

新 中 學 文 庫
物 理 學 小 史

鄭 太 朴 著

商 務 印 書 館 發 行

百 科 小 叢 書

物 理 學 小 史

鄭 太 朴 著

王 雲 五 編

中華民國二十三年十一月初版
中華民國三十六年二月三版

(52174.5)

百叢書
物理學小史一冊

定價國幣貳元伍角

印刷地點外另加運費

版 翻
權 印
所 必
有 究

著 者 鄭 太 朴
主 編 者 王 雲 五

發 行 人 朱 經 農
上海河南中路

印 刷 所 商 務 印 書 館
刷 印 書 館

發 行 所 商 務 印 書 館
各 地 印 書 館

(本書校對者王養吾)

序

這本物理學史是簡單中之簡單者；其目的在使讀者能由此得一個粗粗的物理學發展經過之概念而已。所以一切敘述，均祇能略略一提，無法詳盡。本來讀物理學史時，必得先讀過一些物理學的書；故我們在這裏祇能對於各種物理現象及理論，略一述其發見之年代先後以及來源經過；這些現象及理論之詳細內容如何，卻不及再敘述了。要不然，這物理學史便兼有教科書性質，絕不是幾萬字所可了的事。又，這書內對於過去的事實敘述較多，對於最近的學說及發見卻反而少，亦是這個意思；因為最近的發見及學說等，尋常教科書中都有，正不須到物理學史中去求也。我們在這書內沒有講到最近的原子論、相對論、量子論等等新說，而且所敘至十九世紀而止；就是因為這些均可求之教科書及專書中，不用我們說下去了。

本書材料，多取諸 *Sammlung Göschen* 中 *Kistner* 的兩本小冊子并附及。

目錄

緒言.....	一
一 古代的物理學.....	六
二 中世紀的物理學.....	一六
三 近代物理學之先導者.....	三五
1. 加里萊 2. 加里萊的同時代人 3. 加里萊的後進 4. 居禮開、許根司及其同時代人 5. 伊薩克牛頓	
四 十八世紀之物理學.....	六六
1. 力學及地球物理學 2. 聲學 3. 熱學 4. 光學 5. 磁與電	
五 十九世紀之物理學.....	九五

物理學小史

1. 力學
2. 聲學
3. 熱學
4. 光學
5. 電磁學

物理學小史

緒言

物理學之真正成爲科學，自然還是近數十年來的事；在十九世紀之初葉，物理學界還未出草創時期，十九世紀以前更無論了。所以嚴格的修物理學史，只好斷自數十年以來，往昔的物理學，都看作有史以前之發軔時期。更進一步，我們如果以系統及整個來判別科學之成立，則雖謂物理學爲近年來才成立的，亦無不可。不過這樣說法，自然太呆板了；人類間的一切文物制度都有萌芽、胚胎、發展、成熟等階段，要沒有以前長時期的草創萌芽，即不會有後來的成熟，所以敘述現有的成績，却亦不可忘了過去的淵源。在這一點上，我們不能不承認，嚴格的物理學雖然成立未久，至今還很幼稚，但其淵源則可上溯至上古時代，有幾千年的來歷了。

拿整個的歷史眼光來看，十九世紀實在是人類生活史上最可紀念的一頁。人類的經濟生活，社會狀況，一切文物制度及思想等等，都在這個時期內到了一個新階段；各種科學亦均在這幾十年中成熟，物理學不過是其中之一是了。就這一點說，物理學發展的歷史，可說與其他科學大體上相彷彿；祇因其性質的關係，以及能應用數學為其研究方法，故進步能獨較其他科學為速，精確的程度亦獨高，除數學而外，現在其他各科學竟莫能望其項背了。

在古時候，「自然哲學」一語包括了一切關於自然的知識，上至天文下及蟲魚的研究，統統都在內，除了關於社會生活方面的倫理道德等以外，其餘一切聲光礦植均不分的統率在自然哲學中。所以在這時候，物理學是與其他自然研究不分的。一直到十九世紀之初，還有這種狀況。後來雖然漸漸的分了功，各科學都獨樹一幟，自己分門別類的去研究，不過自然哲學的名稱，仍多沿用。十九世紀中葉的物理學著作，好多仍稱為自然哲學；所以『物理學』(Physik)一語，比較上還是新的。降及近世，則不獨各種自然研究，都已自成專科，即物理學本身內亦分成為數門，往往各不相干的單獨發展；因而物理學亦成了一個總名，裏面所包含的，實在是可以互相獨立的幾個系統。

中間雖然經過許多大物理學者的努力，想把這許多系統溝通起來成爲一個的物理研究，不過迄今尚不能完全成功；直到最近，此項努力才可說得到相當的頭緒了。我們可以相信，物理學內部各系統之互相獨立，不久便可融化，而成爲一個的物理研究。

同時，與物理學接近的科學，亦有歸併入物理學之勢。原子研究發達的結果，或者可使習化學的無須記死公式，終日做玻璃管的工作；這個理想，現在已爲一般物理學者所肯定了。化學的歸併入物理學，或者又可漸漸的將生理研究等都併入物理學。如是，我們不難設想古時的自然哲學將一切自然研究統括在一處的方法，又將復見於將來。當然，古時的自然哲學，是一個雜貨堆，將來的大物理學則爲整個自然，有機無機的貫通。而且人類的社會，如果亦脫不了自然的法則，則我們并可以設想，也許將來會有這一天，我們人類間祇有一種科學，無所謂精神科學社會科學自然科學等種種分別了。

至於人類知識的進步，則亦有其一定的途徑。各種科學的發達，雖先後參差，遲速不一，不過就大體說來，所循的軌道還是大致相同。由零星的經驗，得到些模糊的概念，再由此聚集材料，經過分

析綜合種種階段，以進爲較有系統的知識，漸漸的融成爲整個。所謂由簡陋而繁複，由繁複而復歸於簡單，各種科學大都是由此項途徑進展；在物理學方面，這個事實尤爲易見。古時候只有零星的關於力、光、電等種種方面之知識，簡陋不成爲系統；其後關於此的材料愈堆愈多，則由簡陋而成爲混雜；中間經過一個階段，各方面的材料都能整理起來自成爲系統，但是各自獨立，仍是個繁複的局面；直到近年來，這些系統才能漸漸融化成爲整個；現在可說是已有頭緒，不過尙須一番努力，方能真正的將物理學融成一塊。

說到這裏，我們又可想起一問題。近來持唯物的經濟史觀以研究文物制度之發展史者，都把科學的發達，歸之於經濟發展的反映。就這個觀點看來，我們實在應當去研究物理學的歷史內，有多少是經濟發展史的成分。事實上，我們不能不承認，各種科學都在十九世紀經濟生活有相當發展後才成熟，這不是一個偶然的事實，一定有他的背景在。單就物理學而論，我們亦必須承認，古時簡陋的物理知識，多半是因生活上之需要而得來的；後來物理學的進步，受工業方面的需要之推動，尤爲不少。所以科學的發源進步，都有待於經濟生活的推動，這個事實，我們絕不能否認。將經濟

發展史與科學發展史參看，實在可給我們許多的啓示。

不過同時，我們亦不能過於機械。我們另一方面固須承認科學的發達亦可推動經濟的發達，并可直接的使經濟生活進步。而在他方面，我們却亦不能否認，除了生活上的需要外，人類的求知性以及理智作用，都是科學發源及發達的重要成分。人生而有求知的本性，這個事實，我們在兒童方面天天可以證到，決不能否認這是科學的來源。試將近代物理學的隨便那一頁來翻閱一下，即不能不承認人類理智作用的創造力是何等偉大。所以科學的來源固有若干成分是生活需要的推動，後來科學的發展，亦還脫不了經濟生活的促進，但我們卻不能認此爲唯一的源泉而否認其他。關於經驗與先天的爭論，實在亦是如此；但這些問題我們不欲論了。

此處所說的，固是哲學上的論點，共同於一切科學的，不在物理學本題以內。不過在物理學方面，這個問題亦同樣的發生，所以在這裏不能不先提及一下。以後專述物理學發達經過的大略。

一 古代的物理學

說到古代的物理學，我們自當從巴比倫、埃及、中國、印度等說起。不過關於此的一般史料已不易搜，欲求其物理方面的史料自更困難了。雖然有好多考古學者，因為發見巴比倫在五千年前已有系統的度量衡制，故推想他們當時會有擺錘時計，而且其時間單位是秒，與我們現在所用的相彷彿；但是這個推想究竟太渺茫，不足以徵信。不過那時候已有了滴漏的計時法，這是可以相信的。在天文方面亦已有相當經驗，這亦是個事實，將圓分成爲三百六十度，巴比倫人老早已有這個辦法了。

數十年前，曾有人在尼尼夫（Ninive）地方古蹟中發見一凸鏡，爲天然晶所製成，其平均的直徑約爲四公分，厚約半公分，焦點距離約十一公分。但這究竟是何時代的遺物已難考據，而且是偶然的產物，或用於一定的目的，亦難斷定，所以不能有所論斷。

在埃及方面，我們所得的材料亦甚少。從遺留下來的圖形中，可發見四千年前埃及人已有抽水的簡單機器、天平稱以及銅鏡等物。至今猶巍然留在世界上的金字塔，這最足令人弔仰五千年前的埃及工程。奇日（Gizeh）那裏最大的一個金字塔，其基地爲一正方形，恰對準東西南北四方向，遞長二百零十三公尺，雖頂尖已潰毀，還有一百四十六公尺高；全塔石爲所壘成，至爲整齊。當時進行這偉大的建築，自非有一定的力學智識不可。所以好多人斷定當時埃及人必曾製造過偉大的起重機。這樣大的工程，以現在的建築學當之，尙非易事；在五千年前竟能成此，真是世界上不朽的事業。

此外，古埃及人在引水灌溉的工程方面，亦有可記載的發見。因而好多學者設想當時埃及人已頗具固體及流體力學的知識，似非過於誇大其事。不過說埃及人對於電的方面亦早有所得，則不足信。

中國古代的物理知識，至少不在巴比倫、埃及以下，這是我們所敢自信的；可惜史料太少，湮沒無可稽了，遂使我們現在無法數自己的家珍。但如磁針的應用，則現在已公認爲中國人的發見；雖

然不一定在黃帝時已有了，無論如何總是中國人所首創的。關於電磁方面的智識，在物理智識中最爲後起；磁力的應用，尤其在後；但中國人則在上古時已能應用磁針，這算是可以自豪的了。

關於天文方面的智識，以及計時的方法等，在中國上古時亦早已有相當的系統；這些都是現在一般所公認的了。春秋戰國之世，爲中國歷史上思想學術最發達的時代；據說物理學的智識，亦於此時爲最發達。可惜現在只存些鱗爪的傳說，好像魯班能削木鸞使其高飛等。墨經上雖亦有些類似於物理智識的話，亦太模糊，難以整理。而如用凸鏡向太陽取火，并想用凹鏡向太陰取水（！）。則志籍上亦老早已有記載，不過始於何時，却亦難考了。

總之，中國古代的學術思想，都比較他人爲進步；只因後來整個的社會停滯不進，於是一切都不發展；現在我們要找些史料都不易了！

在印度方面，自古卽爲空想的世界，所以宇宙人生方面的思想，三千年前已不少深刻的見解。數學上亦老早就有供獻。關於物理的智識，現在就印度古籍所載，也尙有可考者；地水火風的宇宙觀，可說是原始的物理宇宙觀，原子論的思想，較希臘人爲更早。其他如五明裏面的方術內亦夾有

些零星的物理智識。不過我們現在所得的史料更少，所以更難多敘了。

關於古代物理智識，較可考證者，還是希臘人方面爲多。不過我們如將伊洪學派 (Ionische Schule) 皮太谷 (Pythagorische) 派、愛利亞 (Eleatische) 派等詳述一道，則亦沒有這個必要；這些思想還是玄學空想，不能作爲物理的智識。與古印度的玄想沒有多的分別。又如勞吉波 (Leukippos)、亞那沙古拉 (Anaxagoras)、德謨克利多 (Demokritos) 等所創的原子思想，近代的學者每把他們看作物理學上原子論之鼻祖，實在也有些過於誇張；我們前已說過，此項思想在古印度早已有了。

希臘人的玄想到亞里士多德終算告了一段落。亞氏實可謂科學思想的鼻祖，除了有名的邏輯系統外，於力學光學方面均有相當的智識；實驗方法亦自亞氏開始，不過自然是很原始的。

對於物理智識較有供獻的，還是亞几默德 (Archimedes) 氏。除了對於數學方面的創見外，力學的最初創始者，亦要算他。關於槓杆方面的智識，亞里士多德固早已知道不少；然將槓杆定律演成爲較有系統，可視爲後世靜力學之基礎者，則由於亞几默德。所以一般人將虛速原則 (Prin-

zip der virtuellen Geschwindigkeit) 視爲亞里士多德的發見，實在不對；實際上這是亞凡獻德的供獻。

亞凡獻德曾有一句豪語，可以表明他對於槓杆的定律，具有特別的心得。他曾經說過：「給我一個點，讓我可以將自己安插好，則我將把大地動轉給你看。」他對於重心的問題，亦有系統的研究；好多平面形，例如拋物線形之重心，他都能求得。又如亞里士多德所早已知道的轆轤，亦爲亞凡獻德所完成；取水的桔槔，他亦曾製造過。這些或者是他旅行至埃及時所學到的亦未可知。

最著名的故事，是亞凡獻德在洗澡時發見了物體浮在水中的定律；他當時高興得忘記穿衣服，赤身由水中跑叫喊。這個發見，至今還是流體靜力學上之基本定律。

不過力之平行方形定律，則可斷定是亞里士多德所早先知道的。實在說來，亦祇是這定律之一特例，即直角的平行方形。又，空氣的重量，亦爲亞里士多德所發見。

抽氣筒的最初製造者，似乎是德齊比 (Ktesibios)；當初大概是用來吹火的。德氏并發見一種較進步的滴漏計時器，在下面的承水具內裝有一浮物，能撥動一針，使其旋轉以計時。這個器具，

其後又經納凡帝 (Kaiser Nerva) 的水道總管福朗提奴 (Frontinus) 所改良過一道。

德齊比的弟子希龍 (Heron) 對於物理智識方面亦有些供獻，不過現在所知道的所謂希龍 氏球及希龍氏抽水機，則是不是他所發見的，亦還有問題。無論如何可斷定他是當時深通物理的一人。

奧古士多 (Augustus) 帝的工程師波利阿 (Pollio) 實爲發見水準器原則的人，他并會製了利用水力的磨機，以及測量道里的器具。

在紀元後第四紀，柏波 (Pappus) 將當時所有的簡單機器別爲五種：槓杆、轉輪、輪軸、楔子以及螺旋。柏氏自己，亦是當時一個富於物理智識的人，而且他在數學上亦有供獻。現在積分學上的所謂古定規律 (Guldinsche Regel，求旋轉所成的物體之面積體積之法)，其根本方法，柏氏早已發見。

關於聲學方面，皮太谷派頗作過些研究。他們所用的大約是單弦琴，曾得到若干關於聲的數目上之比例。現在所知的和諧比例，例如 $\frac{1}{2}$ 爲 $\frac{1}{1}$ 與 $\frac{1}{2}$ 間之和諧中比，即由此得來。可惜他們墮入數

目論的玄想所以沒有多的成績可言。

在聲學上古羅馬人倒還有些發見，他們浸淫於戲院歌曲，因而從事於聲的研究之機會較多。現在所可考的，則聲浪之球形的散布，維羅夫（Vitruv）曾明白的說過，羅馬人并曾於戲院中裝置某種和鳴器，增加聽者的樂興。

