個電流計，來研究電流與光之強度(The light intensity) 的變更(The variation)。如果“光電管”上的光變更迅速，那麼經過管的電流就以相等的迅速改變；在此並沒有落後(Lag)。

有時可以使“光電管”和“放大器”(The amplifier) 以及和“揚聲器”(The loud speaker), 或和“天線”(The antenna) 連結，如是它成爲“有聲電影”(The talking and moving pictures), 以及“電視”(The television) 等方面設備一個不可缺少的部分。

“倫琴射線”有一種較平常的光短的“波長”和較高的“頻率”，能夠從各種物體逐出電子，並且這類電子以一種巨大的“動能” $\frac{1}{2}mv^2$ 在運動，這種“動能”差不多和入射

光(The incident light)的頻率(The frequency)成比例,因此將近成 $\frac{1}{2}mv^2 = hf$ 。

在這種關係中, m 是被“頻率” f 的“輻射能”(The radiant energy)逐出的電子的“質量”,而 v 是這些電子的“速度”。

這個比的常數, h ,叫做“普郎克常數”(The Planck's constant),以紀念這個大發現家。“動能”和“頻率”中間的重要關係係愛因斯坦所發現。如果對從金屬逐出電子所需作的“功”加以適當的限制,前邊的關係是正確無誤的。

熱游子學(Thermionics)和管(Valves)

一百多年前就有人知道,將一個灼紅的球拿近一個驗器的頂盤,一定會使它放電,不論帶正電或負電。現在知道,這是由於鐵的熱表面射出的兩個符號的氣體“游子”的作用。一支燃著的火柴持向盤上,也會生出一種類似的效應,因為在焰中有兩種“游子”存在,火焰固然向上,可是游子卻被盤上面的電場吸引向下。

愛迪生用一塊小金屬板插進一盞碳絲電燈內面,並

證明能夠使一個電流從板當時爲正，流到爲負的絲上。由經驗得知，在一個抽空到相當程度的管內，實際上係電子載著這一種電流，從負的絲運動到正的板。循那個路線運動的負電子和從板到絲的一種想像的正電電流意義相等。

兩極管(The Diode)或板極燈絲管(The Plate Filament Tube)

佛來銘 (Fleming) 在熱燈絲周圍裝一個板，證明這一種抽空的管作用等於只許電流在一個方向，從“板極”到“燈絲”，通過的一個“管”。其實電子載送這種電流係在相反的方向，即從“燈絲”到“板極”。在一個真空 (The vacuum) 內的白熱燈絲大抵射出“電子”，而不是“正游子”。如果這時候，有一種“交變電動勢”(The alternating e. m. f.) 連結到“燈絲”和“板極”上，每個循環就有一半被阻，而一種斷續變動的直流只沿一個方向通過。這一種電子管就叫做使調整 (To rectify)。

三極管(The Triode, 或 Thres Element Valve)

德孚奈士特 (De Forest) 在“燈絲”和“板極”中間裝

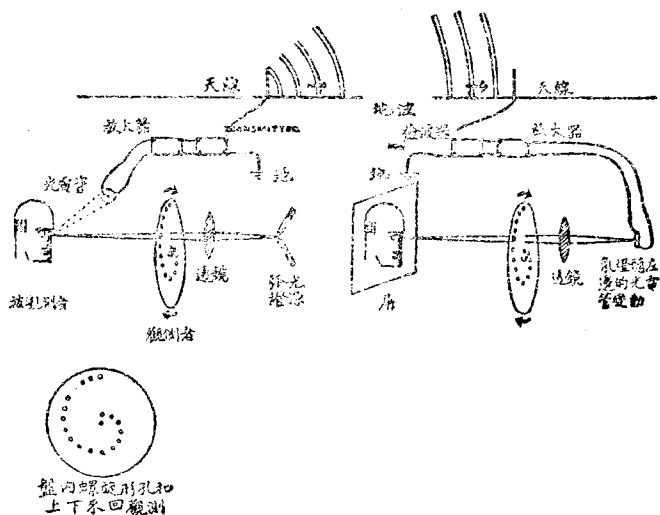
置一個金屬“柵極”(The grid),即篩形物,並變動這個“柵極”對於“燈絲”的“電位”,他就可以控制從“燈絲”發射的電子的“出產”(The output)。當這個“柵極”是強烈的正電時候,電子就被吸引到它上面,並且經過網眼達到板極,如是假定有45伏特的一個“電池組”,在這個柵極上面的小“位差”的控制下,就可以產生一種巨大的“板極燈絲電流”(The plate-filament current)。藉一個“微音器”(The microphone)放大以及調幅的可能性是顯明的。這類的管有時叫做“重發器”(The repeater),並且用作長距離電話方面的“替續器”(The relay)。而且,它們已經使語言和音樂由無線電廣播成為可能。這裏因為限於篇幅,不能再多說這個有趣的題目;並且事實上有這許多的名貴的書籍和雜誌,儘夠喜歡的讀者作進一步的研究。

原理和實物方面的連鎖關係可藉一個圖解和“電視”的簡短說明表現清楚。

電視(Television)

無線電傳真(The transmission of pictures by

radio) 可以說正在發展時候,因中間有許多重大的,但不是不能勝過的困難。對圖(第三十三圖)注意一下,就明瞭從一個弧光燈發出的耀眼的光與一個旋轉的盤相遇的情形;這個盤有排成螺旋形的孔,如是辦到上和下,以及前和後的清晰觀察。這樣觀察得的物體(即對象)的不同



第三十三圖 電視

弧,透鏡,有螺旋形孔的旋轉盤,對象光電管,放大器,發送機,天線,無線電波,天線,檢波器,放大器,氬燈隨接收變動,透鏡,有螺旋形孔的盤,屏。

的濃淡，感觸“光電管”電流；這種電流經過放大後即被載到天線上成波輻射。所輻射的波係由按照所觀察的物體的光和濃淡調幅的“載波”(The carrier wave)組成。

一個遠處的天線接收無線電波，經過“檢波”(The detection)和“放大”(The amplification)後這種電動變動一盞“氖燈”(Neon lamp)的強度。從“氖燈”這樣發出的光經過第二個有孔排成如前的螺旋形的盤。最後，光與“屏”(The screen)相遇，急遽的掃過，因此“像”(The image)就連續不斷的出現在眼前。我們在後將明瞭，在“發送”(The transmission)以及在“接收”(The reception)兩方面，要得到充分強度的光是如何的不容易。

第十一章 光學

光

“光”和“視”都是美滿的天賦！想到“光”每使人怡然神往。它可算是最初的天賦，當然是最大的。“上帝說准許世上有光，這就有了光。並且上帝也看見過美滿的光。”

甚麼是“光”？

這個問題從無人答覆，並且它或者就是不能夠答覆的。在最早的時候，人們都相信“光”從眼睛進到物體。後來認為“光”是小物體或“微粒”（The corpuscles），從物體進行到物體，或從物體進行到眼睛。惠更斯（Huygens）宣布光係由“波”，那是“縱波”（Longitudinal waves），所組成；牛頓仍舊擁護前說，並不採取這個見解。直到再後，“橫波”（Transverse waves）觀念成立，有一大部分直維持到現在。這就需要想像有一種“載波物”（The wave-carrier）存在，並有人叫這種物質為“光以太”（The luminiferous aether，簡稱“以太”）。光進行這樣速，結果

“以太”應該極富彈性；又密度這樣細微，結果行星可以活動悠遠的時期，而不致速率稍受損失。許多人就認為光即是彈性體，其餘仍傾向“以太”的理論。這些觀念大半都被馬克士威(Maxwell)的“光的電磁說”(The electromagnetic theory of light)掃蕩無餘。“以太”或“空間”(Space)除去“物質”(Matter)，就是能夠蓄積電或磁能和以一秒鐘 186,000 哩的一種速度傳播“電磁波”的東西。這種速度和“波長”無關，不論幾哩長如在有些無線電波方面，或將近 100,000 分之 1 吋如可見的光，或一萬萬分之 1 吋如從“鐳族”(The radium family)發出的最短的波。叫“以太”做物或非物，都是同等的錯誤。它不是物質；然而有特性的東西卻不能不有。“以太”是“以太”；馬克士威的“電磁方程式”(The electromagnetic equation)，量子論(Quantum theory)，和“波動力學”(Wave mechanics)規定出我們現在認識的它的性質。一個物體穿過空氣或水的運動容易被查覺和測出，但是地球穿過“以太”的運動卻從未被查覺；並且證據非常明顯，它決不能被我們查覺的。

光的速度

木星的衛星依常例運動，並且在相等時間後就會行到木星後面而被成蝕。倫默 (Olaus Römer, 1676) 發見這種情形並不真實，而將週期不等的原因歸到光的速度上面。當木星和地球在太陽的兩對面時候，這兩個行星相距是五萬七千六百萬哩遠；但是在同一側面時候，是三萬九千萬哩遠。這兩者中間的差是地球軌道的直徑，一萬八千六百萬哩。倫默查出，由於從木星射出的光橫過地球軌道直徑所需的時間，衛星蝕 (Eclipses) 最多移早過或移遲過 1,000 秒；他又推斷出將近 186,000 哩的一個速度。菲左 (Fizeau) 和佛科 (Foucault) 用其他的方法證實這層，邁克爾孫 (Michelson) 並且極精確的測出。這些人全都係就光從一個光源到達地面上一個相離遙遠的鏡又重行回去所需的時期測得。倫默在兩世紀半以前查出光的速度，與準確的值相差不到百分之一的二一，這是值得注意的。

反射 (Reflection)

在一面完善的平面鏡內，一個人可以看到不是實在

的，並且是在鏡後遠近和他在鏡前相同的，他的“像”(The image)或精靈(Ghost)。這個精靈很像他自己，不過卻將面目顛倒。在鏡內你的右手的“像”奇異的竟似直接而非由反射見到的你的左手。在你手裏的一個右旋的螺旋在鏡中變成一個左旋的螺旋。一個風景在有一潔淨表面的靜水內的完全反射表明光的來一點不紊亂，有的從這個風景的各點直到眼裏的光，有的從水的表面反射的光。“實”(Real)風景和水面下的“虛”(Virtual)風景並不是完全一樣，因為提到直接視線(The direct line of vision)，對岸上在一個小陽傘下面的一個女孩的面孔也許會被遮蔽，而仍可由反射清晰的看見。這有時是值得牢記的。由瑣細成爲哲理，憑甚麼我們說風景有一是實而一是虛呢？它們實在不是兩個全實或者兩個全虛嗎？一隻狗對鏡內它的像的動作可做現在的答覆：它看，它或許要向後面看，它嗅，吠！，並沒有甚麼啊！

凹鏡(Concave Mirror)和“凸鏡”(Convex Mirror)