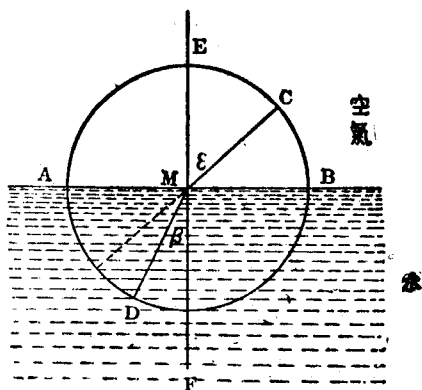
至於光學方面的智識，可記載的較聲學方面者為多。上古時候，一般的常識都以為目中放出光線故能見物；但亞里士多德已否定這個說法，他曾經批評過說：如果這樣，應當暗中亦可見物，事實上却不能，所以這說法不對。不過他亦想不出其他解釋是了。

在一本紀元前三世紀時所作的光學書中（一般人推定這是歐几里得的著作），光之直線進行，以及反光方面的智識，頗有可觀者。投入角與反射角相等，而且投入的與反射的光線均在與反射面相垂直的平面內，這個事實，這書中已明白的說及了。希龍則并進一步，推論到反光時，光線恆向最短的道路進行。

古時所用的鏡，都是銅製；但在柏利尼（Plinius）時代，已有玻璃的鏡，惟無塗箔。曲面的鏡，確

亦曾有過。不過至今流行的傳說，謂亞几默德曾用曲面鏡聚火，燒去羅馬人來侵略時的船隻，則是無稽之談。

將直的棍棒浸入水時，眼見棒曲折了；這個現象亞里士多德已談及。最初對於此現象作系統的研究，以得折光定律，且有數目字的報告者，要算著名的天文學者托拉米 (Ptolemæus)。他在紀元後約一百二十年之際，曾經有過許多天文物理方面的發見。關於折光的試驗，亦殊可記載。如圖所示， $AEBE'$ 爲一圓圈，其上刻有度數。 CM 及 DM 二線均固着於 M ，能以 M 爲心移動。將半個圓及 DM 浸入水中，如圖，并移動 DM 使其在空氣中看來，恰恰與 CM 成爲一直線。於是將圓圈取出來，而觀其投入角 ϵ 與折角 β 之比。他用這個方法，試驗得以下之結果。



$\epsilon = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ.$
 $R = 0^\circ, 8^\circ, 15\frac{1}{2}^\circ, 22\frac{1}{2}^\circ, 28^\circ, 36^\circ, 40\frac{1}{2}^\circ, 45^\circ, 50^\circ.$

這些數目字尚爲準確，不過關於折光的真正定律，則自然不能求得。無論如何，他們已知道光線由一種媒介入於他種密度不同的媒介時即呈曲折現象，直線的方向有所變動了。在天文方面，托拉米有更多的智識，這是衆所共知的。日暈乃虹的現象，他雖亦有解釋，卻完全是不合理的推想。中國古時的烽燧，用以傳達警訊至較遠之處者，古希臘羅馬人亦均用過。他們并曾用所謂金盾反映日光，以傳達作戰時的命令及用以指揮。杜絕地(Thukydides)曾敘述不魯旁(Peloponn)之戰事內，火光符號曾爲重要的指揮方法。波利比(Polybius)則并會述過用火光以傳達字母之法；是即原始的電報了。

關於熱的方面之智識，其來源亦亦很古，物體熱則漲，冷則縮的現象，古人老早即知道。希龍并發見氣因熱而膨漲的事實；他曾經製造過一具銅球，能因空氣發熱而旋轉。

電磁方面的智識，古希臘羅馬人時代均少有所聞。不過磁石吸鐵的事實，則知之者已很早。柏

拉圖會說過，鐵受磁力之影響時，本身亦成爲有磁性的物體，能吸引他鐵。所以中國人在遠古時已有應用磁針辨別空間中方向之發見，實可說是古代發明中之超越一切者。用摩擦得電，在古希臘 達雷士（Thales，紀元前六百年）已發見此事實；大約是偶然因摩擦而知道的。動物電亦早已發見，柏拉圖亦曾提及過這事。而且在紀元前三十年前，法加士（Pharao）還曾用電之顫動來治病；這可謂電療之先聲了。

關於古代的物理智識，較可敘述者大略是如此；其詳盡的考據，這裏自不能論了。

二 中世紀的物理學

文藝復興以前中世紀的歐洲，是人類歷史上的黑暗時代，這是普通所都知道的。古希臘所傳下來的思想學術，至此不獨無所發展，而且湮沒殆盡；文物制度整個的在喪亡中，科學物理方面的智識，更無可說了。

其在中國方面，自秦漢以還，思想學術亦整個停滯；中間這二千餘年的歷史直至最近，都是一個糊塗夢，沒有什麼可特別記載的。科學物理方面的智識，一向就停滯在秦以前的狀況，或者更退步了。不說整個的，即零星的新發見，亦很少可以敘述的；所以我們亦得不到什麼史料可用。

中世紀時一線的科學光明賴以不滅者，多半是阿剌伯人所維持。自然，在這些研究中，夾雜了不少的神祕思想；例如天文學與算術共同研究，化學的探討，都在燒丹煉汞中。在這中間，可特別提出者，是阿爾哈成（Alhazen）（本名阿波亞利穆罕默德平愛爾哈生平愛爾海登愛爾白司利

Abū Ali Muhammed ben el Hansan ben el Haitan el Basri)之光學著作。在這書裏，我們發見最初對於視覺的解釋之較為正確者。他反對古時眼中射出光線之說，而以爲光線是由所見之物射至我們的眼的。這個見解，在死於九百三十二年的醫士拉瑞司 (Rhaeses) 方面及阿爾法拉皮 (Al Farabi) 等著作中均有發見。但阿爾哈成則并進一步，研究到眼中的透鏡。不過他解釋雙目視的道理則都錯誤。

阿爾哈成對於曲面的鏡亦曾研究過一番。他在球面鏡方面會注意到球面收差的現象，於拋物形鏡方面，更發見聚光的焦點。尤可注意者，他研究光的現象時，恆注意於光線錐，而不重視單獨的光線。

孔子所不能答的小兒辨日，阿爾哈成曾做過一個說明，用光的錯覺來解釋。他又曾在日落時，測定地上大氣之高。

阿爾哈成之後約一百年，我們須推阿爾察齊尼 (Al Chazini) 爲當時科學家中之錚錚者。他曾經製造過各種天平秤，用以測量物體之比重。所得的結果，亦尚有可稱者。此外，則他曾重創瀟

漏的計時器；這器亦附有撥針，可以隨時查看時間。

但是阿刺伯人的科學研究還沒有發展，而宗教的壓迫已不堪忍受；所以中間所歷的年代雖不少，而阿刺伯人的物理智識，除上所記者外，簡直沒有其他可稱述的了。

宗教的摧殘科學，至今日還有流毒；中世紀時宗教毒饑的壓迫科學思想以及殘酷的對待有科學頭腦的人，則尤為人類歷史上最黑暗的一頁，至今讀之猶令人傷心。好多人想替宗教辯護，以為當時的教會僧侶，亦曾對於科學研究有過功，一線科學的靈統，還是賴他們維持下來的。這個說法，猶之替現在屠殺民衆的軍閥辯護一樣，說他們雖然殺人放火，但是好多民衆利益還是靠他們維持下來的。事實上斷沒有這回事。

固然，中世紀的僧侶亦有研究古希臘人所傳下來的學說的；許多寺院中，亦曾列之為遺修科目。教皇席而凡司得第II (Silver II) 更被推為當時的提倡者。但是事實上，所謂研究，亦無非想曲解古人的言辭，以證實其宗教上的信條而已，說不上什麼尋求真理。所謂賴以維持者，亦即是因為教會想利用些古籍以為他們宗教信條的旁通，所以沒有將一切古籍燬去，還留些下來就是

了。

那時穿鑿曲解的風氣，養成了一派所謂經院派的詭辯學者。而且所用關於希臘思想的課本，都不是原本，而是教會所欽定的拉丁或阿剌伯譯文；其中任意隨意增減，不言可知。亞里士多德的著作，算是最通行的；但一般人所能得的是其註釋，以及註釋之註釋，乃至經過數道的註釋，愈去愈遠，原文簡直不知去向了。總之，他們的研究古代學問，是先遵宗教上的信條立為最高標準，合者留之，不合者穿鑿之，其不可穿鑿者去之。所以那時候歐洲雖已有許多大學，如薩勒諾（Salerno）之醫科大學（創於一一五八年）、巴黎大學（創於一二〇六年）、牛津大學（一二四九年創）、維也納大學（一三六五年創）、海台山大學（一三八六年創）等等，但多在教會之手，無可記述。

在那時候能崛起與黑暗勢力奮鬥，開後來光明之曙者，舉其要的有我們所熟知的羅傑培根（Roger Bacon）。培根本亦是僱傭人，但他却反對當時的狀況；因為他公開的批評那時教會中人，之無知愚昧，曾受了數年的監禁。他反對當時關於亞里士多德著作的註釋，以為這些書統可燒去。他極力主張真理當於試驗經驗得之，所以至今經驗派的學者，猶推他為鼻祖。不過他那時對於燒

丹煉汞的化學以及算命看運的星象學卻不十分反對，這也可以說是他未能擺脫一切蒙蔽，是他小小的一個缺點。

在物理方面，他對於光學曾有研究；不過所得結果，未能超出阿爾哈成之上。他解釋虹的現象，以為是空中無數水點所致，這已可謂得其半了。近來有好許多崇拜培根的人，說他曾發見望遠鏡、自動車及蒸汽機等等，這就未免過於誇張。他在科學發達史上有大功，於物理智識獨能在黑暗的時代留心研究，不顧當時宗教的毒饑，極力主張求真理於實驗，而且他自身亦是僧人出身，這已是歷史上可以不朽的了。

火藥的發明，最早的亦大約是中國人。培根曾述過其製法。至於用火藥來發彈，則現在所可考據者，最早的見於牛津大學所保存的手稿“*De officiis regum*”中；著者名 *Walter von Millemete*，其中詳述造火藥銃之法；這手稿為一三二六年時所寫。

與此相彷彿的，則指南針之何時傳入歐洲，現在亦已不可考。所可記者，是十二世紀末之著作中，纔見有提及此者，以前未之聞。

奧培根相先後者有波耳司坦 (Albert von Bollstädt 卽 Albertus Magnus) 及南莫拉利 (Jordanus Nemorarius) 二人亦可一及。波氏爲當時富於物理智識的人，足跡所至，被人呼作魔術家。不過他雖有許多關於物理的著作，自己卻未有所發見。他亦不像培根那樣反對當時的黑暗勢力，故於科學史上，亦可謂沒有多的供獻。

南氏的身世不甚清楚，大約沒於十三世紀之中葉。從他的遺著中，我們可發見他不滿意於古代用靜力的方法研究力學問題，而想自創動力的方法。他對於下墜、斜面等曾作過許多實驗；虛移原則，實在已爲他所應用過。

至於現在所用的齒輪時鐘，多謂是十三世紀時所發明，還有的以爲是亨利維克 (Heinrich von Wiel) 所創製。這個說法既少證據，亦難相信。以當時機械方面的智識而論，實在沒有這種可能性。較可確信者，是齒輪鐘來源很早，十三世紀時已有用及齒輪的時計。其後漸漸改進，乃臻完備；但決不是一人一時所發明的。

十三世紀之末，眼鏡已發見。不過最初發見此者是誰，現在亦無可稽了。就記載所可考的，有弗

老倫人 (Florentiner) 名阿爾美帝 (Armati) 者 (死於一三一七年) 其墓石上曾刻有記其發見眼鏡之功的語，因而現在都相信是他所最初發見的。

除此而外，一直到十五世紀，在科學智識上別無可記載。及至十五世紀之中，科學藝術纔復重新開始而見轉機。自然在這中間，愛好真理的人，與教會僧侶不知曾作了多少次的鬭爭，纔有後來的新紀元。這個古希臘文化的復興，思想自由漸漸的恢復，就是歷史上所稱的「文藝復興」。

關於文藝復興的歷史研究，這裏不能敘述；我們祇在物理智識發展的範圍中，略敘這時代內關於此方面的進步。

首先可記載的，是尼古拉古沙 (Nicolaus de Cusa, 1401 - 1464) 他的各方面供獻頗多；其尤足稱者，則為他的地動說，在他的名著 "De docta ignorantia" (論積學的無知) 中，他首先反對亞里士多德以來「氣之輕清者上昇為天，氣之重濁者下凝為地」的理論，而將大地看作與其他星體為相同者。他曾明白說過，我們所處的地亦是一星，較月為大，較日則為小。地既亦為一星，所以與他星同，亦是在那裏動的，他把地的動分為兩種：一是地的自轉，每二十四時即循環一週；除

此以外，地還與日及其他恆星，繞着宇宙之極點而轉。他這個宇宙系統，實在很複雜的。他解釋吾人所以不感覺地之動，是因爲動與靜是相對的；沒有他物與之比較，所以我們不能感覺到。

此外，他還有一本對話體裁的著作，中寫一力學家與哲學家的談話，討論許多物理上的問題，這書內雖無什麼新穎意見，卻搜集了很久已失傳的物理智識。他又曾發明一個測量水深的器具；在原則上可說是與白洛克（Brooke）在一八五四年所發明者相彷彿。尼古拉的著作中自然亦不免夾雜了許多無稽之談；但其切心的求真理之精神，則可說是當時所不易得的。

文藝復興時代的雷渥那圖文西（Leonardo da Vinci），是當時希有的天才；我們都知道他是一個藝術家、思想家；而不知他實在還是一個科學家。他不獨於藝術上思想上有供獻，於工程上及物理上亦有極多遺留下來的。可惜他的著作湮沒了許久，一直到一七九七年纔由溫多利（Venturi）替他發表出來，所以對於中間三百年的物理學，簡直未能發生一點影響。我們祇看他對於自然研究的幾句話，便可知他是當時特出的科學人物。他說：經驗會將自然中之一切神妙的內容告訴我們。經驗不會有錯誤，錯誤起於我們主觀上的幻想。我們必須用經驗以求普遍的定律。

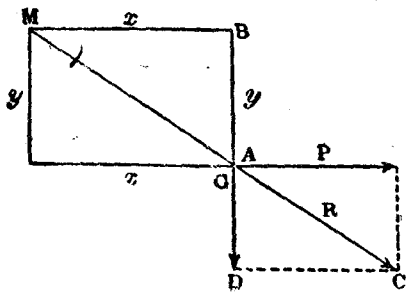
於複雜的狀況之中。由普遍的定律，復可進一步對於自然作更深的研究。理論是指揮官，實驗是隊伍，二者都不能缺少。必須用數學來研究，纔能得科學上的正確性。

我們看他這幾句話，已不難知他的科學思想在當時是傑出的。他對於失傳已久的力學，特有研究。我們略舉數例於下，以見他所得的結果之一斑。

如圖， ΔM 爲一槓杆，A 處懸一重量 G，并有一地平方向的力 P 於此發生作用。今由 M 向二力各作垂線 x 及 y ，則按雷氏研究的結果，當

$$G : P = y : x$$

纔能使其在均勢狀態中。雷氏祇寫下這定理，卻未加以證明；不過這定理的無誤，這是易見的。蓋如以上之比例成立，則圖中所示 $\Delta B M$ 及 $\Delta D C$ 三角形相似，而 P 及 G 之合力 R 即在 ΔM 方向內，故必成均勢。他又推廣這定理至其他一事實： ΔM 爲一線，M 固定着。今於



A處懸一重量G下垂，P則爲一與線相垂直的力，亦於A處發生作用。按雷氏所得結果，此處均勢的條件，與前相同，亦爲

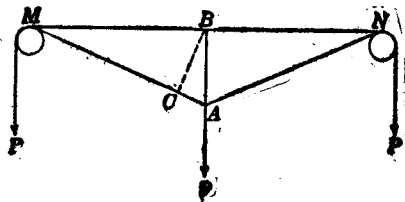
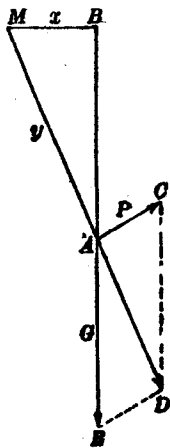
$$G:P=y:z$$