有些銀光的玻璃鏡，在當中處凹進，或在當中處凸出，它們的表面相當一個球的一部分。如果從遙遠的太

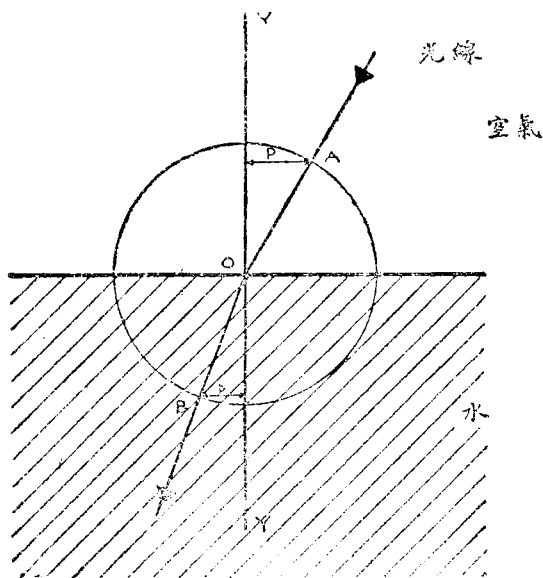
陽來的光專照射到一個凹鏡上面，這個光就被反射到軸 (The axis) 上一點，在這裏一小張紙將現出太陽的一個像或圖影，而由它發生的熱會將這張紙灼焦或焚燬。這個點或“焦點”(The focus)在鏡面和球面中心的正當中。一個大望遠鏡在這樣一個焦點收集到從一個星球來的多量的光，並且這個星球的像能夠用一個“目鏡”(The eye piece) 看見，或用一個照相機攝影。

從遠處走近一個“凹鏡”並且注意這種“精靈”的舉動，是怪有趣的。當你離得很遠時候，像很小，上下倒轉，並在鏡靠近你的一邊。當你漸漸走近時候，像迎你而來，到你在球心和“它”相遇時，就達到本來的大小，但是它仍是倒轉的。再向鏡走近，“精靈”就去到你的背面，到你達到焦點時候消滅到無限遠點。“它”從無限遠處回來，直豎著在你目前不過卻在鏡後，最後到你和它在鏡面上擦著鼻端為止。所有這段話在算學家表示起來一定是：命 f 為“焦點距離”(The focal length, 或作“焦距”)， x 和 y 從焦點到物體和像的距離，都在焦點的同一邊而量成正，那就得 $xy = f^2$ 。

就一個“凸鏡”來說，事情就不生多大興趣，因為所謂你的精靈總是直豎的和在鏡後。既不能達到和他相遇，他也決不能逃避到你的背後。

折射 (Refraction)

使一個房間成黑暗，並在一個光開關上做一小孔，若



第三十四圖 斯涅爾定律

P 長除以 P 長在光線的任何方向都有相同的值。
 $p \cdot p$ 叫做折折率，在水方面約 $4/3$ ，玻璃約 $3/2$ 。

是從太陽來的光成一小柱或線光透入，由陽光照耀的塵埃容易看出。這種線是澈底的直，一段伸緊的細線可以和它比擬。一個平面鏡將從它的表面閃回光線，而這個光線離開鏡的平面在一個與它射入時相等的角度。使鏡旋轉任何角度，設為 30° ，反射光線就旋轉 60° ，總是兩倍多。

現在命這柱光射入一個大玻璃杯內的靜水的表面。光線進入水中時被彎曲離開水面，而叫做被“屈折”或“彎曲”。同樣的情形可用一厚塊具有平滑和平行的表面的玻璃試出。光線射入，在內彎曲，和重行彎曲出來，恰與原來的光柱平行。光的彎曲（即折射）定律是這樣的簡單，在此或者可以用簡短幾句將它說明。斯涅爾 (Snell, 1591—1626) 說，命 AOB 是從空氣到在 O 處的水的光（第三十四圖）。從 O 量取相等長度的 OA, GB。想像一條直線 YY 經過 O 處和水成直角。命 P 是從 A 到這條線上的垂線的長，又命 p 是從 B 到同一線上的垂線。那麼 P/p 的值總是相同，無論 AO 的方向如何它是固定的。這種常數叫做“折射率” (The index of refraction)，它的值在水方面是 $4/3$ ，在許多種玻璃方面是將近 $3/2$ 。

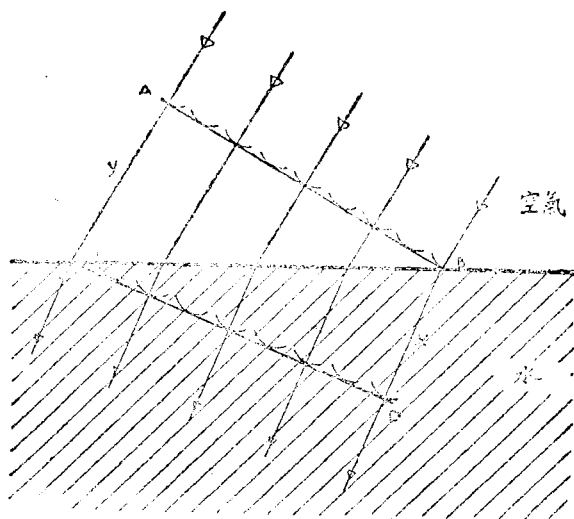
光可倒轉(Light Reversible)

一般說，光是可倒轉的。雖說從一隻燭發出的光在入到眼睛以前，可以從鏡反射，或被水或玻璃折射；可是當燭和眼交換地位時候，這支燭重可由眼睛看見，並且光線循方向倒轉的同一路徑進行。如果你能看見一尾魚，這尾魚也能夠看見你。如果你的眼睛，在水上面 6 呎看見一尾魚在水中恰在你底下 4 呎，這時候你難免誤認魚是在水面下 3 呎處，而魚也不免誤認你的頭部和水面相距 8 呎，而不是 6 呎。

爲甚麼光彎曲呢？

光在從空氣前進到水，或從空氣到玻璃時候彎曲或改變方向這種事實由惠更斯(Huygens, 1629—95)得到解釋。如果一圓柱光和水相遇(第三十五圖)，可以假設有一個“子波”(The wave-lets)的“波前”(The wave-front)前進到水上，入水後又繼續前進不過速率減小。這時候波前部必須有一種改變。正像在空曠而且砥平的廣場前進的軍隊，這時候既進入叢林以後，行進較爲緩慢，並且不知不覺的改變行軍的前線。一個“前線”(The Line)或

“前部”(The Front)由順次產生一種新“波前”的“子波”構成，這種“前線”或“前部”的觀念在光的理論方面大有用處。如果在同一時刻將一個爬花把所有的齒都恰好浸沒水內，從所有的齒發生的“紋波”(The ripples)確實生出一種前進的“波前”。

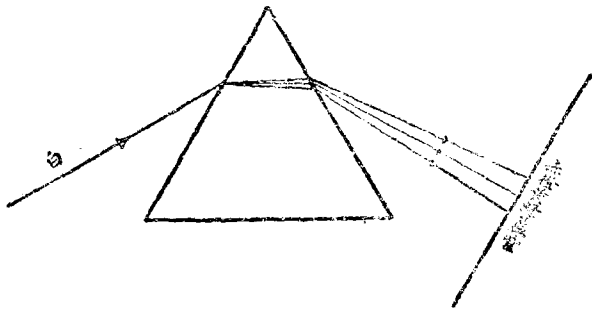


第三十五圖 入水後改變前部的一個柱光，在水內進行相當空氣內速率的 $3/4$ ， $x=3y/4$ ，舊前部 AB；新前部 CD。

稜鏡(The Prism)

一個玻璃“稜鏡”可以做成和它的長成直角的每個截

面都是一個三角形。當一線太陽光，經過光開關上的一個孔，和玻璃“稜鏡”的面相遇時候，它就被“折射”彎曲，到離開較遠的面時，它又重被彎曲。這種“雙彎曲”(The double bent) 造成和原來的光線的一種雙偏差。牛頓放一個白色屏脊“稜鏡”外面(第三十六圖)，在上面看見“虹霓”(The rainbow) 所有的色逐步的改變，紅色偏差最微，而紫色偏差最大。從白光得到的這種色的改變順序對於看是動人的，對於解釋是有趣的。第一層，在空氣中差不多，在真空內最正確，各色的光以一種等速進行。在玻璃內卻不是這樣！在那裏，紫光進行較紅色快，短波較長



第三十六圖 光譜

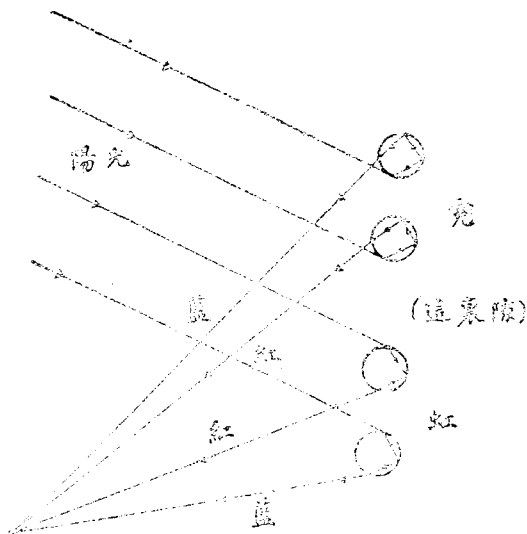
將白光分散成一個連續的光帶(The band)，赤，橙，黃，綠，藍，紫。

赤色有較長的波，在玻璃中進行較慢，並且較藍色不大折射。

波快，所以由“惠更斯作圖法”(Huygen's construction)紫光是最易偏差的。第二個“稜鏡”，倒轉放在第一個後面，能夠將所有這些色聚集成一線白光。

虹霓(The Rainbow)

從上面射入一個雨點內的陽光(第三十七圖)將被偏折，從雨點的背部反射，將重行射出，和經過在底部另外



第三十七圖 兩重虹
放大的雨點；減小隙純為清楚起見。

一度的彎曲。最後，如果你所在的地位適當，光會來到你的眼裏。這種彎曲在紫光方面將較在紅光方面大，所以就有一種紅光的彎拱出現，在這個下面有橙，黃，綠，藍和紫的一個順序，至少就是極巨的一個逐步連續的光帶最好的文字寫照。更高處是紅光在藍光下面的“霓”(The secondary rainbow)。在這種情形，一線光進入雨點的下部後曾經被折射，曾經在它的內面被反射兩次，並且折射出來，如是這個光線曾經被曲到兩個直角以上，最厲害的是紫光，所以在“霓”內一種紅點的彎拱在藍點的彎拱下面。在“虹”和“霓”中間是一種暗區，在這裏，雨點能夠反射無幾的光到借虹移動的觀者眼裏。

在有名的海登(Hayden)宴會上，凱次(Keats)突然對牛頓發瘋。一個圓橋同學便問“爲甚麼？”。凱次說，“因爲，牛頓曾將虹霓摧毀！”這種想像以爲的美麗的損失最能感動那些最缺乏知識的人。

透鏡(Lenses)

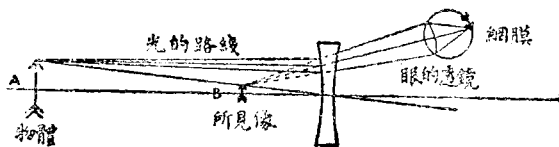
玻璃鏡，如像用作眼鏡(Spectacles)之類，計有兩種。那些在中心較在邊緣厚的，如像放大鏡(Magnifying

glasses)之類,叫做“凸透鏡”(Convex lenses)或“會聚透鏡”(Converging lenses)。其他在中心較在邊緣薄的叫做“凹透鏡”(Concave lenses)或“發散透鏡”(Diverging lenses)。在陽光中,可以放一個“凸透鏡”,或“放大鏡”,以收集落到“透鏡”面上的“光”和“熱”,和將光線聚在“焦點”,在這裏能夠使紙着火或使一根紙煙燃着。用一種使陽光向外發散的“凹透鏡”,就不能夠辦到這層。用一盞燈,一個白色屏和一個“凸透鏡”,可以研究做對象的燈,



第三十八圖 會聚透鏡

一個明亮的物體A將在B處的一副白色屏上印出一種倒像,互換亦然。



第三十九圖 發散透鏡

從亮物體來的光在B看見。光的路線經透鏡進到眼前被
 聚焦在網膜上面;照舊顛倒。

屏上的像以及透鏡的“焦距”中間的簡單關係。眼鏡師將“透鏡”的“焦距”(The focal length)表成度(Diopters),或計成米的“焦距”的倒數(Reciprocal),在“凸透鏡”方面用+而在“凹透鏡”方面用-。這樣,焦距為25釐米或 $\frac{1}{4}$ 米的一個“凸透鏡”就叫做+4度。

顯微鏡(Microscope)

將一個短焦距的小凸透鏡,叫做“物鏡”(The objective),放近一個目的物,在這個透鏡的另一邊就得到一個放大的像。從目的物來的光繼續進到第二個凸透鏡,叫做“目鏡”(The eye-piece),以便像達到明視的地步。這種複放大構造叫做“複顯微鏡”(The compound microscope)。

折射望遠鏡(Refracting Telescope)

對一個遙遠的目的物,用一個長焦距的大凸透鏡來收集從這個目的物來的多量的光。就有一種倒像形成,由裝置作眼睛明視之用的“目鏡”看到。

野外鏡(Field Glasses)

伽利列用過一種“望遠鏡”,有一間“目鏡”放得比它

所造的像更靠近“物鏡”。對於距離加以適當的裝配，就可以看到一種清晰的，最後的直立的像。“野外鏡”和“觀劇鏡”(Opera glasses)都照這種樣子製成，並且可以藉從直角稜鏡背面的反射，使長度縮短。

眼(The eye)

就在一種透明而有生命的膜後面，具有隨意容納進多少的光的瞳孔和一個自動調節的彩簾的眼球來說，我們或者可以用一個“照相機”來和“眼”對照。一種透明的膠狀物質充滿眼球的中部，後面是網膜，在這個笨譬喻裏面就相當照相乾片。照相乾片藉化學反應集合起落到它上面的光能總和。移開照相機就是毀掉乾片。但是，眼卻在頻頻的活動，一個圖或像在網膜上面生出不過一秒鐘的若干分之一的一個效應，試迅速將兩個眼瞼閉合就可以證明。無疑，這些液體方面的作用是光化的(Photochemical)或光電的(Photo-electric)，又有“棒錐體”(Rods and cones)將印像傳遞到視神經並向上達到腦內相當的部分，然後，你看見！在這裏，當然並未想到要解釋這些生理的經過，或者其實往往都超出我們的知識

範圍以外的物怎樣變成心的理由。

眼鏡(Spectacles)

許多老少都成近視，在這種情形，在光已經達到網膜或眼的後部以前，眼的透鏡就將一個像移前到一個焦點去。彌補這種缺點用稍使光在達到眼睛以前發散一點的凹鏡，如此像就被正確的造在網膜上面。其餘的人，尤其是老年，是遠視，在這種情形，像總造在網膜以外。這樣的人就用會聚或凸透鏡來救治這種不便。我們必須牢記，眼是一種神奇的自定焦點的器官，若是如果我們從一個包箱遙看遠處的一個目的物，不用我們費力，由改變透鏡焦距的結果差不多將必需的焦點配定做好。有的人真有一只在透鏡的一條直徑上面的焦點，他們能夠看見紙面上在一個方向內的線條，卻不能看見別的東西。這叫做“像散性”(散光)(Astigmatism)，適當的眼鏡可從一個眼鏡商根據一個眼科醫生的通知求到。如果用一個眼睛看到一種直立的目的物，像是倒轉在網膜上面。智慧怎樣重行使這個目的物復正，著者不願冒充識者。

照度(Illumination)

我們的健康和舒適不少有賴於“照度”(Illumination)。許多青年美麗的雙眼被印刷惡劣，字體過小，兼在一種弱光內閱讀，戕賊極厲害。

可以製出一種特別的燭或燈，而將它定成強度的——種標準(A standard of intensity)，——“燭”(The candle)。——“燭”在一個晴朗的黑夜能夠從一哩遠看到，並且它不斷的發出一種向外的可見的光流或通(Flux)，將近達到每秒一百萬爾格的總量。如果一支標準“燭”距光在上面照射成直角的一張小卡紙1呎，這張卡紙上面的照度就定為1“呎燭光”(The foot-candle)。“照度”增減與距離的平方成反比，例如用一盞36“燭光”的燈來說，就有

照 度	相 距
36 呎燭光	1 呎
9 " "	2 "
4 " "	3 "
1 " "	6 "

在逐漸使卡紙斜向“光通”(The flux of light)時，“照度”又隨角為增減。朗伯定律(Lambert's law)給出：

(百分數)	
角	照度
90°	100
60°	87
45°	71
30°	50
0°	0

各種燈每燭光(Candle-power)的瓦特數如下：

煤氣焰(Gas flame)	100
用 <u>衛爾士把赫</u> 外罩(Welsbach mantle)	15
碳絲(Carbon filament)	4
鎢絲(Tungsten filament)	1.3
開弧(Open arc)	1.2
水銀弧(Mercury arc)	0.4

慣例用一種“流明”(The lumen)來表示光流或光通，這

在 1 呎 生出 1 呎燭光的一種“照度”；

在 1 米 ,, ,, 1 米燭光的一種“照度”；

在 1 釐米 ,, ,, 1 幅透(The phot)的一種“照度”。

簡單說，從一盞 C 燭光的燈，會發出 $4\pi C$ “流明”，但是燈和燭都不是在各個方向都分配相等的光。當比較兩盞燈時候，由燈在一個白色屏上面投射的一根棍的兩個接近在一起的影對照，容易得出它們的相對強度的一個平均值。移動甲燈，直到兩影濃淡相等，那麼甲燈就照明乙燈所投射的影；反過來亦然。如果燈的距離是 3 比 2，那麼燭光就是 9 比 4，自然離屏遠的一盞就是最明的。一般說，如果 C, C' 是“燭光”； d, d' 和屏的距離，

$$C/C' = d^2/d'^2.$$

“折射”和“海市蜃樓”(Mirage)

從外射入大氣內的一個星球的光當從大氣較輕的部分到較重的部分時，稍微向下一點彎曲向地球。一個人在一個光線的末端看見星球宛若在它實在位置的上面。到太陽其實已經西沒以後，實際上或者能夠看見它，或它的一部分！

在沙漠地面，有酷熱的輕空氣層，上面是比較稠密的空氣。從一株遙遠的高樓欄樹來的光或者會循一條向上的路線彎曲，我們或者就會誤認為一株倒立的樓欄樹，

而一個湖泊或許就會是蔚藍的天空。

夏天在聖洛倫斯河(River St. Lawrence)的冷流上面，前邊的這種密度分布現在倒轉過來，有時從遠處一個山峯來的光會循一種凸向上的路線來到眼底，我們就會看到一座直立的山峯聳立前面(按，我國山東登州萊州等處有名的海市蜃樓即屬於這類)。

偶然發生兩種效應，這就形成廓大的像出現。有一個例證，在北海(North Sea)海上，著者見過一隻飄浮著的輪船，上黑下紅，被廓大看起來宛若一個氣櫃或極巨的浮塢。

分光鏡(Spectroscope)

就最簡單的式樣說，這種儀器計有一個鉛直架，架上為一水平盤，而盤上面又是稜為鉛直的一個玻璃稜鏡。有兩個黃銅管，一個管照一個望遠鏡裝置；另一個叫做一種“準直管”(The collimator)，在離稜鏡最遠的一端有一個可調準的“鉛直縫”(The adjustable vertical slit)，在這個管的另一端是一個透鏡，如是使鉛直縫在它的焦點上。光進入縫內，沿準直管向下並經過那個稜鏡。光被稜

鏡折射，或彎曲，而入望遠鏡，這個由暫時離開稜鏡已經被焦集（即集中焦點）在縫上面。當使“分光鏡”正對一個白熱的物體時候，由稜鏡照成的一連串縫的彩色像就被看到。將這個儀器對一個曾被放進普通食鹽的本生燈（The Bunsen burner），或明亮的煤氣焰，一條強烈的黃色線，或者更切事實一點兩條黃色線，可以看到。這種譜線據查得是代表金屬鈉的。繼續在焰內放進各種的鹽，各種金屬以及各種氣體的“光譜”（Spectrum）或色線立刻可以辨認出來。用“分光鏡”，或“分光計”（The spectrometer）直對太陽，可以看見一些暗黑，狹窄的鉛直線交叉“光譜”，這種線叫做“夫牢恩和斐譜線”（The Fraunhofer lines），以紀念它們的發現人。這些譜線的解釋係出自克爾希荷夫（Kirchhoff）。他研究出一個加鹽的焰內因鈉而生的譜線在它們在“光譜”內的位置上，恰和太陽內的兩條暗線（Dark lines）相符。他斷定在太陽內必定有“鈉”，由球面或色球（The chromosphere）底部的熱並且游離的原子發射出來；又斷定它們的振動被較冷並且較高的太陽大氣層所吸收，這些層也含有鈉汽（Sodium vapour）。

類似的結果從其他星球得到，特別是氫和氮的“暗線”，或“吸收譜線”(The absorption lines) 在許多星球內如在太陽內一樣尋到。這樣證明星球如像地球一樣，係由 92 種化學元素所造成，就中氫是最最多的。

膨脹的宇宙

在我們的星羣或星河(The galaxy)以外，有別些星羣，因為它們離開我們的極遠的距離而致模糊不明。從這些星雲(The nebula) 來的光表現出“都卜勒效應”，或向紅的光譜的一種移動(The shift)；而頻率的這種降低以及波長的增加有相當的理由可以解釋為係由差不多所有星雲離開我們的，或許是互相離開的，極迅速的運動造成。它們離開我們的距離愈大，這種退後的速率愈高。物體的這種向外運動叫做“宇宙的膨脹”(The expansion of the universe)。較小的星羣(Star clusters)可以說因為它們相互的萬有引力，並不因此分散。宇宙膨脹的學說不勝枚舉，不過大概可以說，在最早的一個時期星雲是更加靠近的，在看見它們離開以前就有人類，好像放射元素(The radioactive elements)一樣，它們暗示沒有過和