雷氏又曾研究一其他的均勢問題。如圖，MN爲一線，兩端繫重量P，因而將線張緊了。今於MN之中點B懸一其他重量p，則當如何纔能成均勢？雷氏對於此的答案如下：於MA上作MC與MB相等，則如

$$p:P=CA:BA$$

即成爲均勢了。

他用槓杆定理解釋出許多關於轆轤、斜面及楔子的定理。在應用虛速原則上，他較之過去的



人實在進步得多；對於力及動力的分別，亦可說是從他開始的。在下墜的物體方面，他亦做過一番研究。不過他始終未能超出過去的見解，以為重物下墜較之輕物為速。他曾自高處墜下一鉛球，觀察其落地的方向；在這裏，他發見總有些偏差，不能完全垂直。他解釋這個原因，以為是大地旋轉所致。

在研究斜面上之下降，他得到一個結論：物體在斜面上下降的時間，與經過其高的下墜時間相比，等於斜面之長與其高相比。不過他把與斜面相垂直的壓力看作與傾角成比例，故不能由此重要的關係中得到真正的定律。

雷氏對於流體力學方面亦有充分的研究。流體恆趨平衡的現象，他曾經十分注意過；水中的波紋，他曾用石投入水中試過，結果他說明表面上看來好像波紋傳出去了，而實則水的分子祇是作上下的運動。波紋的相互干涉，亦已為他所發見。他又曾想利用水在器皿中旋轉時的離心力，以製造一種很特別的噴水機。空氣的壓力，以及真空的可能，他都曾想到。在燃燒方面，空氣必供給一種助燒的原料，因而沒有空氣時不能燃燒，這亦是他所早知道的。

關於聲學方面，雷氏曾作過共鳴的試驗，他指出：一弦鳴時能使他弦共鳴，以及將一鐘擊響時，可使其他一鐘共響的現象。他解釋回聲的現象，以為是聲浪反射所致，他又曾經說聲浪在水中傳達較之空氣中為速。

除此以外，雷氏在機械製造等方面，都有發見；現在我們所能見到的，祇是他一部分的遺稿，大半都已散失了，所以他的物理研究，不獨在當時未發生影響，即現在要知道他研究所達的程度，亦頗不易。事實上，那時從事於物理研究的人或尚不少，不過遺留下來給我們知道的有限就是了。

文藝復興後，對於科學物理方面有貢獻者，除雷渥那圖外，尚有些人可一述。

大達格利亞 (Tartaglia, 1500—1557) 亦可說是當時意大利的物理學者。他研究拋物的現象，反對當時一般人的見解，說物體拋出後循直線運動，以後則經過一些彎曲而下墜。他說明物體拋出後所循的軌道處處是曲的；同時，他又說：如將一物體垂直的向上拋去，則地平方向內所及之遠等於零，反之，倘將物體向地平方向拋出，則即向地平之下，故其所及之遠亦為零；因此，我們必須於傾角四十五度下將物體拋擲，纔能使物體及於最可能的遠。他這個結果雖無誤，可是他這種推

論的方法實在太糊塗了；所以大氏縱然得了正確的結論，也是偶然的事，不能說這是研究所得的結果。

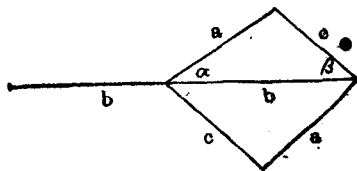
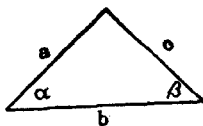
卡達諾 (Cardano, 1501—1576) 亦是那時一個自然研究者；他在科學史上聲名較之大達格利亞爲高，知道他的人亦較多。但是實際上，他所享的名，實在超過其實。代數上三次方程的解法公式，世稱爲卡氏所發見者，現在已知道實在大達格利亞所得到的。類此的故事，或尙不止這一件。他首先所研究到的，是在理想的地平面上，將物體運動可以無須用力，但在垂直的平面上如欲將物體舉起，則非有超過重力的力不可。這個見解，本來無誤；不幸他從這個定理中，却推論出一個不正確的結論。他以爲在斜面上所需要的力，是與傾角相比的；這便不對了。

那時候對於力學上供獻較多的，還是荷蘭人司蒂芬 (Simon Stevin, 1548—1620)。他的著作“*De Beghinselen der Wegkonst*”內包括了很多可貴的史料；祇因這部書是用當時通用的語言著成，沒有用古文，所以不能引起人的注意。

司氏設想一三角形，其一邊在地平線上，周圍敷設一鍊子，輕重均勻。如是則鍊子必不能運動，

即將三邊上的鍊子代之以相當的重物，并使沒有邊在地平方向內，亦不能動。從可知這三個力是在均勢狀況內，祇須其量及方向與三邊相當，恆是如此。我們亦可說：倘有三個力 a, b, c 相接觸，其角為 $\alpha \parallel \beta$ (a, b), $\beta = \gamma$ (b, c)，而如可將其構成爲一三角形，以 a, b, c 爲邊， α, β 爲 b 邊上之兩角，則此三力成一均勢。又將同三角形再補充一個，使其成爲一平行方形，即得力之平行方形。司氏對於這定理，作一結語道：這是一奇事，但亦不算稀奇。

在原来的三角形方面，即將底邊上的鍊子割去，其他兩邊上的鍊子亦必在均勢中，因爲底邊上的一段，祇向下垂，與兩旁無關，這是事實上所證明的。從可知兩邊上的力亦成爲均勢。倘兩邊中其一與底邊相垂直，則該邊上之鍊，代表一力，能將與他邊相當的斜面上之重物拉住，而成爲均勢。換言之：力與重物相比，等於斜面之高與其長相比。



自亞里士多德以來，一般人向以爲重物下墜較之輕物爲速。這個錯誤的見解，亦爲司氏所打破。他用兩個重物，其一重於其他十倍，自三丈高處下墜；結果，他發見這兩個重物同時到地，於是他就推翻古來所傳的見解。

司氏對於流體力學方面亦有發見。他曾經證明水的底壓與器之形狀無關，祇與水之高相比；他并曾發明一種器具，用以測量這底壓。同時，他又將這定理與水準的原則相溝通。亞几默德所發見的事實，司氏曾對之作進一步的研究。他發見浮物的重心，恆與被擯的水量之重心在一垂直的線上，而且必須前者在後者之下，纔能有均勢狀況。

除此以外，司氏於力學上零星的貢獻尙多；在十六世紀內，司氏要算是成功最多的力學家了。在這裏，我們必須一及天文學的發達。一直到十五世紀末十六世紀前葉，沒有人想像過在天文方面亦可應用力學的原理，機械的解釋其現象。那時候所通用的，就是所謂托拉米的地球中心說，是非常複雜的一個天體系統。太陽中心的見解，雖然古來已有人提及過；但真正的成立，我們都知道是哥白尼（*Nikolaus Copernicus, 1473—1543*）的成功。哥氏的不朽著作“*De revolu-*

tionibus orbium coelestium” (論天體之循環運動) 出版於其死的一年，爲近代太陽中心說之第一書；雖然初出版時未有若何大影響，但終究由他將傳統的地球中心說推翻了。

哥氏主張太陽中心說的出發，是因爲地球中心說不能使他滿意，他覺得在這個理論內宇宙之和諧整齊及對稱性完全失掉了，但是他相信宇宙決不能如此無次序。我們且看他的說話：「宇宙是不是這樣的一會事，手足、肢體各個看來固然很美，但是不成爲一個整個的。造物的意象當不是如此；上天果會這樣的沒有計劃嗎？」他對於自己的系統，亦這樣的說過：「我把宇宙的整齊各星球軌道間的和諧性都發見了；這裏我並沒有用其他的方法，祇將太陽放在中心去，叫地球讓出來就夠了。」

那時候的教會怎樣的壓迫哥白尼，并把他的著作竄改後纔讓他付印，這些事實，現在都已一般的知道了，這裏可不再贅。須補充的，是當時著名的天文學者提果白拉 (Tycho Brahe)，對於他的著作雖很尊重，但亦不採取。提氏自己另創了一個系統，來調和傳統思想與哥氏的爭。他一面保存地球中心說，一面相當的採取哥氏系統，說一切行星固以太陽爲中心繞之而行，但同時太陽及

這些行星亦還繞着地球運動。哥氏對於當時的許多駁難，固有無法辯者，這是因為力學上的智識有限的緣故；但使天文學漸漸的築在機械原則上，則不可謂他沒有甚大的供獻。

十六世紀時對於光學略有供獻者，可提出兩人在這裏一述及。一是毛魯里古士（Franciscus Maurolycus, 1494—1575），一是波太（Giambattista della Porta, 1543—1615）。毛魯氏是一個修道院的住持僧，不過他對於數學及物理智識却頗有興味。他做了一部書專論光學方面的問題。這裏面有可提出者，是他最初指出光線之平行移動的現象。對於視覺的解釋，亦較以前的人爲進步；惟網膜上的影是倒的，這個事實他却不相信；因爲他不能解決爲什麼所見的卻是正的。近視與遠視雖然他所解釋的不甚中肯，但眼鏡的理論則完全無誤。

波太所作的「自然之神祕」一書，爲當時很著名的自然科學之著作；不過這書的內容，自然是蕪雜不堪的，其中類似於魔術的材料以及奇器怪想等包括了大半。他曾研究及角鏡，并指出角減小時影之數量增加的事實。關於白熾現象的研究，似乎不是他自己所創的。他稱焦點爲倒點，因爲他在透鏡下見物體的像能成爲倒。在磁力現象方面，他曾發見任何鐵感受磁性而本身發現有

磁力時，亦有分極的現象。他并且作過一個怪理論，說磁石能用來試驗婦女的貞潔，這也可以見他思想的蕪雜了。

磁針方面的傾斜，是哈德曼（Georg Hartmann, 1489—1564）所最初發見的；因為他的報告，一直到一八三一年纔有人替他發表，所以向來大家都認爲是諾曼（Robert Norman）的貢獻。不過其原因的解釋，則哈氏未有說明；關於此的正確理論，首見於一六〇〇年所出版的紀爾伯（William Gilbert）之書內。

紀氏是地球磁力之真正的發見者；他并說地球的磁極與地理上的極點爲一個。至於地磁的原因，則他歸之於地球旋轉所致。最可記述的，是他那時已創見了近代電磁學上所用的磁場之概念。但他對於磁學上最重要的事實，卻沒有正確的見到；他以爲將一塊磁石分開後，使南北極各成一塊，則所得的磁塊祇有南極性或北極性了；他不知道將磁石分開後，所得的兩塊仍各具南北兩極，磁石的兩性是沒有法子分開的。

諾曼對於磁的方面卻亦有一個有價值的發見。他起初以爲磁針的傾斜，是由於磁性分量分

配不均，有輕重所致。但他將鐵磁化後，發見該鐵之重量併不增加，於是他知道磁性是沒有重量的，不是一種物質。不過近代電磁學上的所謂不可稱性，自然是後來所得的概念；我們可說諾氏已開其先聲就是了。

磁與電的關係，在那時自然是不會發見的；紀爾伯曾將磁石的吸引鐵與他所發見的摩擦電之吸引相比較，但這是偶然的事，絕不是對磁及電的本質有所了解。有若干種物體經摩擦後會有吸引力，其他則不能，這個事實，亦是紀氏所發見。他稱這種摩擦所得的吸引力為電力，所以這個名稱是他所創用的。

中世紀的物理學，一直到十六世紀為止，舉其要者，大約如上所述，以後便漸漸的進入近代物理學的範圍了。

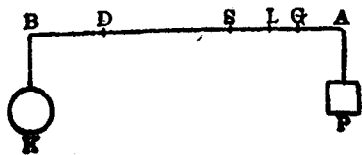
三 近代物理學之先導者

1. 加里萊 (Galileo Galilei, 1564—1642)

科學智識至十七世紀而發展至一新時代，其第一特徵，便是一洗往時的蕪雜揣想，而漸漸的趨於系統的實驗。古時的科學智識，得之偶然者爲多；中世紀這千餘年中可說沒有進步什麼，或者還湮沒了許多有價值的材料；至文藝復興後，雷渥那圖、司蒂芬、紀爾伯等已能求科學智識於實驗，不過自然很有限度，可說是一個開端而已。就科學的方法而論，我們真能認爲是近代科學之開始者，必須自加里萊加里萊起。加氏所從事的範圍，固以力學爲限，所以被稱爲近代力學之鼻祖；但是他的研究方法，則可謂是近代科學方法之發軔，這是值得我們所特別提出的。不過我們在這裏亦不能詳論這個方法問題，所以祇好略述加氏的事業，以見近代物理學之開始而已。

加里萊加里萊以一五六四年二月十五日生於皮沙 (Pisa)，父母均爲弗老倫人 (Florentine)。

time)。他父親是個音樂師，收入不多，而且有弟兄六人，很難供給，所以在拉丁學校肄業後，就想使其習布商。後來因為他聰穎絕倫，纔勉強得入大學，所習的是當時最易賺錢的醫學。但他對於醫卻是格格不相入，極感無味，所以終不能忍耐，而作他自己所喜歡的研究了。他在十八歲時已作了許多駁難關於亞里士多德著作的文章，因而頗引起一般人的忌嫉。十九歲時，他發見擺錘方面的一個事實，知道擺錘之振時與其振幅（在某種限度內）是無關的。在這時候，他開始研究數學；但他的父親極不願意他拋棄了正當的醫學而去從事於無用的數學物理中間會因困乏，求助於非得能（Ferdinand）大公爵，但沒有得到大公爵的理會。他不得已祇好勉自刻苦，研究歐几里德及亞几默德。在這時候，他發見了一架流體靜力的秤，他名之為“Bilancia”。這秤是一個簡單槓桿，如圖中之A、B，能於D點上下動。在B點可懸以各種相等的重量，金或銀等物。P可在桿上移動，在A點時即與K成均勢。今將K浸入水，則須將P移動；倘為金物，須移至G，為銀物，即須移至S，而於金銀等重的混合物，則須移至G與S中間之一點L。



如是所得之比AD:AL即爲該混合物之比重。這個測量比重的秤，自然不甚精確，亦無大長處，不過是加氏早年時的發見，所以很可紀念的。

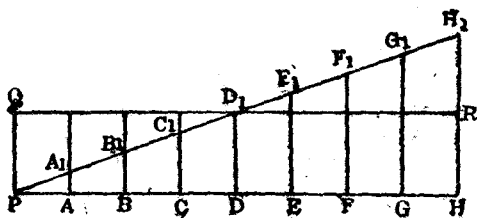
不久加里萊在意大利便已成爲知名的人，許多學者都與他通信討論種種數理方面的問題。一五八九年，他被選爲皮沙大學的數學教員，但所得甚微，不足以自贍，因爲那時最時髦的是醫學，數學是不足輕重之科，故收入特少。加里萊最初的下墜實驗，就是在這時候作的，不過所得結果并未超出司蒂芬之上。過了許多時候，他纔不疑的相信，各種不等重的物體之下墜時間均相同。他的理由是如此：等重的二物體，是以等速下墜的；今將此二物併成爲一則其速度亦不能有所改變。在皮沙的時期內，因生活困難，使他不能專心於他所喜歡的研究；因此，他在契約上所規定的時間尙未滿之前，便即離開皮沙回鄉了。一五九二年秋，他被聘爲帕圖亞 (Padua) 大學數學教授，收入較豐；於是他就在這裏繼續任職，一面作他自己的研究，直至一六一〇年纔離開。在這裏，他卻極受學子的歡迎，每當他講演時，常常座爲之滿；與以前在皮沙時卻大不同了。他所講演的材料，多半是極平常的，關於天文及力學都有；不過在這裏面，他參加了許多他自己的新見解，所以聽者都極感興

味。關於下墜的定律亦就在這時間內完成。

他起初先有個根本思想，知道重力對於下墜物體的影響是常的。由此，他漸漸的推得下墜之定律。他設想當物體開始下墜時，經過一相當的時間後，其速度為一定的；因重力之影響為常的，故該項速度經第二時間段後，即成爲二倍，至第三時間段後即爲三倍，等等。所以速度之增加，其比猶如時間之增加。今如圖，PA, AB, BC等爲各個時間段，則A₁A, B₁B, C₁C等可爲其相當的速度。於PD = t₁, PG = t₂，按上所述之理即有

$$DD_1 : GG_1 = t_1 : t_2 = PD : PG.$$

但如這一個比例成立，則按幾何上已知之理，P, D, G三點以及A, B, C等均在一直線上。今設D₁爲PH₁之中心點，QR與PH₁相平行，且經過D₁點。爲QR所截的垂線均係相等，且等於最後速度HH₁之半。故此項垂線代表一等速運動的物體之速度。按圖即可知此項速度之和，等於下墜物體的速度之和。因此，在測定下墜所經過的空間方面，我們可用一等速運動以



代替下墜運動，這等速運動的速度當等於下墜運動最後速度之半。故如下墜空間爲 s ，其相當的最後速度爲 v ，以及時間爲 t ，則在無阻的下墜方面，即有

$$s : S = \frac{1}{2}vt : \frac{1}{2}VT$$

或

$$s : S = vt : VT.$$

但 $v : V$ 可用 $t : T$ 代之，故得

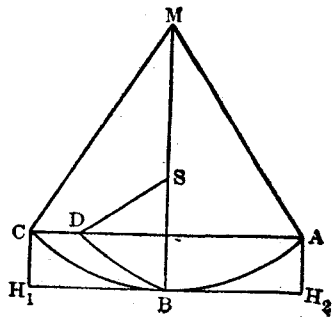
$$s : S = t^2 : T^2.$$

此即是說：下墜所經過的空間相比，等於下墜時間之平方相比。這個定律，是加氏在 1604 年所發見的。

加氏發見了這定律，并不立刻就把他當作真理；他做了種種試驗來證明他。這個試驗方法殊不簡單，與我們現在所用的很不同。今將其根本思想略述於下，如圖， MA 爲一擺錘。今使其由 A 下來，則經過 MB 位置後，即達到一點 C ，其離 H_1H_2 地平線之高，與 A 相等。倘擺錘在向左運動時將

其半徑縮短，中心移下，則所達到的高仍不致減小，且當其向右退回時，亦仍達到 A 點；故可知在 DB 上的速度與 CB 上相同。但我們可將每個圓弧視為無數無限小的直線所積成，所以此項速度定理不問何種曲線均可用，祇須其高為 CH_1 便得；并且於斜面方面亦可以用。加里萊於是推論得，物體在斜面上下來時，其最後速度等於由斜面之高下墜時之最後速度。今按以前所述之理，將此二下墜運動代以等速運動，其速度為前者最後速度之半，則經過斜面之長及高的時間相比，猶如斜面之長及高相比。因時間不同而最後速度則同，故可知重力之影響必與時間成反比。由此，加氏便推知一物體在斜面上受重力之影響而發生的加速，與下墜之加速相比，等於斜面之高與其長相比。

這個比之值，自然是小於 1。故用斜面時祇須將其加速之值減小，但一切下墜的定律於此均適用。如是，我們不妨於斜面方面實驗下墜的種種定律。加里萊的下墜試驗即根據此理用斜面來



從事的；他所得的結果與用理論推得者相吻合。他這種實驗方法自然是特創的，但亦太煩，而且關於斜面方面亦尚有問題未解決，所以他自己亦感覺有不滿之處。後來他又另創了一個其他的方法，但這個方法亦有可批評之處；我們現在不能再述了。

將物體拋擲出去時，其所循的軌道爲一拋物線，這也是加里萊所最初證明的。他并且知道因空氣的阻力，此項拋物線必變形，所以他曾想測量變形的程度。

在擺錘方面，加里萊亦曾得到一個簡單的定律。他知道振時隨着擺錘長之增加而增加。在前所述的下墜試驗內，他已經知道擺錘運動亦服從下墜定律；因此，他推定擺錘所經過的弧與振動的時間之平方相比，或即是振時與弧之平方根相比。倘振幅相等，則即與擺錘之長相比了。所以振動的時間是與擺錘之長成正比。廣之，即在不相同的振幅方面，自然亦適用此理。我們現在所知道的關於擺錘運動之數學公式，加里萊自然還未能清楚的見到；他對於此問題未曾有深入的研究，而且他的工具亦還不够，不過正確的概念則他亦已有了。關於此的最初成功，屬於（以後將提出來敘述的）許根斯（Huygens）氏。

牛頓定律裏的惰性原則，加里萊亦會應用過。本來惰性定律，早就有人知道，并不是加氏所發見的；不過將其稍推廣，使其較具物理的意義，則亦自加氏始。他將這個定律釋成爲下式：「任何物體不能自己變換其運動狀態。」於此，以前的惰性律之內容，已加之推廣了；蓋以前祇說靜的物體不能自動，按加氏的公式，則動的物體亦不能自靜，且亦不能自己改變其運動狀態，變爲加速。

在物體相撞擊的複雜理論方面，加氏曾經研究過一番；但因種種準備的工作不充分，未能有多的結果，祇知道撞擊力與相撞的物體之重量及速度有關而已。剛體及流體力學方面，加氏所新發見的亦不多。

一六〇七年時，加里萊創製了一種所謂比例圓規，可用以計算數目之平方及立方根，以及一百八十度以下一切角之弦等等。這個器具較之現在所用的計算尺包括尤廣，不過精密程度自較爲差而已。寒暑表之發見，據他的學生維維亞尼（Viviani）說亦是他的功；但事實上這是不確的。關於望遠鏡的發明亦是如此；我們現在已知道這是荷蘭一位眼鏡匠所發見的。至於這位眼鏡匠的姓名，以及他是否是偶然發見的，現在都無從考據；不過我們可相信這個發見多半是偶然

的，因為那時候的光學智識決不能使人有意識的想到這樣的器具。在一六〇四年以前，意大利已傳入此項望遠鏡；加氏後來曾自製了一具，將望遠鏡加強了幾倍。并且他還用以發見了天體方面的新現象，所以有好多人都把望遠鏡的發見屬之於他，實在不是事實。加氏自己亦曾說過，他是從荷蘭方面學來的，不過自己曾仿造了一具，并且他還有這種思想，打算反其道製造一架顯微鏡。

順便我們可提及一下那時望遠鏡的流傳狀況。望遠鏡的發見，大約在十六世紀之中。一六〇四年時，意大利人楊生 (Zacharias Jansen) 曾以一五九〇年所製的一具為模型，自己製造了一具；這或者就是望遠鏡之最初的流入意大利。但在一六〇八年時，荷蘭人利伯休 (Franz Lipperhey) 還自製了一具，向政府請求專利權；這個事實可以證明那時荷蘭本國望遠鏡還少看見。加氏自己製造這器具是在一六〇九年。當時的望遠鏡祇有三倍的強，加氏將他增加至十倍。他製好後請了些貴族們在教堂的高塔上眺望了一下，因此他得到了他們的賞識，賞給他終身在柏圖亞大學任教職。

不過以前的望遠鏡，至多是個玩具或供給貴族們戲院中用用而已；將這器具向天上去窺望，

發見了許多新現象，這確是加里萊所開始的。月球上的山谷，以及銀河爲無數星球所成等等，這些都是加氏用望遠鏡所發見的。哥白尼所已經揣想到但自己却沒有看到的許多事實，加氏都爲之證明了。一六一〇年冬，他寫信給羅馬的名數學家克拉斐（Clavius），說他所發見的金星之相位，可爲行星繞太陽之證據。他這種說法自然是爲哥白尼的學說張目，所以當時曾引起許多人的反對。那位名數學家雖然在當時負有盛名，但實在亦并不高明；他對於加氏的見解，以爲不足討論，祇好付之一笑，而且他簡直不相信望遠鏡裏所窺見的可作爲天文學上的材料。好多人都說望遠鏡裏所見的統是些幻影，不足徵信。加氏在給開柏萊（Kepler）的信裏面，亦曾提及過說：「假使你聽到那些反對我的人所說的話，你會得笑死；這些頂頂大名的學者，都想根據他們神秘的理由否認新發見的星球。」

一六一〇年加里萊離開了柏圖亞，因爲他感覺任教職太妨害他的研究工作了。次年春，他旅行到羅馬，想在那裏傳佈他的新發見，據說那時的教皇保羅第五很虛心的待他，但在五月間教會的會議中，却有人提出，是否應將加氏一并列入無神論犯裏面去治罪。自一六一三年以後，他的生

活史便是與教會的鬪爭史；在僧侶們的說教中，常常可以聽到危險分子加里萊這些名稱。那時掌有統治權的教徒們之顛頂，正與現今的統治階級不相上下；他們給加里萊加上一個傳佈危險思想的罪名，說他宣傳一個叫做「伊伯尼哥」的荒謬學說，大約他們把哥白尼的名字都弄錯了！加里萊當時是一個極有名的反動分子，統治者千方百計想肅清加氏一派的反動思想，這些事實我們現已都知道，可無須詳述了。最後，一六三三年六月，加里萊卒被教徒們判決了監禁之罪；他沒有受白魯諾（Giordano Bruno）那樣的火焚慘刑，總算是他的幸運。不久，他的監禁罪又轉爲充軍罪，把他向各處去流放。一六三八年得教皇大赦，許其回弗老倫養老，但不准其入城市或離開所指定的幽棲所，並且絕對不准其再與任何人談論其邪說。一六四一年十一月五日，他得了痛風重症；翌年正月八日遂不起。

加里萊是近代物理學的始祖，或者簡直可說是物理學的創始者。在他以前，祇有零星的物理智識，而且多半是偶然所得的結果。系統的研究法，於繁複的現象中想求其定律，這些都是由加里萊開始的。哥白尼的學說，亦經加里萊而大明於世。所以加里萊在近代科學史上實在是一個不朽

的人物。

2. 加里萊的同時代人

到了加里萊的時代，科學的光明已漸漸照耀出來；雖統治者教徒們的壓迫尚有餘餘，但科學思想的人亦已漸多，非復如以前的空谷足音了。與加里萊同時代的科學思想者頗不少，我們在這裏祇能舉其最著要者以爲代表。

這時第一個所可舉出來的是開柏萊 (Johannes Kepler, 1571—1630)。他在二十五歲時已發表了一本關於天文的著作；這書內雖然很多幻想，但已可見他老早就有創闢數理天文學的心思，而且他的確能別出心裁，自闢一途徑。他將這書各送了一份給當時著名的天文學者提果 (Tycho) 及加里萊。提果讀了他的書就請開氏往柏拉格 (Prag) 去與他一同作天文的觀察；加里萊則尤爲高興，他說他又遇到一個尋求真理的好同志了。一六〇〇年開氏便往提果處與他共同工作；提氏死後，他的遺稿亦由開氏爲之整理。於此，開氏得了不少的材料，實爲他後來發見定律之基礎。哥白尼的學說，至加里萊而得有物理學的證明；但是嚴格的用數學將其釋成爲定律，則自

開柏萊始。自開氏以後，哥氏學說便不可動搖，得到最後的成功了。

開氏在物理學上的供獻，主要的是在光學方面。他發見在發散的光束方面，照耀的強度與距離光源之平方成反比。他的折光定律與事實不能相符，但他却用以發見許多透鏡方面之定理。關於眼鏡的正確亦且完備的理論，亦是他所完成。他又觀察光線由空氣入玻璃時之折角，知道投入角自零度增加至九十度時，則折角亦由零度增至四十二度；因此，他推論到，倘光線由玻璃出來時所作之角大於四十二度，則不能透入空氣而必全反射了。開氏之發見全反射現象，就是由於這一個推想。除了主要的天文上之供獻及光學方面的發見外，開氏尚有其他零星的供獻，我們不再詳述了。

與加里萊同時但反對加里萊的人中，亦有些因反對而自己去研究自然現象，於是得到些零星發見的。這裏有可提及者，有下納(Christoph Scheiner)其人。下氏因反對加里萊的學說，於是他自己製造一架望遠鏡去觀察日球。日上的斑點，最初就是他詳細考察且加以研究的。在生理光學上下氏亦有供獻；他不特承認網膜上之倒影，而且自創了一個理論去解釋這個事實。在加里萊

的反對者中間，像這樣的人總算是極難得的了。

較加里萊出世稍遲但亦同時的笛卡爾 (René Descartes, 1596—1650) 我們都知道他是哲學史數學史上不朽的人。在物理學方面，他亦有相當的供獻，不過遠不如數學哲學方面之偉大。是他用理性派的演繹法想把一切現象都歸根到三條根本定律上去。這個工作在當時的科學程度自然是做不到的，不過他這種根本精神，實在可永為後世物理學所取法。他的三條定律是：一，物體恆保持其已得的狀態；二，倘無外來的力對之生作用，則物體所循的軌道是直線；三，是關於物體相撞的定律，以及由此推出的七條定理。

一六三二年時，笛氏已發見了折光定律，其形式與今日所用者略同；雖然曾有人說不是他自己所發見，而且笛氏如何發見此定律亦無可考證，但現在據一般的推測，都相信笛氏決不致有抄襲之嫌。不過關於虹的現象，笛氏的理論却沒有什麼過人處；又，現在所用以說明流體中壓力傳佈的笛氏儀器，一般都視為是笛氏所發見者，實際上是加里萊的學生名為麥其奧地 (Raffaello Magiotti) 者於一六四八年時所發見的。

與加里萊同時代的其他人物，我們不能再敘；今再略提加里萊的學生及後進。

3. 加里萊的後進

加里萊數十年的辛苦，散播了無數科學的種子到各地去，不獨在意大利，即在國外亦各處都有他的信徒及學生。聞加里萊之風而自己起來作科學的研究者，尤為不少。我們對於這些後起者，可統稱之為加里萊的後進。

這裏可首先提及者是格士德利 (Castelli, 1577—1644)。格氏本身是一個教父，但他却是加里萊的忠實信徒，始終服膺他的學說。一六二八年時，格氏自己發表了一本關於流體力學的著作，在這裏他發見了一條重要定理，知道在靜流方面速度與橫切面成反比。他又說流體從器皿中流出的速度與壓力之高成比例；這個見解與事實不符。一六四四年時，格氏的學生多利散利 (Evangelista Torricelli, 1608—1647) 已為之糾正他這個錯誤。多氏指出流體流出的現象方面亦適用物體下墜的定律；所以流出的速度當與水準面高之平方根相比。他并且知道水射線的形狀亦是一個拋物線，不過因空氣之抵抗力所以變形了。

多利散利曾以格士德利之介紹於一六四一年時受業於加里萊之門，故多氏同時亦爲加氏的弟子。加里萊病篤時，朝夕不離左右侍奉加氏者，除多氏而外，其餘一人爲維維亞尼（Vivianzo Viviani, 1622—1703），維氏亦爲加氏之學生。加里萊逝世後能繼承加氏遺志奮鬪的，亦推多氏。維氏的研究，亦多在流體力學方面；他的氣壓實驗，據說是根據多氏的根本思想而作的。不過維氏確是加里萊的最忠實信徒之一。在加里萊的學生中，成績最好，供獻最多，而且能繼承加氏遺志的，以多利散利爲首；可惜天不假年，去世太早，所以未有若何很大的供獻傳留於世。

數學史上不朽的數學天才巴斯加（Blaise Pascal, 1623—1662）亦爲當時的著要物理學者。他的供獻是在他的證明氣壓之存在，而且他推論知高山之上氣壓小於平地上者這個事實。他自己沒有機會去親證，因於一六四七年致書其妹夫代爲試驗；結果證實他的推論。巴氏并因此而發生一種意思，想用氣壓表來作山高的測量器。

流體中壓力平均散佈的定理亦是巴氏所最初清楚知道的，所以至今我們稱之爲巴氏原理。巴斯加而外，亦兼以數學上的供獻知名於數學史上的，尙有加里萊的學生卡伐里利（Bona-

ventura Cavalieri, 1598 - 1647)。卡氏的研究多半在光學的方面，於透鏡的焦點問題，尤有研究，他曾發見了透鏡公式的一特例；對於當時所流行的流體力學方面，他亦曾致力過一番，但未有若何供獻可考了。