今天所見完全相同的事物排列的一個無窮的過去 (The infinite past)。宇宙並不表現一個無窮的過去。

金屬的色

如果尋常的光射到一個背面塗有汞齊 (Mercury amalgam) 的良好鏡上，由測量得見，垂直照射到上面的光將近百分之 73 重被反射回去。所有金屬磨光時成爲各種程度的“反射器” (The reflector)，而在光譜上面反射回去的百分率是銀 93，金 74，鎳 63，鋼 55，銅 48。但是金和銅對於紅光方面更較有效，這時候數字就變成銀 93，金 92，銅 83。銅的微紅色，和金的黃色都是由於它們缺乏反射藍光的能力所造成。極薄的金葉當光從太陽經過它到眼裏的時候，色是綠的。

花的色

黑布吸收落在它們上面的輻射熱和光，並且反射極少的一點回去。白紙反射回落在它上面的光的性質，如果紅，就成紅；如果藍，就成藍。一株紅罌粟花吸收藍光而反射紅光，所以它的色是紅的。如果舉在強烈的陽光裏面，我們看到它也透射紅光，並且容讓那種光經過它到眼裏。

取一個可移動的小“分光鏡”，用它來觀察舉向太陽的葉和花瓣，這是怪有趣的。若是，對葵有許多種顏色的花，由它們的花瓣看出，這種色大都是由於缺乏某部分光譜的結果。

混合色(Mixing Colours)

由一個稜鏡造成的色或者可以叫做“純色”(Pure colours)，因為牛頓表示過這樣的光不能再被第二個稜鏡分解。彩色的花瓣，織物等通常都是色的一種摻和(A blend of colours)，眼不能夠分析，但可用“分光鏡”查出。耳是一個超異的分析家並且能夠覺查出，以使智慧辨認出，從許多樂器發出的各種音符的微妙的差異。眼不能夠這樣分析。由三種色種種比例摻和，能夠配成任何其他的色。或者可以用得著增加黑色或白色，以改變“濃淡”(The shade)以及“色調”(The tint)。這或者可用在一個旋轉盤上的各式的扇形，叫做一種“色陀螺”(The colour top)，做出。有些人是各種程度的色盲(The colour blind)，所以在有些人眼裏，紅和綠宛若一種色，不管怎樣！這樣的人不能夠摘探看起來宛若和葉有同一色的漿

果。那些不能夠分辨紅光和綠光的舵工和司機顯然是危險的一種來源。

顏料(Pigments)

如果在一個調色板上將藍黃兩種繪料混合，所成繪料宛若成綠色，因為藍繪料吸收黃，又黃繪料吸收藍，但是它們倆卻反射綠色！從一個光譜來的藍光，和從一個光譜來的黃光，一起射到一個白色屏上，生出一種微帶緋紅的灰色。

蔚藍天(Blue Sky)

天是藍色，因為眼可見的光譜較短的波有可被空氣分子分散的一種適當的大小。這樣當太陽照耀時候，藍和紫被空氣分子分散到各個方向，看的人就看見藍光在各個方向。所以天是藍色！從太陽來的紫外光(The ultra-violet light) 大部分都完全被我們的大氣所吸收，剩餘的繼續前進，多被分散。如果用一個遮蔽著只許紫外光透入的“照相機”，在強烈的陽光中為一個人攝影，在這時這個人和像片內就沒有“影”(The shadow)，因為紫外光從天空各方向來到他處。當太陽剛在沒落以前與地平一線

時候，太陽的光線勢必通過極厚一層空氣，藍光被分散消去，而只有習見的薄暮的嫩綠，水仙黃和紅光達到我們眼中。攝影用紅光，而平常的“敏化片”(The sensitized plates)常是異常透明的。

薄膜(Films)和薄片(Thin Plates)的色

在一個肥皂泡內，珠母殼內，以及在色彩較暗的塗有暗黑的濕土瀝青的油布上面，這些眼睛看見的美麗的色另需一種完全不同的解釋。舉例來說，在一個肥皂泡的情形內，“薄膜”的厚是這樣的細微，可以和眼可見的光的波長相比擬。在此有從兩個表面的反射，並且從一個表面反射來的波“干涉”從緊接它後面的另一表面反射來的波。這種“干涉”(The interference)需加特別的解釋。如果一個小肥皂泡被投入水內，就看見圓形波從沾水的點向外散開。每個波都有“波峯”和“波谷”。如果其次將兩個泡一起投入水內相離一呎左右遠，這就有互相交通的兩種花樣的波。當“波峯”遇到“波峯”時候，就有雙倍高的一種“波峯”；當“波谷”遇到“波谷”時候，就有雙倍高的一種“波谷”，但是“波峯”掩沒“波谷”而自然“波谷”消滅“波

峯”。在一組波遇到另一組波的地方，結果一種新花樣生出，到它們既經相遇以後，每組重恢復它的波運動的本來面目。所以在一個薄膜內，從上面反射來的光波在某幾處添助從下面反射來的光波，而在某幾處它們互相消去。在某一處，厚或者恰適於添助紅波，和消去藍波。那部分“薄膜”將在你眼裏成紅色。薄片和薄膜所有美麗的色或者可以解釋成這種樣子。另外，在“波長”和“厚”間有一個關係，當知道一個時候，由此能夠算出另一個。

繞射(Diffraction)

如果用一個簾刀片在一張厚紙板上割成一個薄切口，而將這條縫放近眼睛並且迎著一個光，這時候或者可以看見“暗線”(Dark lines)橫沿著這條縫在流動。當兩個伸開的指差不多相連而光經過它們中間通到眼裏時候，也會看到同一個情形。這叫做由“繞射”(The diffraction)，“干涉”的一種，所造成。繞這條縫的一個稜流過的光波“干涉”經過縫的另一稜的光波。所以有相對的明和暗的地方。

消色差(Achromatism)

我們曾經表示過，通過一個發鏡的一線白光被彎曲或折射，以及分開或色散成色線。同理，一個白色目的物由一個會聚透鏡造成若干個在不同距離的色像，藍色較近透鏡面，紅色較遠，不過這些多半重被射到放在像的適中地位的一個白色屏上。然而圍繞這個像的周圍，將有一種彩色的邊緣。這種想不到的特點在牛頓是知道的，所以他專用一種“反射望遠鏡”(The reflecting telescope)，而不取“折射望遠鏡”(The refracting telescope)。用兩個有不同的“折射率”(The refractive index)的適當的玻璃透鏡，可以矯正“色散”(The dispersion)，而使一個“物鏡”，或一個“目鏡”，或一個照相機透鏡除去彩色邊緣的像，或消色差。

極化(Polarization)

有幾種晶體，能夠使我們看到雙像。如果在白紙上面放一個黑十字架，並在十字架頂上放一塊好的方解石，這時看得見兩個十字架。如果這塊方解石在白紙上被旋轉，一個十字架仍舊固定，另一個在繞著它移動。將通過這樣一塊晶體的一小線光仔細研究一下，就發見在出射的兩線

光方面，有一個極化在一個平面內，而另一個極化在和第一個平面垂直的面內。每個光線叫做“面極化的”(Plane-polarized)。在每個光線構成光的電振動全體在一個平面內，但是兩個出射線(The emergent rays)的兩個極化平面卻成直角。落在平常玻璃鏡上成一種適當的角的光也多半是“面極化的”。

尼科爾稜晶(Nicol Prism)

如果將一塊方解石晶體在一個適當角度鋸成兩段，然後用坎拿大樹膠膠結一起；這時候在接頭或膠結面，一線光或許可以由晶體反射出來，同時另一線光，面極化的，將透過晶體。這一種裝置叫做一個“尼科爾稜晶”(Nicol prism)，它將平常的光變作“面極化的”光。我們將憶到，光係由橫，而不是縱，振動組成。兩個這樣的“尼科爾稜晶”，一個在另一個後面的，可以轉動和裝置使有極大量光透過，但是如果再將一個稜晶轉過一個直角，就成黑暗；無光。第二個稜晶不容經過第一個的光透過。如果將盛有水和蔗糖（不是蘿蔔糖）的長管放在兩個“尼科爾稜晶”中間，就看見糖有旋轉極化平面的能力。這個有趣

的物理性質對於化學家做有機化合物研究大有貢獻。

如像光這樣大的一個題，僅作這樣短的一種討論，當然是不夠的。另外，在末章內，我們將看到，最近的發現使光從原子傳到原子，如像“光箭”(Light-darts) 或“光子”(The photon)的觀念成爲不可少的，這是一串能或一能量子(A quantum of energy)，它的大小是和傳送的頻率成比例。很好，對有興味的讀者，關於這個題目就介紹威廉布拉格爵士(Sir William Bragg)所著的光的宇宙(The Universe of Light)一本引人入勝的書籍，做他進一步的讀物。

廣 遠 續 光 譜 (The Great Continuous Spectrum)

名稱	倍 數	波 長 厘 米 數	頻 率 每 秒 週 數
宇宙射線(Cosmic).....?		將近一萬萬萬分之2	1.5×10^{22}
γ 射線(Gamma).....6或7		一萬萬分之 $\frac{1}{2}$ 到 100	(60 到 3) $\times 10^{17}$
倫琴射線(Röntgen).....14或15		一萬萬分之 $\frac{1}{2}$ 到 1000	(6000 到 3) $\times 10^{16}$
紫外線(Ultra-violet).....8或9		一萬萬分之19 到 3000	(30,000 到 77) $\times 10^{15}$
可見光.....1		一萬萬分之3000 到 7800	(77 到 38) $\times 10^{14}$
紅外線(Infra Red).....9		從肉眼可見到 $\frac{3}{100}$ 厘米	以下到 10^{12}
短電波(Short electric)*.....16		以上到55 米	以下到5450 仟週
中電波(Medium electric).....2		55 到 200 米	5450 到 1800 仟週
長電波(Long electric).....?		200 米到幾仟米以至無窮遠	1500 仟週到零

* 對無線電波方面另一種分類是——超等短波(Ultra-short), 1 厘米—5 米; 短波, 5—150 米; 中電波, 150—600 米; 長波, 600 米以上。

第十二章 近世物理學

近世物理學的發端現還在一個莫衷一是的時間。有的或者從“電子”的發現開始，有的或以“倫琴射線”，或“放射學”(The radioactivity)，或“蒲郎克常數”(The Planck's constant)，或“相對論”(The relativity) 作起點。爲便利起見，我們多半假定它從“放射學”開始。