在聲學方面，那時候研究的人較少。可記載的有猶太人曼賽恩 (Mersenne)，曾將加里萊對於聲方面的意見加以擴充。他首先根據加里萊的思想，說明聲之高低祇與振動數之多少有關，故欲研究聲的問題，必須從測量發聲物體的振動數入手，而不可僅恃耳的聲覺。他曾經發見一條定理：弦線之振動數在通常狀況下與其長成反比，與緊張的力之平方根成正比，而與其粗之平方根亦成反比。這定理的前二部分均無誤，但最後一部則與事實不符，祇簡單與粗成反比便是了。

曼氏曾對於當時的音樂師提議制定一種標準音，以爲音之識別；但未得若何人的同意。他又發見了共鳴的現象，惟亦未加以深刻的研究。聲的速度，他亦曾根據弗羅拉姆培根 (Bacon von Verulam) 的思想，在敲聲方面去測量過；所得的結果爲一秒鐘四百四十八公尺有半。

一六五七年六月，弗老倫成立了一個實驗院，他們當時提出一個口號，叫做「實驗了再實驗」。

這院裏的多半份子，都無甚樹立，不過確亦有不少的會員，對於科學智識之發展上極有供獻。一六六七年該院出了一種院刊，叫做「自然科學的實驗」，其中頗有些材料，祇是太零星了。這裏所可特別提出來的，是他們關於熱的實驗。熱之輻射及反射現象，是他們所最初發見的。他們將一塊很大的冰，置於一彎鏡的前面，於是將一寒暑表放在其焦點，則見寒暑表上之度數立刻下降，但將寒暑表逼近冰塊時，却反而不見其下降如是之速。因此，他們推論到冷熱是放射性質。冰之比重，他們亦曾測量過，所得的結果爲 0.917 ，與實際的比重 0.917 亦相差不遠。水結成冰時漲力的大，他們曾用很厚的鐵器來試驗過；許多人都爲之驚服。

熱之容受力這個概念，他們亦已得到。他們知道用同量的熱施之不同的物體，不能得到同的溫度。這個事實，本來已含有比熱的概念了。

光線的速度，那時亦曾有人測量過。其所用方法，係根據加里萊的思想，他們於相距一英里之兩處，各站一人及設置一光源。當第二人見第一處之光滅時，亦立即將其光滅之。如是，第一人即可測定自己滅光及見第二光滅中間之時間，以知光行二英里所需之時。他們曾用這個方法作過測

量，但因光行太速，人的行動難以準確，所以未得若何結果。

最初對於光速推得較有結果者，爲丹麥天文學者羅末（Olaus Römer）。他將理論上推算得的日蝕時間與實際上的相比較，知道光線於一千秒鐘內行四千萬英里。因而他推定光速一秒鐘四萬英里。這個數目雖然不對；但他的根本思想可說不錯，祇因當時天文學上的智識尚不夠，所以結果相差甚遠是了。

直接或間接受加里萊之影響起而研究自然能有供獻者，我們已約略的如上述過。加里萊時代及加里萊身後的物理學狀況，已可見其一斑了。

4. 居禮開許根司及其同時代人

加里萊的影響，雖不限於意大利本國；但在十七世紀中，除意大利而外，德國荷蘭英國諸地亦有崛起的物理研究者，初不必屬於加里萊的系統，所以我們可另章敘述之。

居禮開（Otto von Guericke, 1602—1686）是德國中部人；他早年的身世未詳；一六四六年後，他被任爲麥格德堡（Magdeburg）的市長。他的物理研究亦多在這市長任內所從事，而且當

時的德國還未脫野蠻狀況；所以他能在這種時候，以一身兼政治家而科學家，亦可說是難能可貴的了。

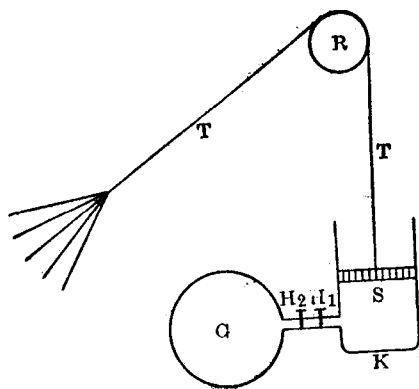
居氏在物理智識方面的供獻，主要的是其關於真空方面的研究。亞里士多德以來，一般人都對於真空的可能，極為懷疑，加里萊及其後進於此問題亦未有深刻的研究及重要的發見。首先解決這個問題者，是居禮開氏。

我們現在讀居氏所遺留下來的著作，知道他不知作了多少次的實驗，纔最後得到成功，製出一個真空器。他在他的名著「在麥格德堡所作的真空新實驗」中曾有極詳細的敘述，描寫他屢次實驗失敗及最後成功的經過。我們這裏不能詳述了。

居氏所創造的真空器及氣壓試驗具極多，我們亦難以盡述。最著名的，要算是他的「麥格德堡半球」，至今猶為一般人所驚奇。居氏當時所用的，是兩個銅製的半球，其半徑為 0.335 愛倫 (Ellen)，能密合起來不透空氣。他將這兩個半球合起來，將其中空氣抽盡，則見半球極緊的合住，用十六匹馬的力都不能將其分開。其後他又用半徑較大的半球來試驗，其緊合的力可抵抗二十

四匹馬的力。

一六五四年，德國的王公大人們集會於雷根司堡 (Regensburg)，居氏亦參與其列。在這集會中，居氏大顯了一次神通，把這班王公大人都嚇倒。這裏他所用的試驗器與半球的構造在根本上相同，不過換其形式而已。如圖K爲一銅製的圓柱形器，約高半公尺餘，直徑半公尺，固着於地上。圓筒內裝一塞子S，與筒相密合，猶如抽氣筒內之塞子然；塞子上繫以繩索T，經過轆轤R後，分爲許多繩，俾能給許多人拉拽。圓筒下部裝有一管，其上按有機關H₁、H₂可開關；由此管可通一真空器G。他先將H₁開放，使S下去，然後再關之，命數十人拽拉繩索，則見S祇能慢慢的在圓筒內上升，極數十人之力，僅僅使S上來幾寸。他於是突然將H₂開了，使G與K通，因而空氣之壓力突然增加，S猛向下沉；這時，這數十人盡被倒拽，多半倒下。在旁參



觀的王公大人們，一個一個都驚嚇倒了。

居禮開又將鐘置在罩內作試驗；他發見將空氣抽出時，鐘聲漸低，以至於不易聽到。將空氣重復灌入，聲音復又漸高。聲的賴空氣以傳達，於是益以明瞭。後來他又將動物置於真空內，則見動物斃了，將燭置入真空時，亦見燭滅了。居氏發見了真空以後，幾乎將每件東西都放在真空內試過，但我們不欲一一縷述了。

此外，居氏對於磁石及摩擦電的現象亦曾作過一番觀察試驗，不過沒有若何很大的結果可以提出來敘述。在天文方面，他亦是個崇信哥白尼學說的人；他曾明白的說過：如果我們已能知道，何須再用信仰；天文上的事實，與聖經毫無關涉；由聖經祇能找到聖善的門路，却不能得到若何物理的智識。

以前在論中世紀的物理學內我們已說過，齒輪鐘的來源很早，中間經過許多無名改良家的改良，乃能漸臻完備。但是我們現在所用的擺錘鐘，則其發見還不久，至今尚未到三百年。一六五七年時，荷蘭政府特許了一架新創的時計以專利權，當時曾在時計製造者中開關了一新紀元；這便

是擺錘鐘的新創。發見此者，是著名的荷蘭物理學者許根司(Christian Huygens, 1629—1695)；許氏在科學及日常生活中的供獻，只此一架鐘已夠傳名不朽了。但他的供獻却還不止此，在天文及光學上都有不朽的事業。

自一六五五年開始，許氏曾致力於望遠鏡的改良。加里萊所已經改良過的，他又爲之改良一遍；因之，他發見了許多前人所未見的現象。在本年三月，他觀察到土星的月球，并清楚的認識了土星的形狀。他見土星外圍有一平的腰圍，將星球不即不離的圍着。翌年他又發見了木星火星等方面的許多現象。

許氏的發見擺錘鐘自然不是偶然的事。他對擺錘問題曾有一番研究，多爲前人所未曾究及者。計算平面內振動時間的方法，以前曼賽恩曾已提出過；許氏即將此問題加以深入的考慮，他的出發點是在設定一個所謂「振動點」；因有此點，故可將物理擺錘之質量視爲集中在此，所以其振動可作爲一數學擺錘研究。不過在研究這問題上，往往不能避免複雜的積分法，而在當時，數學上的造詣，尙不能解決這個困難，所以許氏所得的結果有限，祇能得若干特例而已。

將物理擺錘的問題歸納到數學擺錘上去，而且得到一個振動時間的公式，這是許氏所創關的成功。於此，他曾藉助於擺錘之研究，用他所得的擺錘公式，他又去測定地球的加速。同時，他又提議用秒錘之長作為長之單位；可惜他這個提議沒有被人理會。不過這個量不是一個常數，這個困難却亦是他所知道的。

關於這一點，最初清楚知道的為法國天文學者利協（Jean Richer）氏。利氏當一六七一至七二年間，曾在開音（Cayenne）島從事於地經線的測量。他發見他由巴黎帶來的擺錘，每天必慢二分鐘，因此，他必須將擺錘之長縮短三 mm 。當他回到巴黎時，由島上帶來的鐘又快了，所以須重復增長三 mm 。他解釋這事實，以為是地球非渾圓而帶扁形所致。這個見解，許根司完全接受；他并且從離心力的研究方面來證實并補充這地扁的理論。

一六六八年時，英國皇家學會出獎徵求關於物體撞擊的理論。許氏因即將其於一六五六年所已完成的理論作為論文去應徵；結果，他竟然將知名的物理學者華里士（W. Wallis）及雷氏（Wren）壓倒，得第一獎。在這論文內，運動量不滅定律，已清楚的提出，而且他還知道質量乘速度

平方的乘積之和，經撞擊後並無變動。這實在即是後來萊伯尼茲（Leibniz）所說的活力（*lebendige Kraft*），我們現在稱之爲動力。因此，我們不能不承認許根司不獨已有了動力的概念，而且已知道動力不滅的定律了。

除此以外，許氏還自創了一架原始的蒸氣機，或可說是火藥動力機。他在他的日記中（一六七三年二月十三日）曾說過：我們須有一種動力，不若人畜那樣必須要滋養，而且力量還不大；這便是他創製這火藥動力機的用意。火藥動力機是一個鐵的圓筒，裝有一塞子在內與筒密合，猶如一抽氣筒的構造。底下置以火藥，爆發後其煙將塞子推上；煙完後，塞子重復以空氣之壓力降下。如是，塞子即成爲推動之具了。這個動力機在實用上自然不甚方便，所以未有多的結果。

在光學方面，許氏尤有特別的供獻。光之波動理論，是許氏所創始，這是現在一般所知道的了。關於此點，以後再當提及，故暫從略。

除許氏而外，在這時代內所可提及的，尚有波以耳（*Robert Boyle*, 1627—1691）及馬利奧脫（*Mariotte*, 1620—1688）等諸人。波馬這兩人在物理學上的供獻，至今物理學的教科書中猶

可看到，可不贅述。爲簡單計，我們亦不能再提及其他的人了。

5. 伊薩克牛頓 (Isaac Newton, 1642—1727)

牛頓在近代科學史上的地位，已成爲婦孺皆知；到現在，無論那一國的人，如果尙未聞牛頓其名，我們便簡直可稱之爲未曾受過教育。所以我們在這裏再將牛頓表揚一下，實在已是不必要的事。牛頓不獨是一位不朽的大物理學者，而且還是開闢數學上新道路，完成近代天文學的人，這也是人所共知的事實，不待我們再介紹的了。因此，牛頓的偉大，牛頓的事業，這裏不再詳敘，而且亦難以詳敘；我們祇略略提及其一斑，以完成我們歷史的敘述。

古來零星的物理研究，至加里萊而告一段落。加里萊以後，物理研究方面，已略有方法可言，有系統可尋；雖因工具等關係極有限制，說不上什麼完備，但總算已粗具眉目了。所以物理學至加里萊而進一新階段。但是，雖有實驗的研究，而無理論上的系統方法爲之組織，則實驗的範圍極有限制，系統上更難進步，物理學終脫不了零星的病，不易再進步，更無法漸進乎整個。將物理學加上一番理論的組織，使好多實驗上難以着手的問題得解決，擴大了實驗的範圍，同時，使物理學成爲精

密的系統，不再爲零星的研究，因而物理學得漸進爲精確的科學，有一定軌道可以發展，這個更進一步的新階段，便是牛頓所完成。近代的真正物理學，用數學方法來整理物理現象。是牛頓所創開的新道路。

就整個的物理學說來，實驗與理論自當並重，沒有實驗，理論便無所根據，沒有理論，實驗即成爲無目的的事。就歷史上看來，實驗方法自較數學的理論在先。不過就近代物理學的根本精神而論，我們不能不承認數學的理論是近代物理學的根本，要不是這數學方法，恐怕到今日物理學還是在加里萊時代的狀況。所以物理學的進步有賴於數學，牛頓是開闢數學上新紀元的人，他發明微積分絕不是偶然的事。不過關於這一方面的問題，我們自更不能多敘了。

牛頓的萬有引力定律，天體力學上的供獻，以及其爲近世力學樹立基礎，這都是一般所知道的。他在光學方面所創的光點放射說，與許根司的波動論相對立，這也是很熟知的事。除此以外，他於分光學等方面，亦有研究。他最初指出一個事實，知道顏色不同的光，其折法亦不同。首先他所證明的，是青色的光線，較之紅色的光線其折光爲強。他又用三稜鏡將光帶映在牆壁上，則見青色

光線離開光線原來之處所方向最遠；因此，他斷定青色光線之折光度為最強。自三稜鏡透出的光，他又擇其中之一種顏色，使其再透過一其他三稜鏡，則見其雖然又折了，但却仍是原色，不會再分光帶。他將第一三稜鏡旋轉時，各色都透到第二鏡，但顯然的可見紅色之折光度仍是最弱，而紫色則甚強。他當時所最注意的，是將各光帶收斂時，所得之合仍是白光。因此，他斷定我們所見尋常的白光，本是各種色光所合成，而因各色之折光強度不同，故白色光透過三稜鏡時即可將其分析開。他并且還作了許多試驗，證明其見解之無誤。

牛頓將光帶上之色分為七階，即紅、橙、黃、綠、青、藍、紫。他將這顏色的七階與選音方面的七音相對，這自然是很牽強的事；青與藍的分別，亦有些不自然，不過為方便計，至今仍習用之而已。根據這個智識，他對於虹的現象自然能有較滿意的解釋了。

關於光學的研究，牛頓曾前後發表了兩本著作，一出版於一六七五年，一則在一七〇四年發表，而後者尤為重要。他所致力過的問題甚多，發見有不少的材料，今不詳述了。

與牛頓同時代的人中對於光學方面的現象有發見者，亦還有二個可提。其一是猶太人格利

馬爾地 (Grimaldi)，他曾發見光之干涉，以及屈折現象。他還自己創立了一種假說，去解釋這些現象；這假說頗與波動理論相接近，不過他沒有詳述，而且未曾從他的假說中推論得若何結果，所以我們不能承認他是波動論之創立者。關於複折的現象，是一六五七年時罷多林 (Erasmus Bartholinus) 所發見。罷氏係哥本哈根 (Copenhagen) 的著名醫士，同時他還是一個數學家，法律家。他的發見複折現象，是在方解石片方面；他并觀察到折線中其一的折率恆為一零三分之二，其他一線則完全沒有規律，所以他稱之為「動的光線」。

在這時候，光方面的現象發見既多，遂發生解釋光之本質的要求。牛頓對於此的答案，就是著名的光點放射說。照他的見解，光以極微的物質之粒所成，由發光的物體向各方向放射出來，一切的現象均可歸宿到此項微粒之撞擊、吸引、反射等所致。但這幾個假定，自然不足以解釋一切；於是他不能不用入許多不必要太人工的假說以為補充。實在講來，他的理論祇能較滿意的解釋全反射及屈折現象。尋常反射的現象，他的理論已很薄弱。至於他所得的所謂動的光線之屈折定律，那更不可靠了。