放射學

在1896年，就是“倫琴射線”後一年，柏克勒爾 (H. Becquerel) 正在研究鈾的螢光 (The fluorescence of uranium)，他將這種最重的元素的幾種鹽類曝在陽光下，查得甚至裹在黑紙裏面的時候，都會使一個照相乾片感光。他不久查出陽光是多餘的，又發見金屬“鈾”，以及所有它的化合物，具有這種使一個照像乾片變黑的性質。藉巧妙的實驗，他證明光線被一個磁場造成偏轉，一種情形好像暗示說“鈾”隨意輻射或發射“負電子”的樣子。

鐳(Radium)的發現

居里和居里夫人(Pierre and Marie Curie)研究過一種叫做“錳瀝青”(The pitch-blende)的礦，發現就相同重量說，這種物質比較它所含的“鈾”放射力量大得多！這引出——長串的化學的化分(Chemical separations)，第一造成“錒”(Polonium)的發現，其次“鐳”——就相同重量說放射力量將近是鈾的兩百萬倍的一種新元素。

這方面共有兩個主要的研究方法：(一)由對於一個照像乾片的效應；(二)由空氣在“鐳”的周圍的游離(The ionization)，變成良導體並且迅速使一個“金箔驗電器”當中的裝置放電。只需將一碟放射物質到驗電器下部，又用一個“停錶”(The stop watch)測量金箔當失去一定量的電時候怎樣迅速的運動。這種運動速率和物質的“放射強度”(The radioactive strength)成比例。

放射性的衰變和成長

威廉克魯克斯爵士(Sir William Crookes)從硝酸鈾(Uranium nitrate)提出一種放射性極強的物質，並且叫它做“鈾X”(Uranium X)，這種物質慢慢失去它的強度，到靠近一年的時間它已經沒有甚麼餘留，但是原

來的硝酸鈾卻已經獲得“鈾 X”所失去的一切！盧時福 (Rutherford) 和瑣狄 (Soddy) 從硝酸鈾 (Thorium nitrate) 做成一種類似的化學提取工作，得到一種放射性很強的物質，取名做“鈾 X”(Thorium X)。在這裏他們又發見一種相似的損失和增益，衰變和成長 (Decay and growth)。不過卻有一種差別。鈾 X“衰變”無論原來最初的放射強度總量如何，在 21 天內這種強度有一半歸於烏有，然而鈾 X 減半的時期卻是 3.7 天。

盧時福和瑣狄只憑著他們當前的這點有限的知識，構成重要的“放射變化”(Radioactive change 或 transformation) 原理，這到現在仍舊精確的控制下四十種以上的放射元素。

一個放射物質，如果它係由一種原子組成，變化成一種新元素，所依憑的一種變率與在場的原子數成比例，而與物理的以及化學的環境無關。對各異的放射元素，這種“變率”(The rate of transformation 或 change) 是各異的。因此，這類的原子在一種長久的存在以後，沒有“自然的”衰滅；衰滅率是偶然的；一個新產生的原子一樣像

一個舊的變化；死亡率是和人口成比例。這裏“偶然”這個字表示在這裏原因現在是模糊不明的一種統計的或者或然的遭遇。

輻射(Radiations)

不久從放射物質發現出三種“輻射”，取希臘字母起頭的三個作它們的名稱，即 α 射線， β 射線， γ 射線是。據實證明，這類 α 質點就是除去外部兩個電子的“氦原子”(Helium atoms)。 α 質點以 1.4×10^9 到 2.1×10^9 (厘米) / (秒)，或將近光速度十五分之一之各種速度從不同的放射原子的核被投射出。在空氣中的射程是將近 2.7 到 11.47 厘米，這種 α 質點的射程愈長，這種原子的週期愈短，好像那些具有較大的能的質點能夠極迅速的焚燬它們的羈絆而從它們的犴牢逃出。

這類 β 質點是有高的初速度的電子，並且可以橫超將近 2 毫米的鉛，和在空氣內一二米的距離。最速的或者可以有將近光速度的十分之九的一種速，不過習慣上卻用給一個電子等量的動能所需的百萬伏特數來表它們的能。

這類 γ 射線是電磁波，所以和光，紫外線以及倫琴線相似，不過 γ 射線有更短的“波長”，即從 1.6×10^{-10} 到 2.3×10^{-8} 厘米長（參看第十一章末尾所附的表）。

當任一放射原子已經從它的核射出一個 α 或一個 β 質點時候，殘留的就成一個新的放射元素。如是在 1,600 年內，一定量的鐳的一半原子在 α 射線變化後，將變化成稀有氣體“氡”(Radon)。“氡”又射出 α 質點，和產生“鐳 A”(Radium A)，這到損失一個 α 質點後就變成“鐳 B”(Radium B)。其次有一種 β 射線變化；然後鐳 C，以及 D, E, F。最後達到“鐳 G”(Radium G)，這是一種固定的“鉛”，化學上與“鉛”相同，不過有一個不同的“原子量”(The atomic weight)！剛纔提到的“氡”是“氦”氫，“氦”族內的一種氣體，有 3.85 天改變半值的一種蛻變週期(The period of disintegration)。鐳 A, B, C 各有 3, 27, 19 分的週期。蛻變一半最長的週期是“鈾” 4.5×10^9 年，和“釷” 3×10^{10} 年；最短的是“釷 C'”，有將近 10^{-11} 秒的一個週期。這就是說，蛻變最長的“半值週期”(The half-value period)是最短的週期的 10^{27} 倍。

地球的年齡(Age of the Earth)

當“鈾錒瀝青”內的放射元素蛻變時候，一方面 α 質點或“氮”，他方面最後產生的鉛都積累在礦中。仔細的測量這些的總數，可以估計出這塊礦的年齡。顯然若干氮氣或者已從礦中逃出，但是固體鉛卻不是這樣。地球顯然不能夠長生不老，或者必定會沒有鈾或鈾遺留！由測量知道，前寒武紀的下層內有些鈾礦到現在已達 1,400,000,000 年，所以似乎儘可以說我們的這個地球年齡至多不到二十，或許三十，萬萬年。據推測，我們的地球，如像所有的行星以及它們的衛星一樣，有一個時間是太陽的一部分，說到太陽的年齡就得涉及星體以及整個宇宙的年齡問題，這當然越出這本小書的範圍！

宇宙射線(Cosmic Rays)

有些超貫穿射線(The ultra penetrating rays)，從宇宙外層(The cosmos)沿各個方向來到地球。這樣的射線透過相當 29 吋的鉛的大氣，並且深入水中或地中。這些輻射有的被地球的磁場生出好像表示一個正電荷的偏轉。這種輻射的一部分或者可以比擬貫穿最強的 γ 射線，

不過這個未決的問題仍在研究中。

α 射線轟擊 (Alpha Ray Bombardment)

盧時福勳爵曾以三十餘年的光陰，用 α 質點來解決原子的不可思議。他做成 α 質點定會射過金箔的裝置，證明一個原子的大部分東西都被聚集到它的中心叫做核的一小區內。摩色勃 (Mosely) 用電子撞擊各種元素，考查合成的倫琴射線的頻率，和證明有一種正電荷在任何原子的核上，等於電子的電荷（在這種情形內是正的）乘以週期表上那個元素的數目。這個數目叫做“原子序數” (The atomic number)，並表為 Z 這個字母，如此原子核上面的電荷就是 $+Ze$ 。

外層電子 (The Outer Electrons)

波爾 (Bohr) 奇妙的學說在盧時福所說“原子核”的週圍放上若干“電子”，恰和“原子序數”一樣多，並且圍繞原子核在軌道上運動有點像行星繞太陽的情形。這個學說最初有過相當的成就，特別是在氫這種最簡單的例中，不過情勢方面卻已經證明較諸最初所預料的複雜得多。勢必要有能的殼，或水平面由電子漸漸變成；根據這個假

設，元素的“光譜線”(The spectral lines)大半得以解釋，或者更加確切一點，得以類別。

從核射出的“質子”(Protons from Nuclei)

盧時福又用 α 質點撞擊幾種較輕的元素，例如“鉛”，發見正質點從原子內被投射出，在空氣內經過幾厘米的一段射程(The range)，這段長度遠過於 α 射線的。由實驗證明，這些投射出的質點就是“氫原子”的“原子核”，並且曾經被人叫做質子(Protons)。例如，一個“質子”好像星核，而一個“電子”好像衛星，合起來組成一個“氫原子”(The hydrogen atom)。一個“質子”的電荷是正的，它的值等於一個“電子”的電荷，是負的，的值。但是在兩個的質量上，卻有一種駭人的差異，因為“質子”質量將近是“電子”的1,850倍。

理論方面，單從“質子”和“電子”來建造所有92種元素已成爲可能，等到實驗證實有其他“建造磚瓦”可供利用的時候，這種計畫就算完全成功。

中子(Neutron)

若里奧(Joliot)氏幾個人查出，從“鉷”(Polonium，

即“鈾F”)射出的 α 射線，撞擊一薄層的“鈹”(Beryllium)，產生出貫穿力極大可以透過幾吋的鉛的輻射；他們因此斷定這些是 γ 射線。查德威克(Chadwick)卻推斷它們是一種新的質點，有將近和一個“質子”相同的質量，不過缺少電荷！這種中性質點最好就叫做“中子”(The neutron)。

正子(Positron)

安德孫(Anderson)在研究從外界射入大氣叫做“宇宙射線”的貫穿力極大的“輻射”，得到一個明顯的事實，就是，一個電子在一定磁場內雖轉變方向，假設彎向右邊，但是仍時常有別些質點循一個相似的曲線彎向左邊。這是說，兩種質點的速度，質量以及電荷數值都相等；不過是這種新質點有一種正電荷，同時電子有一種負電荷。派定這種新質點的名字是“正子”(Positron)，不過許多人卻多用“正電子”(Positive electron)這個名字。

所以，現在所知道的一點是：

	正(+e)	負(-e)	無電荷(0)
質量 1	質子	?	中子
質量 $\frac{1}{1850}$	正子	電子	?

不論早遲可以尋出一種質量 1 ，電荷 $-e$ 的質點嗎？還有，那有一種質量像電子一般小的不帶電的質點嗎？揣測起來這是有的，並且也曾替這種未知物質取名叫做“中旋子”(The neutrino)，不過卻不易查出這樣小而缺乏電荷的一種質量。正像卻歇爾(Cheshire)貓多半能叫，“中旋子”必定都能旋轉！因為已經查得，前邊所說的質點大都有繞一個軸的一種旋轉，使它們帶有磁性，這因為一種旋轉的電荷即是一種電流，而且每個電流就有一個磁場。這些小的充磁體(The quasi-magnet)的吸引和推斥在原子核的物理性質方面，在分光鏡分析方面，以及在鐵的磁性方面等，都佔一個重要的地位。

同位元素(Isotopes)

法蔣(Fajans)和瓊狄能夠證明出，兩種不同的元素可以在“週期表”(The periodic table)內有同一個位置，並且它們的“原子序數”，原子核上面的電荷，衛星電子(The satellite-electrons)的數目可以完全相等，可是它們卻可以有不同的“原子量”。舉一個簡單的例子來說，如“原子序數”是 3 的“鋰”(Lithium)。“鋰”有兩種：一種

原子量是 6，而另一種是 7。如果 6 個“質子”和 3 個“電子”一起在“原子核”內，核上面的電荷是 $+3e$ 。如果 7 個“質子”和 4 個“電子”構成“原子核”，核上面的電荷仍是 $+3e$ 。這兩種不同的形式被參和在“鋰”內，結果得出原子量是 6.94， Li^7 成最多的。將來這些“同位常素”可以分成 ${}_3\text{Li}^6$ 和 ${}_3\text{Li}^7$ ，在這裏左邊的數字表“原子序數”，而右邊表質量數目。

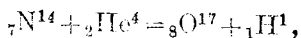
重氫 (Deuterium, Diplogen, H^2 , D.)

尤列 (Urey) 曾經研究出“氫”的一種“同位元素”，在核內有 2 個“質子”和一個“電子”。這種物質有的人叫做“氘” (The deuterium)，有的人叫做“重氫” (The diplogen)。當游離掉或除去它的孤獨的“衛星電子”時候，它叫做“雙質子” (The deuton)，然而“氘核” (The deuteron) 應該好像更較正確，還可以說它和“中子”類似。 ${}_1\text{H}^2$ 是用來撞擊原子的一種纖細的投射物。 H_2^{20} 是具備有趣的物理性質的重水 (The heavy water)。它對於動植物的效應正在研究中，例如有些種子在水內迅速萌芽，在重水內將不能這樣。平常的水往往含有一點重

水，會蓄積在電解池(The electrolytic cells)中。

人工蛻變(Artificial Disintegration)

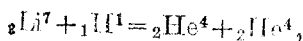
目前關於“原子”的知識有一些係出自威爾遜 (C. T. R. Wilson)，他發明一種“膨脹氣室”(The expansion chamber)，可以在頃刻間增加它帶濕，充滿空氣的容積將近百分之 30。這種濕氣漸漸在 α, β, γ 射線，或 X 射線，或“質子”通過所造成的正負游子周圍形成極微的水珠。所以可以看見並且攝得它們的徑跡。布拉凱特 (Blackett) 是第一個提出明白證據的人，他照這樣方法，用一個 α 質點，現在可以用 ${}_2\text{He}^4$ 來表示，撞擊一個“氮原子”， ${}_7\text{N}^{14}$ ，貫穿進它的原子核內，而藉此將這個質點截獲。同時它像杜鵑一樣，從巢內射出一點更小的質量。發射出“質子”！收支對照表是很明白的：



或 “氮”和“ α 質點” = “氧”和“質子”。

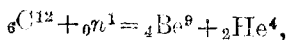
這看起來是很圓滿的，直到後來纔有人發生異議說“氧”是 ${}_8\text{O}^{16}$ 。其實 ${}_8\text{O}^{17}$ 是很稀有的，並且可算是不穩定的，而裂成較輕的原子。

蛻變“原子”的設計正在迅速的推廣。照這樣，“鋰”被用一個快的“質子”來撞擊，截獲“質子”後，就產生兩個“ α 質點”：



“鋰”+“質子”=“ α ”+“ α ”。

同樣得

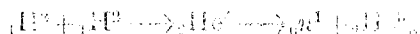
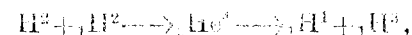


“碳”+“中子”=“鋰”+“ α ”。

鍊金術士的迷夢無疑已被達到。無論將來這些變形成為“有價值”的工作，在現在卻不免是一個無用的問題。

“三氫” (Hydrogen of Mass Three) 和 “三氦”
(Helium of Mass Three)

在卡文底細實驗室，盧時福和他的助才曾經使撞擊“雙氫” (Double hydrogen)。當碰撞的時候，原子核，每個為 ${}_1\text{H}^2$ ，多半暫時結合成一種 α 質點 ${}_2\text{He}^4$ ，這是不穩定的。隨後爆裂化分自然是不成問題。這就生出一個“質子”和一個“三氫原子”，或者一個“中子”和一個“三氦原子”。這兩種可能的變遷可以寫成



這種徑跡的殘片曾由狄(Dee)用一個“威爾遜膨脹氣室”製成，上面表現出快的 ${}^3\text{H}$ 和較慢的 ${}^4\text{He}$ 在這樣一種的“雙氦”原子核間的碰撞以後沿相反方向運動的情形。

用同一個方法發現出“三氫”和“三氦”兩種物質，確是一件非常的成就。

核物理學(Nuclear Physics)

我們曾經說過只用“質子”和“電子”造成“原子”的情形，這就一方面說，仍舊是正確的。不過如果假設一個“中子”同在極密切的結合的一個“質子”和“電子”等量，它們的電荷就應被抵消，同時它們的合成質量就應和一個“質子”的質量無大差異。我們似乎可以相信，所有元素的所有原子核都只由“質子”和“中子”造成，在有些例中結合成 α 質點。下面是一個表，表明“原子核”的組織。例如，一個“ α 質點”或許是兩個“質子”和兩個“中子”。又如， ${}^6\text{Li}$ 或許有 3 個“質子”和 3 個“中子”在原子核；而 ${}^7\text{Li}$ 或許就有 3 個“質子”和 4 個“中子”。這個表開示出 32 個

元素中間將近 12 個，以及一些“同位元素”，這同它們的原子核內的“中子”和“質子”。“鉛”的三種“同位元素”是特別有趣的。茲此

“鉛 206”是從“錳”得來的定局的出產品(The stable end product)。

“鉛 207”是從“錒”(Actinium)得來的定局的出產品。

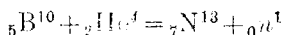
“鉛 208”是從“釷”得來的定局的出產品。

“鉛”的原子量是 207.2。它從前的歷史是甚麼呢？

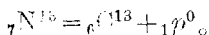
元 素	符 號	原子序數	質 量 數	中子質子		化學的原子量
				在核內	外層電子	
氫	H ¹	1	1	1	1	1.008
氫	H ²	1	2	1	1	
氫	H ³	1	3	2	1	
氦	He ³	2	3	1	2	4
氦	He ⁴	2	4	2	2	
鋰	Li ⁶	3	6	3	3	6.94
鋰	Li ⁷	3	7	4	3	
硼	B ¹⁰	5	10	5	5	10.82
硼	B ¹¹	5	11	6	5	
碳	C ¹²	6	12	6	6	12.00
碳	C ¹³	6	13	7	6	
氮	N ¹⁴	7	14	7	7	14.01
氮	N ¹⁵	7	15	8	7	
汞	Hg	80	198, 197, 199, 200, 201, 202, 204	80	80	200.6
鉛	Pb	82	206, 207, 208, (209)	82	82	207.2
錳	Mn	55	256	55	55	253
錒	U	92	238	92	92	238.17

應激射或人工放射 (Induced or Artificial Radioactivity)

若里奧(F. Joliot)和居里(I. Curie)曾發現,如果從“鈹”來的 α 射線碰撞“鋁”,它們產生一種變化,這時候“鋁”失去一個“中子”,將近變成有一時間是放射的“磷”(Phosphorus),而射出正子。類似的結果曾經用“硼”(Boron)和用“鎂”(Magnesium)得到。大概是,一個和“硼”的原子核結合的“ α 質點”射出一個“中子”,並且在一種不穩定的狀態放棄一個“氮原子核”。這種“射氮”(The radionitrogen)失去一個“正子”,變成一種穩定的但卻稀有的“碳同位元素”(Carbon isotope)。由是

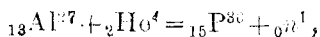


或,“硼”和“ α ”漸變成“射氮”和一個“中子”。其次

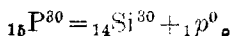


結果在第一個階段,射出一個“中子”,在第二個階段,射出一個“正子”。

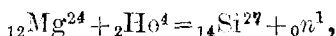
同樣情形,



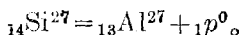
“射磷”(The radiophosphorus)



最後



以及“射矽”(The radiosilicon)



半值週期在“射氮”方面是 14 分鐘；在“射磷”方面， $3\frac{1}{2}$ 分鐘；在“射矽”方面，2 分鐘。阜米 (Fermi) 曾經對許多其他的例作過精密的考查。

光子 (Photons)

關於質點已經說得太多，而關於輻射，關於電磁波又未免說得太少。在蒲郎克偉大的發現——輻射成與頻率成比例的能束，團或量子從原子被傳到原子——以後，愛因斯坦大膽的成立一個新見解說光係成具有能 hf ，或 $h\nu$ [這裏 h 代表已知值的蒲郎克常數，而 f ，或 ν (希臘字母 n) 代表波的頻率] 的光子進行。因此，現在就有一種“光箭”(Light dart, 或作“光矢”)觀念，與舊日的光從源向外進行均勻的分配到一個擴張不已的球殼上的觀念遙遙

對峙。“光子”觀念對於“光電學的了解顯是不可少的”，不過在光的干涉的解釋上卻有很大的困難。物理學家必須同時馴服兩匹馬，唯一希望就是這兩匹馬最後能合而為一！

電子波(Electron Waves)

當物理學家在設法利用許多事物的時候，一種驚人的發現由哲默爾(Germer)和達維孫(Davisson)做出，並且又經湯姆孫(G. P. Thomson)將它推廣。如果便一薄柱電子射過金，銀或鋁箔，並如果在箔後幾吋遠處放一塊照像底片，在片上就現出圈和點，與倫琴射線所生的極為相似。但是這樣射線是電磁波，同時各人通常都認為電子是帶負電荷的質點。所以顯見電子有波和它們連在一起，我們並且證實“波長”等於“蒲郎克常數”除以電子的“動量”(The momentum of electron)，或

$$(\text{波長}) = \frac{h}{(\text{質量}) \times (\text{速度})}。$$

可是有一點區別。因為倫琴射線不受一個磁場所擾動，然而和電子相伴時候，它們，以及它們的繞射花樣(The diffraction pattern)，能夠因一塊淺形磁的極臨近而發生

動盪。

一個“光子”的質量

在剩餘下的這點有限的地位中間，當然不夠供我們用來討論像“相對論”(The relativity)這樣大而且難的一種題目。但是，有一個結果，出自哈森霍耳 (Hasenöhrl)，以及出自愛因斯坦，卻表現得很清楚。各種的能都有質量，同時所有的質量都有能。而且，在它們中間有一種比例關係。任何物質一克內的能的總數是 9×10^{20} 爾格。簡單一句話說，

$$w = mc^2;$$

或，“能”等於“質量” \times (光的速度) 2 。

因為一個“光子”，或“光量子”(Light quantum)，具有能量 hf ，它就應該有一個“相當質量”(The equivalent mass) $\frac{hf}{c^2}$ ，和一個“相當動量”(The equivalent momentum) $\frac{hf}{c}$ ，在這裏 f 代表光的頻率，而 h 是蒲郎克常數 6.57×10^{-27} 爾格·秒。