牛頓的放射說發表於一六七二年，過了幾年（一六七八年）許根司即提出他的波動論與之對抗。一六九〇年時，許氏又發表他的「光論」，其中更詳細的敘述其波動論，解釋了許多現象。許氏的理論，至今光學上仍應用，這裏可以不贅述了。

不過關於偏光現象，許氏却不能解釋，因為他向來只知縱的光波。又關於顏色問題，他亦不能解答。因此關係，牛頓乃堅持其放射說，而且牛頓的理論直至十九世紀還被採取。其後電磁光論出，始完全決定了波動論的合於事實。但最近來放射說又有復活的可能，這就難以預斷了。

牛頓的引力問題研究始於何時，現在頗不易考；大約終經了長時期的考慮，纔得到後來的結果。一般所傳說的蘋果落地使他觸機頓悟，這祇是小說的材料，絕對不是事實。

關於天體力學及一般力學等方面的供獻，以及牛頓所用的研究方法，具詳於他的重要著作『自然哲學之數學原理』（*Philosophiæ naturalis principia mathematica*, 1687）中，這裏可不再敘了（這書的中文譯本，亦見於萬有文庫內。）

關於聲的速度，牛頓亦有一公式發表，不過根據此式所得之值恆太小，其不適用之處，一八一

六年時拉不拉司 (Laplace) 已能指出了。

牛頓物理學上好多根本概念及定律，現在雖已不能不修改，但是牛頓在歷史上的地位並不以此動搖，這是無異議的。無論如何牛頓是近代物理學上第一個人。

四 十八世紀之物理學

1. 力學及地球物理學

物理學發展至牛頓而漸向系統方面進行，慢慢的脫去零星之病，一切均以普遍的定律為歸宿；方法亦漸置重在理論的數學解析，不專賴簡陋的實驗了。不過在其他部分方面，這種發展比較的來得遲，這也是對象材料的關係；在力學方面，對象較為簡單，應用數學的解析法尤較為易，所以向這道路的新發展，力學亦能獨占先，這不是偶然的事。

靜力學的全部可建築在力之平行方形定理或槓杆定律上，這個思想，范利農 (P. Varignon, 1654—1722) 在十八世紀之初早已有之。一七一七年時，數學家約翰柏諾利 (Johann Bernoulli) 在致范氏的信中，更清楚的提出虛速原則在均勢理論上的意義；這個原則的來源甚早，我們以前輪述司蒂芬氏早亦提及過此了。

力學上的問題純粹用數學解析來解決，這個方法自牛頓開闢以後，不久即有很快的發展。一七三六年時，數學家歐拉 (Leonhard Euler) 發表一本著作叫做 *Mechanica sive motus scientia*，純粹用解析學來研究運動及力，是為解析力學之最初的著作。一七四三年，達倫伯 (d'Alembert) 始概括以前的研究，釋為一簡括的原則，作力學之基礎。達氏的原則經拉格朗 (Lagrange) 而充分闡明，至今猶為力學上之基本原則。拉格朗的『解析力學』一書，則尤為古今來解析力學方面的傑作；雖出版於一七八八年，距今已有一百數十年，但是一直到現在，這樣的書還不多見，仍可作課本讀。他在這書內將柏諾利的虛移原則與達氏原則相結合，以得全部動力學上的基本公式。我們知道，拉氏的運動方程，迄今還是力學的基本。因此，力學的發展，至拉氏而已，可謂臻乎完善了。自此而後，理論力學已漸漸的數學化，所以好久以來，一般數學家老早就把力學看作為數學的一部分，不屬於物理學之範圍了。事實上，牛頓以來的這些力學理論家，如上所述的歐拉、達倫伯、拉格朗乃至柏諾利，卻無一不是著名的數學家。

在實用的方面，十八世紀時尚無多的發見。空氣的抵抗力，摩擦等問題，那時曾引起許多人的

研究。十八世紀之初，巴黎的阿蒙頓 (Amontons) 氏首先證明摩擦之量祇與對接觸面的壓力之大小有關，却與面之大小無涉。至於摩擦之須分成爲平行的與旋轉的二者，這是萊伯尼茲所指出的。

十八世紀時所發見的機器比較的亦很少。不過那時候近於玩具的自動器却製造出甚多，亦可見力學的實用之一斑了。想發見一架永久自動機的思想，在那時候已甚活躍，并且好多人曾製造過模型或做過試驗。一七七五年時巴黎科學院曾聲明這永久自動機的不可能，并拒絕外面送來關於此機的製造法。但一般人的空想却絕不因此而改變，製造永久自動機仍爲當時社會上的一件大事，大家都想做此機的發明家。

在流體力學方面那時較作理論的研究者，有台尼爾柏諾利 (Daniel Bernoulli)。在實用上，利用水力的磨粉機亦在十八世紀中漸漸的普及於歐洲。其創製者中有可提及的如瑞格納 (Segner)，爲德國北部人，以及蒙德哥飛 (Montgöfer) 昆仲，則爲法國人。這兩位蒙氏，并且還是發起製造飛機的人。

在這裏，我們可順便將飛行機的來源略述一下。一六七〇年時，猶太人拉那台齊（Lana-Terzi）已有這種思想，打算用真空的銅球，作為飛行之具。他所計劃的銅球有七公尺半長的直徑，其銅皮的厚則為九十分之一公分。照他這個計劃，這銅球確可上昇，因與球相當的氣量重約三百公斤，銅球本身之重不到二百公斤，所以銅球上昇時還可載重一百公斤。不過實際上這個方法自然不能用，極薄的銅皮當然受不住空氣的壓力，所以這個銅球是無法製造的。

空氣熱後能上昇，這個現象的發見當亦已很久。據說最初發見此者在一七〇九年，其人為德古士毛（de Guzman）；不過亦很難考證，而且疑問甚多。無論如何，在十八世紀之初，這個現象是已知道的了。

前所述的蒙氏昆仲，確曾作過許多熱氣上昇的試驗；他們用紙袋裝入濃煙則見釋手後即上去了。一七八三年六月，這兩位弟兄在安諾納（Annonay）製造了最先的一個氣球，裏面灌以濃煙，居然上昇了。這氣球係用布製，直徑長十二公尺，本身重二百餘公斤，上昇時還能載重二百公斤。這可算是飛球之第一次成功。

蒙氏昆仲的試驗成功，引起了當時學者的注意。跟着便有巴黎物理學者歇萊 (Charles) 亦製造了一具，但歐氏却加以改良，不用濃煙而用輕氣灌入氣球。這樣，氣球的上昇力自然更強，而且更能持久了。一七八三年八月二十七日歐氏的第一個輕氣球在巴黎附近上昇了；這球在空中居然能持久至一點鐘，末後被風吹送到了蒲石 (Le Bouget) 附近落下，却把那裏的農民嚇倒，以為是天上降下的怪物，將有大不祥發生；於是這第一個輕氣球被農民們用耒耜農具頓時毀滅了。

第一個人乘坐蒙氏氣球上昇的是製藥師德老齊 (Pilatre de Rozier)；他在空中逗留了約半小時，重復安然降下，這是一七八三年十一月二十一日的事。下月一日歐氏亦自乘其所製輕氣球上昇，仍安然下來，并無危險。在這中間乘蒙氏球及歐氏球上昇的很多，卻未曾出過險。一七八五年六月十三日德老齊又乘其自製的熱輕氣球上昇，并想飛過愛爾末運河 (Armel Canal)；這一次，他不幸了；是為飛行犧牲者之第一人。德老齊是第一個飛行的人，亦是第一個犧牲於此的人。

因乘氣球的需要，於是乃有下降傘的發見。論其來源，本來一四八〇年時雷渥那圖已發見其理；不過事實上的試驗，則始於一七八三年十一月二十六日，即德老齊初次乘氣球後之五日。這裏，

諾曼德 (Le Normand) 用兩柄大雨傘張開在手，由樹巔上躍下，竟能稍慢的降下不致受傷。一七九七年十月二十二日，加納林 (A. Garnerin) 竟敢從六百八十公尺高的氣球上躍下，結果亦安然下降，終算是大幸了。

不過乘飛球去作科學研究的，那時卻還沒有。一則是因儀器的不精，所以在動搖的籃中即無法工作了；二則那時候須用氣球飛上去採集材料的需要亦還少。所以這時的坐飛球，祇是好奇，卻沒有實用的目的。

十八世紀時實用力學方面的情形大率如此；我們在這裏并可一及當時地球物理學的發展。我們以前提及過，利協會發見地球之扁形，但當時的巴黎科學院卻反對這個意見，而以爲是熱度之影響。事實上，因熱而使擺錘漲，遂致鐘行遲，這也是實際狀況。一七二一年時，時計製造家格拉哈姆 (G. Graham) 爲糾正此毛病計，曾製造一種用水銀的擺錘，俾熱時擺錘桿雖長，但錘之重心則移高，因而可相抵消。可惜當時還未有此項較精的儀器，所以利氏與巴黎科學院的爭執無法解決。當時對於地球的形狀問題，於是遂有兩種意見，一種認爲渾圓，一種則以爲兩極稍扁。許

根司與牛頓均相信扁形說的。

一六八三年至一七一八年之間，卡西尼與拉希爾 (Cassini und de Hire) 作了許多經緯度的測量，結果，他們又新創一見解，說地球是長圓形，兩極引長。於是對於地形的問題，意見愈益分歧了。經過若干年的爭論後，大家決定從新測量，來解這問題。於是拉孔達明及蒲傑 (La Condamine, Bouguer) 往祕魯，莫柏多及克來勞 (Maupertuis, Clairaut) 則往辣不蘭 (Lapland) 測量。到一七四二年，此事始告結束，地扁之說，終於成立了。

自此以後，直至數十年後方又作第二次的地球測量，其目的則在求得一個長量之自然的單位。本來許根司早就提議過用秒擺錘之長為單位，卻未有人理會。一七九〇年五月八日巴黎國民大會議決採用許根司的提議，並規定以四十五度下的擺錘為標準。但至次年三月三十日，又改定採用子午線之四千萬分之一為單位。測量的工作在一七九二年開始，由梅欣 (Mechain) 與德拉伯 (Delambre) 從事，經數年之久始完成。一八〇〇年六月二十五日，這個新單位始以法律公布，并用以前了不朗 (A. S. Le Blond) 的提議，名之為米達，這就是至今通行世界的公尺。

因蒲傑往祕魯的測量，又發見山影響擺錘的事實。天文學者馬司開萊 (Maskelyne) 及數學家黑登 (Hutton) 於是根據此事實以推算地球之密度與質量。其所得的結果為 4.93。這是一七七六年的事。過了二年，加文地希 (Henry Cavendish) 又發見了另一測量地球密度之方法。他所用的方法較為簡單，祇是一天秤。他所測得的結果為 5.48。同時，他並且證明了物質間的吸引力。除此以外，十八世紀的力學及地球物理學別無可記載的了。

2. 聲學

在各種物理智識中，十八世紀時進步最少者，厥為聲學。這裏，我們姑略述一些可記載的，以見當時聲學狀況之一斑。

一七〇〇年至一七〇三年間，數學家蘇佛 (Sauveur) 發表了許多音樂聲學的著作。其中較重要的，是他計算得若干音的振動數，這些音大半是笛聲。至一七一四年時，音樂師他弟尼 (Tartini) 氏始研究及所謂組合音的問題。對於倍音的研究，則自諾貝爾 (W. Noble) 及皮谷 (Th. Pigott) 始。弦音的振動數，亦為蘇氏所求得，其方法實根據於泰羅 (Taylor) 氏的公式。

一七八七年時，克拉尼 (Chladni) 始發見發音板上之圖形，他曾對於此有詳細的描寫，至今猶多引用。同時，他并發見弦與棍條之縱振動。一七九七年時，他根據所得的經驗，測定此項音之振動數以及固體方面聲音傳達之速度；所得的結果尙無大誤。他并且測量到音波之長，結果亦不惡。進一步，他更測量聲在各種氣體中傳達之速度；他推得在輕氣中傳達最速，炭酸中最遲。這個結果，是牛頓當時所亦已知道的。

至於聲音的傳達與熱度的關係，則其首先的研究者爲波羅那 (Bologna) 的醫士皮恩可尼 (Bianconi)。一七四六年時，他測得聲音在熱空氣中之傳達，較之在冷空氣中爲快，所以夏天時聲的速度大而冬天則小。除此以外，十八世紀的聲學別無其他進步可言。

3. 熱學

十八世紀的熱力學上所可特別記載的是蒸氣機的發明。我們現在一般都知道，蒸氣機是英人瓦德 (James Watt) 所發見的；不過事實上，蒸氣機的來源却還要早些。瓦德於改良蒸氣機確有大功，但不是他所最初發見的。至於說瓦德見壺蓋動而發明蒸氣機，這與牛頓的蘋果故事一樣。

的無稽，祇能作為小說材料，不是事實。

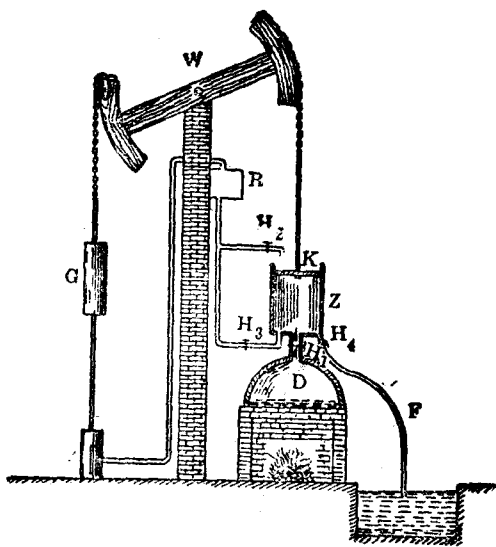
蒸氣機的最初發見者，是法人巴本 (Denis Papin)。他自一六七二年後曾為許根司的助手。至一六八八年，他轉往德國任馬堡 (Marburg) 大學的教授。最初，他發見水的沸點與壓力有關，壓力小時易沸，壓力大時即難沸。他的想製造機器，是受了許根司的影響。我們在前面曾提及過許氏的火藥動力機，巴氏在當時感覺到這機的太不方便，想用一種其他的動力來替代火藥。一六九〇年，他發見了蒸氣的方法，自製出一架蒸氣機，但自然是極原始，其不能實用與火藥機相同。

巴氏的原始蒸氣機是用一鐵圓筒裝以塞子製成；圓筒內塞子下有一些水。將火燒筒底時，水蒸發為氣，於是塞子被推上。塞子推上時，即將火移開，則筒漸冷而空氣壓力又復將塞子壓下。這個將火移來移去的方法，自然是太原始了。所以他這個蒸氣機雖較許根司的火藥機要進一步，但仍一樣的不能用。

巴氏的蒸氣機原理不久便由霍克傳給製鐵業者牛可門 (Th. Newcomen)。經牛氏之手，這蒸氣機確是大改良了。一七〇五年牛氏自製了一具蒸氣機，已可實用，不若巴氏的那樣原始了。

如圖所示，D 爲汽鍋，其汽上昇至圓筒 Z，於是將塞子 K 推上。W 爲一缺輪，一面與 K 相連，一面則接以重量 G，使 K 易上。K 推上後即將 H₁ 關閉，使汽不再上昇，同時即開 H₂，俾 R 內所貯的水流下至 K，使 Z 中汽易凝而 K 則爲空氣壓力所重復壓下。於是再將 H₁ 開之，K 又復推上了；這樣，這蒸氣機便可工作。同時，G 下接以抽水筒 P，W 動時，P 即抽水上昇至 R，使 R 內水不致缺乏，並可用以抽起地下之水。

不久，因塞子 K 不緊漏了水到 Z 裏去，發見這機器更能工作了。於是因偶然的裝置不精，反而發見更好的方法；以前由 H₂ 流下水來助 Z 中蒸汽凝縮的辦法，易成爲由 H₃ 灌水入 Z 的法子了。這