字頭單位(Super Units)

這些關係中有些的簡單處是值得注意的。

$$\text{“能”或“功”} = J \times \text{“熱”}, \quad w = Jh'$$

$$\text{“能”} = \text{“質量”} \times c^2, \quad w = mc^2$$

$$\text{“能”} = h \times \text{“頻率”}, \quad w = hf$$

當然可以改變熱，質量，頻率的單位，做到不用焦耳常數，光的速度，以及蒲郎克常數，和使用這些字頭單位來表明數值關係，

$$W = H = M = F,$$

或 能 = 熱 = 質量 = 頻率。

而使所有這些成爲同一基本統系可以彼此替代的見解。

能量不滅所以是和頻率不滅一樣。能量的無效，散逸或衰變，以及它的或然率或熵的增加，就是等頻率的平原逼近。預料不免冒昧，不過目前的趨勢在近世物理學內卻將波的頻率看做最基本的而且有效果的觀念。

測不準 (Indeterminacy)

前邊說過，“光子”或“光量子”成等於 h 乘頻率的能量束從原子到原子，在這裏 h 就是蒲郎克常數；這層事實使作用量 (The action) (註)無限制的剖分受到一重限制，

(註) 蒲郎克常數 h 就是“作用量”的單位，在這裏“作用量”是“功”乘以“時間”，而“功率”是“功”除以“時間”。

有幾分像電荷 e 不容我們將“電量”作連續不斷的剖分。罕森堡 (Heisenberg) 曾經表明，如果確定好一個電子的速度，勢必不能規定出這個電子的準確的在處。如果知道電子的位置，不能準確的說出它的速度。這些限制都是造化安排下，並不由於人們魯鈍。這是叫做“測不準原理” (The Principle of Indeterminacy 或 Uncertainty)。

波動力學 (Wave Mechanics)

德布洛理 (de Broglie) 認為用平常的力學來敘述原子內電子的行爲，實在太過於空泛；所以他提出一種學說，認做在原子核周圍有電子的“駐波” (The standing waves of electrons) 存在。這種巧妙的觀念確有充分的至理，從這點出發，史呂頂格爾 (Schrödinger) 得到很大的成就。現在我們隨意都能夠寫出波動方程式 (The wave equations)，這些方程式在許多的例中都替基本的性質給出圓滿的解答。底拉 (Dirac) 曾經另外開拓出一種包容“波動方程式”，滿足相對論和別些條件的特殊的力學，並且他好像正握着可以暴露許多奇蹟的寶鑰。

附 錄

譯 名 對 照 表

A

Acceleration, 加速度
 Angular acceleration, 角加速度
 Achromatism, 消色差
 Action, 作用
 Adrian, 亞德里安
 Aether, 以太
 Agricola, 亞格里考拉
 d'Alembert, 達隆伯
 α particles, α 質點
 Alternating current, A.C., 交流
 Alto, 女中音
 Ampere, 安培
 Ammeter, 安培計
 Anderson, 安德孫
 Aneroid, 無液的
 Aneroid barometer, 無液氣壓計
 Angles, 角
 Angular velocity, 角速度
 Angular acceleration, 角加速度
 Anticyclones, 反旋風
 Appleton, 阿卑來敦
 Arc lamps, 弧光燈
 Archimedes, 阿幾默德
 Argon, 氬
 Astigmatism, 散光(條散性)
 Atmosphere, 大氣
 Upper atmosphere, 上層大氣
 Atomic number, 原子序數
 Audition, 聽
 Range of audition, 聽程

B

Balance, spring, 彈簧秤

Balloon, 氣球
 Sounding balloon, 測量氣球
 Bar, 巴
 Barometer, 氣壓計
 Bass, 低音
 Battery, 電池組
 Beats, 拍
 Belt, 帶
 Belt transmission, 帶傳遞
 β rays, β 射線
 Blakett, 布拉凱特
 Block, pulley, 滑輪組
 Blow, 碰撞
 Blue sky, 蔚藍天
 Bohr, 波爾
 Boiling point, 沸騰點
 Boyle, 波義耳
 Boyle's law, 波義耳定律
 Bradley, 布拉德萊
 Bragg, 布拉格
 British Thermal Unit, B. T. U.,
 英國熱量單位
 de Broglie, 德布洛理
 Brown, 布朗
 Brownian movement, 布朗運動
 Bubbles soap, 肥皂液膜(肥皂泡)
 Buoyancy, 浮力

C

Calibration, 較準分量
 Caloric, 熱質
 Calorie, 卡
 Camphor, 羚羊皮
 Candle, 燭
 Candle power, 燭光

Candle standard, 燭標準
 Capacitance, 容量, 電容量
 Capillarity, 毛細作用
 Carbon dioxide, 二氧化碳
 Causation, 因果關係
 Celestial mechanics, 天體力學
 Cell, 電池
 Primary cell, 原電池
 Secondary cell, 副電池
 Standard cell, 標準電池
 Chadwick, 查德威克
 Charles' law, 查理定律
 Charge, 電荷
 Circular motion, 圓運動
 Clouds, 雲
 Cirrus clouds, 卷雲
 Cumulus clouds, 積雲
 Nimbus clouds, 雨雲
 Stratus clouds, 層雲
 Alto-stratus clouds, 高層雲
 Cirro-stratus clouds, 卷層雲
 Cochlea, 蝸牛殼
 Coefficient, 係數
 Coefficient of expansion, 膨脹係數
 Colloids, 膠體
 Colours, 色
 Colours blind, 色盲
 Compass, 羅盤
 Gyro compass, 迴轉羅盤
 Magnetic compass, 磁針羅盤
 Ship's compass, 船用羅盤
 The variation of compass, 羅盤的變更
 Compass needle, 羅盤針
 Compression, 壓縮
 Condenser, 容器
 Conduction, 傳導
 Conductor, 導體
 Heat conductor, 熱導體
 Electric conductor, 電導體
 Convection, 對流
 Cooling, 變冷
 Corona, 電暈
 Cosmic rays, 宇宙射線
 Coulomb, 庫侖
 Couple, 力偶

Crookes, 克魯克斯
 Crystal, 晶體
 Curie, 居里
 Marie Curie, 居里夫人
 Current, 電流
 Cyclones, 旋風

D

Daniel cell, 丹聶爾電池
 Davisson, 達維孫
 Davy, 達維
 Decibel, 分貝耳
 Declination, 磁偏角
 Dee, 狄
 De Forest, 德孚來士特
 Density, 密度
 Deuterium, 氘
 Deuton, 雙質子
 Dew, 露
 Dew point, 露點
 Detonation, 擾動
 Dielectric constant, 介質常數
 Diffraction, 繞射
 Diffusion, 擴散
 Diode, 兩極管
 Diopter, 度
 Dip, 磁傾角
 Dip-circle, 磁傾儀
 Diplogen, 重氫
 Dirac, 狄拉
 Direct current, D. C., 直流
 Discharge, 放電
 Point discharge, 尖端放電
 Brush discharge, 刷形放電
 Gases discharge, 氣體放電
 Disintegration, 蛻變
 Atomic disintegration, 原子蛻變
 Displacement, 位移
 Doppler, 都卜勒
 Doppler effect, 都卜勒效應
 Dynamics, 動力學
 Dynamometer, 驗電力計
 Dyne, 達因

E

Earth, 地球
 Age of earth, 地球的年齡
 Edington, 愛丁頓
 Edison, 愛迪生
 Edison cell, 愛迪生電池
 Einstein, 愛因斯坦
 Elasticity, 彈性
 Electric wind, 電風
 Electricity, 電, 電學
 Electrification, 起電
 Electrochemical equivalent, 電
 化當量
 Electrolysis, 電解
 Electrolyte, 電解質
 Electromagnetic wave, 電磁波
 Electromagnet, 電磁體
 Electromotive force (e. m. f.),
 電動勢
 Electron, 電子
 Electroplating, 電鍍
 Electrophorus, 起電盤
 Electroscopes, 驗電器
 Electrostatics, 靜電學
 Element, 元素
 Radioactive element, 放射性元
 素
 Elevator, 升降機
 E. m. f. induced, 應電動勢
 Energy, 能, 能量
 Kinetic energy, 動能
 Potential energy, 位能
 Conservation of energy, 能量
 不減
 Unavailability of energy, 能
 量無效
 Engine, 機器(引擎)
 Steam engine, 汽機
 Diesel engine, 狄賽爾機
 Internal combustion engine,
 內燃機
 Entropy, 熵
 Eötvös, 澤提弗士
 Equilibrium, 平衡
 Stable equilibrium, 穩定平衡

Unstable equilibrium, 不穩平
 衡

Erg, 爾格
 Expansion, 膨脹
 Linear expansion, 綫膨脹
 Surface expansion, 面膨脹
 Volume expansion, 體膨脹
 Expansivity, 膨脹率(即膨脹係
 數)
 Eye, 眼

F

Fahrenheit scale, 華氏溫度標
 Fajans, 法蔣士
 Falling body, 落體
 Farad, 法拉
 Faraday, 法拉第
 Field glass, 野外鏡
 Field, 場
 Magnetic field, 磁場
 Gravitational field, 引力場
 Fizeau, 菲左
 Flame, sensitive, 靈敏焰
 Fleming, 佛來銘
 Flux, 通量
 Magnetic flux, 磁通
 Light flux, 光通
 Fog, 霧
 Foot-pound, 呎磅
 Force, 力
 Parallelogram of force, 力的
 平行四邊形
 Triangle of force, 力的三角形
 Foucault, 傅科
 Franklin, 福朗克林
 Franklin experiment, 福朗克
 林實驗
 Fraunhofer's lines, 夫牢恩和斐
 譜線
 Frequency, 頻率
 Friction, 摩擦
 Coefficient of friction, 摩擦係
 數
 Fulcrum, 支點

G

Galileo Galilei, 伽利略加利列
 Galilei-Newton law, 加利列牛頓定律
 Galton whistle, 高爾敦警笛
 Galvani, 賈萬尼
 Galvanometer, 電流計
 γ rays, γ 射線
 Gamut, 自然音階
 Gas law, 氣體定律
 Gauss, 高斯
 Generator, 發電機
 Alternating generator, 交流發電機
 Direct generator, 直流發電機
 Germer, 哲默爾
 Gilbert's De Magnete, 吉柏著的磁體
 Gimbals, 稱平環
 Gravitation, 萬有引力
 Gravity, 重力
 Centre of gravity, 重心
 Gyrocompass, 迴轉羅盤
 Gyroscope, 迴轉器