樣一來，蒸汽機工作能力又復增加。圖中所示的H及F即為將Z中水重復放出的機關。一七一〇年時的蒸汽機便是這個狀況。應用此項機器時，必須用兒童司開關H₁H₂等之職。

那時候此項蒸汽機祇在開礦挖地等方面應用，其唯一的用處，就是能將P底下的水抽出。雖然機器原始，作用簡單，但總比人工要有力些。所以這原始蒸汽機居然用的地方很多。

對於此項原始機器，大家都感覺到還是不方便，尤其是要用兒童司開關更覺困難。所以第一步的改良，便是想個方法讓機器能將H自為開關；但是許久未有結果。直至一七六四年，英國格蘭司可(Glasgow)大學的一位機械家瓦德纔想得了大規模的改良方法，並製造出新機器的模型。翌年，他的新機器造成，較之以前的原始蒸汽機，確是相差很遠。瓦德的新機器不僅能有兩倍的效率，而且他裝置了許多機件，完全是他的新發明。他給汽缸一個保護其熱的裝置，添上了凝縮器、歪心輪、離心調節器等要件，而且他還講究到節省蒸汽之法，這實在是那時候破天荒的改良。

到現在好些人還相信當時巴本曾經製造過一支小汽船，在富而達(Fulda)河中駛過，這亦是一個小說。事實上，一七三六年時英國人赫爾(Jonathan Hull)曾有一個計劃，想製造這樣一

艾水汽船，但沒有成功。汽車的計劃，亦早就有人想過，均未造成。直至一七六九年居諾（Cugnot）始實現了這個計劃，製造成一架能在街上行駛的汽車，這可算是第一架摩托車了。

在純粹數學方面，十八世紀中之進步亦有可記者。一七〇三年時，巴黎科學院的會員阿蒙頓（Amontón）始發見溫度表。阿氏又觀察到水的沸點恆一致，因即利用此以定其溫度表上之定點。用他這個表，他亦能知道氣體方面的一些事實，今所稱的蓋羅薩克定律（Gay-Lussac's Gesetz）實是他所已知道的。

阿蒙頓對於熱之本質的觀念，亦較前人為明確。他把熱看作為某種熱分子之運動，此項運動并可傳給物體之分子。溫度愈高則運動之速度愈大，因而并能發生壓力。這個見解，固然以前佛羅拉姆培根以及牛頓均有過，不過阿氏亦是自己的創見。根據他這個見解，他推定必有一溫度，於此項壓力成為零。這個絕對零度，據阿氏的計算是（用我們現在的度法說出來）負二百三十九度半，亦與現在所得的結果可比較。

我們現在所用的寒暑表，攝氏的、列氏的以及華氏的三種，亦均係十八世紀時所創製。華氏表

創於一七二四年列氏表一七三〇年攝氏表則創於一七四二年攝氏原來的度法，是一百度爲冰點，零度爲沸點；現在的反其道而用之，是植物學者林納（Linne）所改。至於極高極低寒暑表，則係一七五七年時查理斯加文地希（Charles Cavendish）所創製。查理斯即是現在一般所知道的化學家加文地希之父。他當時所製的是極高與極低各爲一表；一七八二年時，雪克司（James Six）始合之爲一。

溫度與熱量的區別，雖早有人見到，但未明確的辨別。一七四七年，俄人利區曼（Richmann）始對此有清楚的觀念。利氏并首創一公式：倘 m_1, m_2 爲二熱體，其溫度爲 t_1, t_2 ，則其混合物之溫度 t ，利氏作一公式表之爲：

$$t = (m_1 t_1 + m_2 t_2) : (m_1 + m_2).$$

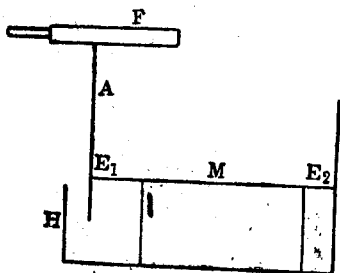
其後，化學家白拉克（Black）將華氏一百七十二度的水與同量的冰（華氏三十二度）相並置，則見冰盡融化，但其溫度仍爲三十二度。照利氏的公式，應得一百〇二度，於是發生疑問了；而且冰當融化時，其溫度仍不變，這亦是可注意的事實。由此二個事實，乃有潛熱的觀念發生。但這個

概念的明確形成，則至一七五四年時經德羅 (Deluc) 始成熟。

對於利氏的公式，維爾克 (Wilke) 曾爲加上一說明。維氏指出 $m_1 m_2$ 須爲結合狀態相同的同物質，利氏式乃可用，不然，這公式須加以擴充方能用。進一步，維氏并注意到不同的物質要將其熱增高至同度時，需要的熱量亦不同。這個概念，後來於一七八四年時由加多林 (Gadolin) 加以推廣而發生所謂比熱的研究。利氏原來的公式，於是加入了兩體的比熱 c_1, c_2 推廣爲下式——

$$t = (m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2) : (m_1 c_1 + m_2 c_2).$$

固體受熱而漲的現象，一七七八年時鹿化西 (Lavoisier) 與拉伯拉司始用較精密的方法觀察之。如圖，M 爲一鐵尺，其一端 E_2 固定不能伸縮， E_1 則可向前伸，并使其與 A 緊接。A 可旋轉，其軸上裝有一遠鏡，可由此窺一尺度 S。且爲燃燒的空間，燒時 M 因熱而漲， E_1 端前伸旋動 A，即可在 F 內窺其漲的程度了。用這個方法，鹿氏與拉氏乃能



測量鐵尺之伸漲係數。

熱的放射現象，始研究之者爲化學家歇來 (Schaele) 氏。他指出，風不能吹折此項熱之放射線，玻璃鏡但能反光，卻不反熱線，惟金屬的面則亦能將熱線反射。他這些見解，均由畢克德 (Marc Auguste Pictet) 用實驗爲之證明。畢氏將兩個金屬製的拋物形鏡相對立，在其一鏡之焦點置一熱源，則其放射出的熱線均由此鏡平行的反射出至於他鏡，重復經反射而集於該他鏡之焦點。試將溫度表置於第二焦點時即見其立即上昇了。反之，倘不用金屬製的鏡而用玻璃製的，即無此項反射現象。

十八世紀中可記的熱學上之進步，大率是如此，其餘更零星的事實，我們可不敘了。

4. 光學

前章內我們會略敘過牛頓對於光學上的種種供獻，以及他的見解之不正確處。本來經牛氏的啟發後，應當光學可漸漸的從此發達；但一般人總是崇拜偉人，以牛頓在當時科學界的地位，其權威竟使人對於他所說的話莫敢稍有懷疑。因此，牛頓對於光學方面所得的結果，支配了科學界

許久，大家都引爲滿足，不想再作進一步的研究了。一方面光學上亦無新的新現象發見，可以刺激人們的新思想，所以牛頓以後，光學會呈一時的停頓。

對於牛頓的權威最初起誘發發生疑問的，要算是歐拉。他指出眼中的各樣調節器，是專爲使光折時所發生的顏色分化不引起擾亂而生的。牛頓的見解，則以爲光之分散與屈折，是兩個不可分的現象，凡折光現象發生時，亦必起顏色的分化。但稍後便有克林根司乞爾那 (S. Klingensijer-na) 於一七五四年發見製造無色的三稜鏡及透鏡之法，翌年并由杜龍 (John Dollond) 實際的製造出來，用在望遠鏡方面。由此，改良光學器械的工作，重復振興了。

關於光之強弱的測量，許根司已作過許多試驗，但未有著何結果可言。一七二四年，蒲傑對於這方面的研究，始有相當的成功；他製造了一架光度計，頗能實用。現在一般人的所稱的利區 (Ritchie) 氏光度計，即是他的發明，并非利氏所創造。用這個器具，他乃能研究光經反射後之弱減，以及光透過玻璃、水等媒介物時之被吸收等問題。不過光度方面的基本定律，則爲一七六〇年時數學家萊伯 (Johann Heinrich Lambert) 所發見；在萊氏的研究方面，射影方法已儘量的

應用了。

我們前已提及邁羅未曾用天文學上的現象測定光速，一秒鐘四萬英里。中間雖有人想在地面上所施的方法來作測量，但迄未有成功的。一七二五年時，巴得利 (Bradley) 又發見一種測量光速的方法，仍根據天文上的現象，即某種恆星光之光差。他所得的結果為一秒鐘四萬一千五百英里，與羅氏的數目無甚大差別。

至於光之本質，則當時雖有牛頓的放射說與許根司的波動論二種，但許氏的理論始終沒有人理會，牛頓的見解已成爲不可拔。最初起來非難牛氏之說者，亦爲歐拉。歐氏指出了牛氏說中之許多弱點；他說：如果一放光物體，例如太陽，恆有微點向各方發出，則光之強度必隨時間而減，因此項微點不能無盡。而且在空中向各方向的微點交互相擊，何以不致互相混亂，這亦是不可能的。此外，根據這個概念，透明的物體必有無數小孔能讓光點通過而後可；此項小孔必循直線無疑，而且物體既各方向均透明，則必各方向均通繼行；如是，這物體即成爲烏有了。因此，歐氏不相信牛氏的放射說，而採取許氏的波動論；他並且爲波動論解決了許多困難問題。祇因當時牛頓的權威甚

高，所以歐氏的話，聽的人亦很少。

十八世紀的光學，沒有別的可記載了；我們現在一述磁與電方面的進步。

5. 磁與電

十八世紀時關於磁的研究全然限於鋼鐵的一方面，因為那時候只知道鋼與鐵纔有受磁性，所以認為這是二者之特有屬性。在沒有對於磁作深刻研究之前，尤其是電磁現象未發見時，此項限制當然無法超越。所以在十八世紀之前半紀，所用的磁體，大都限於自然磁石；那時自然磁石價格之高，亦為歷史上所僅有，猶之現在的金剛石一樣。本來用摩擦的方法，可由自然磁石製造出人工的，並不很困難，而且這個方法早就為紀爾伯所發見；但是那時竟已失傳，因而直至一七三〇年時始由薩佛利 (S. Savary) 重複發見，同時剛東 (Canton) 與米奇兒 (Mitchell) 亦各不相知的發見了此。最初所製造出來的，是用鋼條製成的人工磁鐵，至一七四三年時，地德里虛 (J. Dietrich) 始改之為馬蹄鐵形。以今觀之，這大概是達尼爾柏諾利的思想，因為他還發見一條簡單的定律。

分極的現象，那時亦已發見，亦有種種解釋，但都不合事實，可無再述。磁之本質這個問題，亦已討論到。一七五九年時，愛璧 (Aepinus) 倡爲一種流體說，以解釋磁之本質。據他這個說法，磁是一種流體潛伏在磁體內；如其分量適當，即不發見磁性，但過多或缺乏時，則即發生陽磁或陰磁了。這個理論與弗蘭克林 (Franklin) 的電之流體論甚相似。顧龍 (Coulomb) 亦採取他這個流體的理論，不過又替他增加了許多詳細的說法。照顧氏的意思，每個磁體，均由無限多的微小磁體所成；此項微小磁體，各各具有陽陰兩種磁質，所以在某種排列下，可相消不生作用。這個磁的理論，與近代對於磁的見解，大體上已無多差，不過他仍用流體的說法是了。磁極之吸引與排斥力的定律，亦爲一七八五至八九年間顧氏所發見，即今所稱顧龍定律是。

在電的方面，十八世紀中所發見的現象亦甚多。那時候一般人對於這些新奇的發見，多有引爲驚異者；這猶之最近的愛克司光線等物，能使對於物理最無興味的人亦感覺得奇怪。一般有科學興味的，自然更找到許多研究材料，所以十八世紀內電學方面的進步，可記述者很不少。

放電時火花的現象，在十七世紀之末，已有人研究。霍克司皮 (Francis Hawksbee) 在這方

面曾作了許多工作；他的著作發表於一七〇九年，其中含有不少可貴的材料。他曾在摩擦玻璃棍等發電物方面作火花的觀察。同時，英人瓦爾（Wall）氏將這種火花與雷電時的閃電相較，但他却不敢斷定這是同一件事。把摩擦發電物所得的火花認爲與雷雨時的是同者，這是一七四六年時溫克蘭（Winkler）的見解。

霍氏并發見一個事實，知道在潮濕的空氣下，很難作電的試驗，常常不能得到什麼結果。對於這個事實，他想不出理由來解釋，因爲當時對於電之傳達方面簡直還沒有什麼知識。

一七二九年，格雷（Stephan Gray）始發見電之傳導，并知道物體中有能傳電，亦有不能傳電者。這個發見，可說是電學上的一個重要進步；自此以後，不僅以前有好多不能解釋的事實至此可以明白，而且開闢了後來研究的新道路。跟着他這個發見，不久就有積儲電的器具製造出來了。金屬經摩擦後不能發電，這個事實亦是早已知道的。格雷發見傳電體與不傳電體後，杜法（Du Fay）便作一個概括的結論，說祇有不傳電體纔能因摩擦生電，傳電體都無此屬性。他這個結論，自然不能用；不過他同時又發見電有二種，不同的電能相吸引，同的則相排斥；這個發見却是

很重要的。

稍後，台亞久利 (Dasaquiers) 又報告一個事實：帶有電而隔離的導體，用手觸後其全部電均失去，但在不導體方面則祇失去所觸部分之電。

發電機的製造，於是亦漸漸的開始。起初時候，不過是用些裝置，代替手工的摩擦而已；後來，即有人設法將摩擦物上所生的電引出來，使集於其他的導體上；這個發見是一七四四年時被瑞 (Rose) 的供獻。

發電機的第一步改良，是用玻璃盤代替往時的玻璃棍及玻璃筒；這個改良是誰的供獻，已不能考；但由棍及筒改良為盤自然不是難事，想到這一層的，當不必定為某人，很可以是一個公共的發見。大的摩擦發電機，在當時亦還少見。以今可考者，一七八餘年時，克倍孫 (John Outhertson) 曾為哈來姆 (Harlem) 地方之泰羅博物院 (Museum Taylor) 製造了一架很大的摩擦發電機；據該院博物部的主任馬羅 (Martin van Marum) 說，這發電機每分鐘發出三百餘火閃長至六十公分。

由於大發電機的產生，乃能得較強的電力，作種種更引人注意的試驗。於是漸漸的使一般對於科學隔離甚遠的人亦感覺到興味了。所以那時候電的試驗，許多人都把他當作變戲法看。尤其是由人身放出火閃的方法，為當時宴會中所必備的娛樂。

電閃能發火，這個事實在那時亦早已發見。據說戈登（Gordon）曾用帶有電的水灌到酒精上去，使酒精燃燒；當時的人見了都為之驚異，因為他們只知道水能滅火，却未見過水可發火的事。又說格拉勒（Gralath）曾用電閃燃燒油燭。

凝聚器的最初發見，是在一七四五年冬。那時克勒司德（Kleist）將一個鐵籤插在一瓶中，瓶的內部是潮濕的，他使籤帶有電後，想重復拔出，再裝入。不料手甫及籤，即受一極強的顫動，幾乎不能支持。他將這個情形告知他的朋友後，不久便聽到荷蘭萊登（Leiden）地方亦曾有同樣的現象發生過。那邊是一個叫做可乃（Cunaeus）的，想由插入瓶中的鐵籤，傳電給瓶內所裝的水，結果亦如克勒司德那樣受了一個大顫動。據末奧柏雷（Musschenbroek）寫信給雷奧米（Reaumur）描寫當時所受這種顫動的可怕，直使他提起了就要寒心。由雷氏的傳佈，納勒（Nolle）又再作了

一次這個試驗，結果亦是一樣的可怕。現在所用的萊登瓶這個名稱，還是納氏所創。事實上，最初發見萊登瓶者，還是克氏，所以亦有人主張正名，稱萊登瓶爲克勒司德瓶。

據當時的記載，說好些人被萊登瓶所觸，致大病數日者；這也許是當時的人少見多怪，因異常的驚恐而致大病，不然便是一般人故意張大其事了。

萊登瓶發見後，格拉勒卽加以改良，將鐵籤易爲鐵線，并將幾個瓶連結起來，造了一個簡單的電槽。後來又經倍維 (Bevis) 之手，始於外面塗上一層金屬箔；至於內面的塗層，則爲華德生所創製。到勒毛尼 (Le Monnier) 時，始將瓶之外層與地相接；這又是一個大進步。