H

Harmonic motion, simple, 簡諧運動
 Harmonics, 諧, 諧音
 Hasenöhrl, 哈森霍爾
 Haydon, 海敦
 Highs, 高壓
 Hipparchus, 希帕昔士
 Hippocrates, 希坡克拉底士
 Heat, 熱
 Heat units, 熱單位
 Latent heat, 潛熱
 Heat of fusion, 熔解熱
 Heat of vaporization, 汽化熱
 Heativity, 熱率(即比熱)
 Heaviside, 海維壽
 Helium, 氦
 Triple helium, 三氦

Heisenberg, 罕森堡
 Helmholtz, 赫爾姆霍茲
 Heussler alloy, 霍歐士勒合金
 Hoar frost, 白霜
 Hooke, 虎克
 Hooke's law, 虎克定律
 Horse-power, 馬力
 Humidity, 濕度
 Relative humidity, 相對濕度
 Hydrogen, 氫
 Heavy hydrogen, 重氫
 Trebble hydrogen, 三氫
 Hydrostatics, 水力學(流體靜力學)

I

Ice, 冰
 Iceberg, 冰山
 Iceland spar, 冰洲石(即方解石)
 Illumination, 照度
 Image, 像
 Real image, 實像
 Virtual image, 虛像
 Impact, 碰撞
 Impulse, 衝
 Incandescent lamp, 白熾燈
 Indeterminacy, 測不準
 Induction, 感應
 Magnetic induction, 磁感應
 Electrical induction, 電感應
 Induction coil, 感應圈
 Inertia, 慣性, 慣量
 Moment of inertia, 轉動慣量
 Inert gas, 鈍氣
 Insulator, 絕緣體
 Interference, 干涉
 Inverse square law, 倒平方定律
 Ion, 游子
 Ionize, 游離
 Ionized atom, 游離原子
 Ionization, 游離
 Ionosphere, 游子圈
 Isobar, 等壓線
 Isotope, 同位元素
 Isotope table, 同位元素表

J

Jack, 打雷機
 Joliot, 若里奧
 Joule, 焦耳
 Joule's equivalent, 焦耳當量
 Jupiter, 木星

K

Keats, 凱次
 Kelvin scale, 湯姆孫溫標
 Kennelly, 經立理
 Kepler, 開普勒
 Kilowatt-hour, 仟瓦小時
 Kinetic theory, 動力論
 Kirchhoff, 克希荷夫
 Kundt's tube, 昆武管

L

Lambert's law, 朗伯定律
 Law, 定律
 Lead, 鉛
 Leibnitz, 萊布尼茨
 Lenz, 楞次
 Level, 水平面
 Lever, 槓杆
 Leyden jar, 來頓瓶
 Lift, 升降機
 Light, 光
 Light velocity, 光速度
 Light reversible, 光可逆湖
 Lightning, 電閃
 Lightning rod, 避雷針
 Lines of force, 力線
 Lines of magnetic force, 磁力線
 Lines of electric force, 電力線
 Lithium, 鋰
 Locke, 洛凱
 Lodestone, 指南石
 Long sight, 遠視
 Loop, 液環
 Loudness, 響度
 Lumen, 流明

M

Machine, 機
 Magnetic, 磁
 Magnetic effect, 磁效應
 Magnetic pole, 磁極
 Magnetic induction, 磁感應
 Magnetism, 磁, 磁學
 Magnet, 磁體
 Mass, 質量
 Mass number, 質量數
 Maxwell, 馬克士威爾
 Megohm, 百萬歐姆
 Mechanics, 力學
 Melting, 熔解
 Melting point, 溶解點
 Metabolism, 新陳代謝
 Meteor, 隕石
 Michelson, 邁克爾孫
 Milli, 毫
 Millibar, 毫巴
 Microscope, 顯微鏡
 Mind, 心靈, 智慧
 Mirage, 海市蜃樓
 Mirror, 鏡
 Concave mirror, 凹鏡
 Convex mirror, 凸鏡
 Molecule, 分子
 Moment, 矩
 Moment of inertia, 轉動慣量
 Moment of momentum, 動量矩
 Momentum, 動量
 Moon, 月球, 衛星
 Morse alphabet, 模斯電碼
 Motion, 運動
 Laws of motion, 運動定律
 Motor, 電動機
 Music, 音樂
 Musical instrument, 樂器

N

Natural philosophy, 自然哲學
 Nature, 自然, 造化
 Neon, 氛

Neptune, 海王星
 Neutrino, 中微子
 Neutron, 中子
 Newton, 牛頓
 Nicholson, 尼科爾遜
 Nicol's prism, 尼科爾稜晶
 Nitrogen, 氮
 Node, 波節
 Noise, 噪聲
 Northern light, 北極光
 North pole, 北極
 Nuclear physics, 核物理學
 Nucleus, 原子核
 Nutation, 章動

O

Oersted, 奧斯特
 Ohm, 歐姆
 Ohm's law, 歐姆定律
 Osmosis, 滲透作用
 Osmotic pressure, 滲透壓力
 Overtone, 泛音
 Oxygen, 氧
 Ozone, 臭氧
 Ozonosphere, 臭氧圈

P

Parallelogram, 平行四邊形
 Peltier, 拍爾提
 Peltier effect, 拍爾提效應
 Pendulum, 擺
 Clock pendulum, 鐘擺
 Simple pendulum, 單擺
 Period, 週期
 Period to half value, 半值週期
 Phot, 幅透(即厘米燭)
 Photo cell, 光電管
 Photo chemical, 光化的
 Photo electricity, 光電, 光電學
 Photon, 光子
 Physiology, 生理學
 Pier, 石樁, 木樁
 Pigment, 顏料

Pipe, 管
 Organ pipe, 風琴管
 Open end pipe, 開管
 Pitch, 旋距
 Plouck, 蒲路克
 Planck's constant, 蒲路克常數
 Plumb line, 鉛垂綫
 Pluto, 冥王星
 Polar front, 極陣線
 Polarization, 極化
 Pole, 極
 Positron, 正子
 Potential, 位
 Difference of potential, 位差
 Pound-foot, 磅呎
 Poundal, 磅達
 Power, 功率
 Precession, 進動
 Pressure, 壓力
 Electric pressure, 電壓
 Principia, 格物原理
 Prism, 稜鏡, 稜晶
 Probability, 必然率
 Proton, 質子
 Pulley, 滑輪
 Pump, 唧筒
 Suction pump, 吸取唧筒
 Air pump, 抽氣機
 Vacuum pump, 真空唧筒
 Pythagoras, 畢達哥拉士

Q

Quantity, 量
 Quantity of electricity, 電量
 Quantum, 量子
 Quantum of light, 光量子
 Quantum theory, 量子論

R

Radian, 弧度
 Radiant heat, 輻射熱
 Radiation, 輻射

Radio or wireless, 無線電
 Radioactivity, 放射, 放射學
 Induced radioactivity, 應放射
 Artificial radioactivity, 人工
 放射
 Radium, 鐳
 Rainbow, 虹霓
 Primary rainbow, 虹
 Secondary rainbow, 霓
 Rayleigh, 萊蘭
 Reaction, 反作用
 Recoil, 反坐, 後坐
 Rectify, 調整, 整流
 Reflection, 反射
 Refraction, 折射
 Index of refraction, 折射率
 Relay, 替續器
 Resistance, 抵抗
 Resonance, 共振
 Resultant, 合成的
 Retardation, 減速度
 Retina, 網膜
 Römer, 雷默爾
 Röntgen, 倫琴
 Röntgen ray, 倫琴射線
 Ruhmkorff, 魯姆考夫
 Rutherford, 盧時福

S

Scalar, 無向量
 Scale, 尺度, 標
 Schrödinger, 史呂頂格
 Seebeck, 悉比克
 Shortsight, 近視
 Siphon, 虹吸管
 Siren, 驗音器
 Sky, 天
 Snell's law, 斯奈爾定律
 Soap film, 肥皂液膜
 Soddy, 瑣狄
 Solenoid, 螺線管
 Soprano, 女高音
 Sound, 聲
 Sounding board, 共振板
 Sounding body, 發聲體

Sounding ballon, 測量氣球
 Spark, 電火花
 Specific gravity, 比重
 Specific heat, 比熱
 Spectacle, 眼鏡
 Spectrometer, 分光計
 Spectroscope, 分光鏡
 Spectrum, 光譜
 Continuous spectrum, 連續光
 譜
 Speed, 速
 Spinning top, 陀螺
 Spirit level, 氣泡水準
 Standard, 標準
 Statics, 靜力學
 Graphic statics, 圖解靜力學
 Steam, 蒸汽
 Steam engine, 蒸汽機
 Storm, 暴風
 Strain, 應變
 Stratosphere, 成層圈
 Stress, 應力
 Strut, 支柱
 Sun, 太陽
 Supersonics, 超聲
 Surface tension, 表面張力
 Surface density, 表面密度
 Swan, 斯旺
 Switchback, 蜿蜒鐵道

T

Telegraph, 電報機
 Telephone, 電話機
 Telescope, 望遠鏡
 Reflecting telescope, 反射望
 遠鏡
 Refracting telescope, 折射望
 遠鏡
 Television, 電視
 Temperature, 溫度
 Absolute temperature, 絕對
 溫度
 Tension, 張力
 Thales, 泰勒士
 Therm, 克卡
 Thermal unit, 熱量單位

Thermionics, 熱游子學
 Thermometer, 溫度計
 Thomson, 湯姆森
 Thorium, 鈷
 Timbre, 音色
 Torque, 轉矩
 Transformer, 變壓器
 Triode, 三極管
 Tycho Brahé, 台科不拉埃

U

Urey, 尤列
 U-tube, U形管

V

Vacuum, 真空
 Valve, 活門
 Van der Graaf, 凡得格拉夫
 Vapour, 汽
 Saturated vapour, 飽和氣
 Vector, 有向量
 Velocity, 速度
 Uniform velocity, 等速度
 Variable velocity, 變速度
 Relative velocity, 相對速度
 Angular velocity, 角速度
 Areal velocity, 面積速度
 Viscosity, 粘滯性
 Volta, 伏打
 Voltaic cell, 伏打電池
 Voltaic pile, 伏打電池堆
 Voltmeter, 電量計
 Volt, 伏特
 Voltmeter, 伏特計
 Voice, 聲

W

Wallis, 華立士
 Water, 水
 Heavy water, 重水
 Watt, 瓦特
 Wattmeter, 瓦特計
 Wave mechanics, 波動力學
 Wave length, 波長
 Wave, 波
 Longitudinal wave, 縱波
 Transverse wave, 橫波
 Water wave, 水波
 Wave in string, 弦上的波
 Standing wave, 駐波
 Wave in rod, 桿上的波
 Sound wave, 聲波
 Weather, 天氣
 Weather sign, 天氣徵兆
 Weston cell, 衛斯敦電池
 Wilson, 威爾孫
 Wilson expansion chamber, 威爾孫膨脹氣室
 Wimshurst, 威姆謝斯特
 Wireless, 無線電
 Work, 功

X

X-ray, X射線

Y

Young's modulus, 楊氏模數



書 號 35322
定價人民幣 12,000 元