剛東是測量萊登瓶的容量之創始者；他所用以觀察的標準，是電閃之多寡。但比較可靠的測量法，還是藍 (Lane) 氏所發見；他的測量瓶發見於一七六六年，今所知道的藍氏測量瓶卽是。

一七四八年時，華德生想測量電之傳達速度；他用一萬二千英尺長的線傳電，線之一端接觸在人手，一端使其與萊登瓶相遇，而觀其萊登瓶與線相接時至人感覺顫動中間所需的时间。他屢次試驗，均得同樣的結果，顫動與瓶線相接之間，簡直不需時間。電傳達之速，於是知道一些，但終

無法測得其速度的一個粗概念。

量電計的構造，亦經過幾十年的歷史。杜法曾將絲線綿線等懸空掛起，用帶有電的物體與之相接近，而觀其吸引的傾向。一七五三年時剛東用兩個小的球以驗電之強弱；卡伐羅（Cavallio）則將其放在瓶內，以免空氣之影響。中間又經過伏爾太（Volta）等之改良，直至一七八七年時，始由倍耐（Bennet）改用金葉的方法。同時，一七四七年格拉勒所創的天秤電量計，至此亦漸漸的改良適於實用了。

電之感應現象，是一七五四年時剛東所最初發見的。他觀察到所懸的兩個小球，當帶有電的物體與之接近至某程度時，小球即呈互相排斥之現象。剛氏因此假定「電氣」的存在，以解釋此現象；他說電之周圍有電氣，當小球入於此項電氣範圍時，球本身亦帶有同性的電了，因而即有排斥現象發生。

然不久維爾克（Wilke）又發見一個現象，與剛氏之說不能相通。維氏將一個帶有電的棍逼近一球，并用手指微觸之，然後將棍移開，則球亦帶有電了，惟其性別恰與棍上之電相反。這個現象，

自然非剛氏之電氣說所能說明，因為電氣不能使其發生相反的電。至一七五九年，愛璧 (Aepinus) 對於這感應的現象，又有進一步的發見。他指出，將導體與帶有電的物體接近時，導體上即發生電，而且有二種；與電體相對之面，得與之相反的電，與電體相背之面則有與電體上同性的電。愛氏於是自創了一種新說，以解釋這個現象，這就是他的「電作用範圍」說，較之電氣說已進步多了。對於電的觀念，至此又有稍變。

原來電之本質的說明，大體上已有了二種。杜法假定電有二種，一是玻璃上所發生的，一則為火漆方面所得的。弗蘭克林只要一種已夠；他的見解，是每個物體均有一定量的電，倘不足此定量，則得玻璃電，如太多，即生火漆電。他曾用這個見解，去解釋萊登瓶之性質。一七五九年時，英人西末 (Robert Symmer) 又自創一新說，反對弗氏的見解。西氏假定有二種電質；在尋常物體方面，此二種電質之量相等，故適相消，而其作用不見於外。但如其一缺少，或竟沒有，則其他過多而物體乃顯有此過多電了。所以由一物體得電時，實際上是分開其原有的二電。西末這個見解，實在是根據維爾克的實驗來的。一七五七年，維氏發見摩擦物體生電時，不僅被摩擦的物上有電，摩擦者本身

亦發生電，而且二者適相反。西氏的理論，恰恰能解釋這個現象。至於現在所用的陽電陰電的名稱，是李希登伯 (G. Chr. Lichtenberg) 所創用。

雷雨時的電閃與摩擦發電時的電閃沒有分別，這也是弗蘭克林所肯定的。避雷針的製造是弗氏所首先提出，不過却未曾實施。他用風箏作試驗以證明電閃之電性，這個故事，是一般人所都知道的。到一七五四年時，避雷針始在勃蘭地茲 (Prenditz) 地方實施；不幸未久即被農民們反對而拆去，因為農民都說這個不祥物乖違天時，能致旱災的。避雷針之傳入英國在一七六二年，傳入德國始於一七六九年，法國則至一七八四年時纔有。

跟着弗蘭克林的雷電試驗，俄人利區曼於一七五三年亦作了一個試驗；不幸所傳下的電太強；他不及避開，竟為一火球所擊死。這是作強電試驗中之第一個犧牲者。這個消息傳出，使許多人對於雷電生戒心，有好幾年大家不敢再作這方面的試驗，電之危險以及其對於生理上的影響，於是漸漸的引人注意了。

用電療病的思想，起初時多少帶有神祕的觀念在內。波羅那的醫師璧伐諦 (Pivati) 相信一

切病均可用電治，并且有起死回生之功；不過他的試驗亦未得若何成功。一七四四年克拉正司坦（Kratzenstein）竟然用電治好一個麻木的手指，於是電能療病的信仰，益普及於一般人。翌年，他發表一本著作，極論電療之功用。繼之者有日內瓦的醫士約拉伯（Jallabert）以及捷克司拉夫司基的醫士布哈其（Bohadach）等，均發表許多關於用電療病的著作。不過在實際上，所可記的成效自然很少。納勒并相信電可以促進植物之長成及結實。

一七八八年時，顧龍發見電方面之根本定律。由這個定律，不難推得電在導體上祇集於其面上，內部卻沒有。事實上這個現象在一七三〇年時已為格雷所發見；格氏曾指出一個中空的導體與中實的導體，其容量無別。弗蘭克林并作了一個實驗，證明導體之內部無電。他將一金屬罐上了電，用一小球懸入罐內試之，球并不受電。同時弗氏并證明面積大時，電量之分配即隨着而稀薄。至於導體上電之密度祇與導體之曲率有關，這個事實亦是顧龍所證明的。顧氏自己亦曾作了兩個試驗，證明導體上之電祇集於其外面上，內部却無電。

至十八世紀之末葉，電與化學作用的關係亦漸漸有所發見。一方面，用電來製造新物，例如硝

酸等之法漸普及；同時，他方面，電分解的現象亦爲一般化學家所注意到，并有種種關於此方面的試驗作過。此外其他零星關於電的現象，在這時尙多發見；但我們這裏均不再詳述了。

五 十九世紀之物理學

1. 力學

前章內我們已說過，自十八世紀以來，力學已漸漸的數學化，有成爲一數學系統之勢。拉格朗之後，這個趨勢尤爲明顯。不過力學上有好些概念，則至十九世紀始成熟。例如工作（力與道路之乘積）之概念，是一八二六年時彭雪萊（J. V. Poncelet）所引入；偶力則爲一八三四年時潘恩素（L. Poinso）所增加入靜力學者。能力、動力、位力這三個概念係蘭克恩（Rankine）於一八五五年時所確定。一七四四年時，莫柏多（Maupertuis）已發見了力學上之所謂最小作用原則，不過自然是不確定的渾朴概念，所以莫氏將這個原則視爲造物之巧，欲與宗教上之全智全能相溝通；這自然是將力學腐化了。至一八三四年，海米爾登（Hamilton）始嚴格的用數學將這個原則明確表出，於是不獨力學上有了一个根本原則，而且全部物理學都能用此，所以海姆霍茲（He-

Imholz) 視之爲一切自然現象之公律。

在實驗力學方面，十九世紀中最著名的，要算是福考 (Foucault) 的擺錘試驗，證明了地球之旋轉。自是以後，哥白尼的理論就很少人非難了。至於擺錘的理論與實驗，則經倍失爾 (F. W. Bessel) 的研究，亦在十九世紀前葉成熟了。其後又經亨格勒 (Hengler)、翠爾納 (Zöllner) 等的補充，擺錘之理論的與實驗的方面，至十九世紀之中葉可謂已無多的遺漏。

彈性問題及彈力的研究，一八〇七年時英人楊 (Th. Young) 氏已有許多供獻；經弗蘭司納 (Fresnel) 而彈性問題之理論方面亦有系統可言。一八四四年惠爾脫哈姆 (Wertheim) 發表了極多關於此的實驗結果，韋伯 (Wilhelm Weber) 更研究及彈性之餘作用，於是這方面的理論及實驗，在十九世紀之中葉亦已略具規模了。

十七世紀中巴斯加所發見的流體中壓力之傳佈定律，亦至十九世紀之初纔有白拉馬 (J. Bramah) 製造出壓力機，至今猶爲實用工業上之要具。至於流體之可壓性，則雖弗老倫的實驗院中已研究及此問題，然未有若何結果；一七六一年時，剛東亦曾從事過這方面的試驗，他改用氣

壓來壓，雖有較好的結果，但以器械不精，盛流體的器向外擴張，故所得亦不甚精確。直至一八二二年時，安斯得 (Oersted) 始能糾正以前試驗上的種種毛病，得到較可靠的成功。他知道流體有可壓性，不過用人力的方法，所得甚少。

兩種比重不同而可以混合的流體將其細心的分層盛於器皿中，則仍然會自己融合起來；這個現象，即是所謂自由擴散。一八五〇年時，格拉哈姆 (Thomas Graham) 曾對於此現象有深刻研究。格氏并區分出兩種溶解物的不同；他名其一為晶體融化，其他為膠質融化。一八六七年時，脫老白 (M. Traube) 用半透明膜研究此項滲透現象；其結果引起不反法 (W. Pfeffer) 許多關於滲透壓力方面的觀察。范脫霍夫 (van't Hoff) 即根據他們所得的結果，得到許多定律。范氏所得滲透壓力方面之定律，能用以測定不能氣化的物質之分子重量，故尤為後來物理的化學開闢了新道路。其在電解質方面之不能適用，則為後來（一八八七年）阿海尼 (Svante Arrhenius) 建設電解質分解論之基礎，而克老秀司 (R. Clausius) 之部分分子的概念，於是應用亦愈廣了。一八〇六年，拉不拉司 (Laplace) 對於細管性的現象，作了兩條定律；後來至一八二九年高

斯 (Gauss) 又補充上一條關於流體之表面的定律，這就是高氏的最小面定理。細管性之實驗的研究，亦盛於三十年時代；著要的研究者有林克 (Link)、弗朗根哈姆 (Frankenheim)、台根 (Degen)、柏拉島 (Plateau) 以及崑開 (Quincke) 等。柏氏曾用油滴在酒精中，以得行星形式。乃至於太陽系統的構造模型。這是當時最引人注意的事。不過柏氏自己却不承認這個實驗，可爲康德及拉不拉司的星雲說之證據。

在大氣的研究方面，達爾頓 (Dalton) 在十九世紀之初曾作過許多觀察。當時雖已知道空氣之主要成分，但好多人多以爲此項氣體之比重既不同，必有層次可尋。達爾頓於是用自由擴散的理，說明其構造，而且他指出，二種氣體祇要相連接，則不問連接之法如何，結果必能相混合，其壓力亦即爲各氣體的壓力之和。

除達氏所研究的氣體之自由擴散以外，他方面并有格拉哈姆之不自由擴散的研究，在這方面，并有本生 (Bunsen) 的許多供獻。尤要者，則爲其所發見的氣體密度之測量法。本氏所用的方法，是讓氣體由一小孔流出，則在同等的壓力之下，氣體之密度與流出速度之平方成反比。後來於

一八八三年時，本生又研究及許多爲固體及流體所吸收的氣體，發見了許多重要屬性。

對於空氣方面的研究，十九世紀之初，藉氣球之上昇亦得了不少的材料。一八〇三年時，飛行家勞勃生 (Robertson) 在漢堡 (Hamburg) 上昇，據他自己說，達七千四百公尺之高；事實上大概沒有這樣的高。勞氏報告說，他在上昇中測量到地球磁力的減小。但一般人對於他上昇所達的高度以及所作的報告都很懷疑，所以巴黎科學院決定另派人作實驗；被選出來擔任這個責任的，爲皮沃 (Biot) 及蓋羅薩克 (Gay-Lussac) 二人。一八〇四年八月二十三日，他們坐飛球上昇，達三千九百七十七公尺之高；但蓋氏不以此爲滿意，於是到九月九日他自己一人又飛昇了一次，結果昇至七千〇十六公尺高。勞氏的觀察於是被證明爲錯誤，但却得到了許多關於空氣成分、溫度分配以及電的狀況等之材料。自此以後，飛昇的事業益以發達了。六十年代時，飛行的研究院及學會已成立了好幾個；海格賽 (H. Heigese II) 并有國際飛行隊之組織，但至一八九六年，他自己在司脫拉司堡 (Stassfurt) 犧牲了。一八九七年時，瑞典的工程師安德萊 (Andree) 同他二個朋友，想乘飛球到北極去；他們由高山上出發，乘風往北，一去便渺無蹤跡。這是想飛行探極的第一批

犧牲者。

一八六二年時，格蘭歇 (Glaisher) 與柯克司威爾 (Coxwell) 曾達八千五百公尺之高，但因空氣稀薄，使感覺到呼吸困難；所以在當時已有人想製造可攜帶的氧氣上去。一八九四年時，倍松 (Berson) 飛昇至九千一百五十公尺高，測得其溫度降至攝氏負四十七度。這算是十九世紀時最高的紀錄了。超出一萬公尺以上的高度，直至二十世紀之初才達到。〔一九〇一年七月三十一日敘林 (Strinck) 始在柏林上昇至一萬零八百公尺〕。不過我們在這裏並不想詳敘飛行的歷史，所以不再說下去了。

2. 聲學

十九世紀的前葉在聲學上實在沒有什麼進步；那時候對於聲的種種研究，大都附屬在力學裏面，所以聲學還沒有獨立的系統可言。直至海姆霍茲起，始將聲學建設成爲一物理的系統。一方面波動運動之研究亦漸臻成熟，聲學之理論方面乃有基礎，許多問題亦容易解決了。在這個觀點上看來，聲學與光熱電的理論關係尤多；我們只看好多光熱電方面的問題，每有藉聲學上之相似

的研究得啓發者；同時，自然前者亦能促後者的發展無疑。

以前我們已提及過牛頓的關於聲速度之公式。一八一六年時，拉不拉司曾對於他這個公式作一些糾正；但以一般人對牛頓信仰之深，反盲目的反對拉氏之糾正。後來實驗的測量始漸漸的證明牛頓之誤，知道拉氏的糾正得當。關於這方面有可記載的，爲二十年代巴黎科學院的測量，支持者爲阿拉果 (Arago)，參加者除法國的學者外，尚有德人 洪寶德 (v. Humboldt) 以及荷蘭人 莫爾 (Moll) 及倍克 (v. Beek)。聲在水中傳達的速度，亦由法人 雷腦 (Regnault) 詳細的測量過。一八五三年時布夏 (Bosscha) 的和聲實驗，尤爲極有價值的材料。

一八二七年柯拉登 (Colladon) 與司多姆 (Sturm) 在日內瓦的湖中作水底聲浪傳達速度的實驗。結果測得一萬三千四百八十七公尺的距離，約需九秒又四分之一乃至九秒半的時間方能傳到。其後航行方面的海底收聲器的裝置，卽由此時漸漸的發展而成。

關於樂音和合的問題，一八四三年時沃姆 (Ohm) 對之有深入的研究；海姆霍茲則更將其結果系統化，擴充成爲音樂之物理的理論。海氏所發見的共鳴器，尤爲當時實驗聲學上的重要器

具，至今還仍應用。同時，因電磁學的進步，實驗的器具自亦能較完備；他的著名的電磁音叉器，實在給他不少的研究方法。音之干涉及總合等現象，海氏亦已觀察到；不過關於此的好多實驗，則待干尼希 (R. König) 及韋伯 (Robert Weber) 始完成。

此外如耳之聽覺作用，海氏亦有詳細的研究。耳中的所謂可帝 (Corti) 撥官之作用，亦待海氏的說明纔清楚。至於可聽到的音之限度，則其研究始於一八三〇年時薩華 (Savort) 氏。

波動之複雜形式，在數學理論未發達以前，自較難有整個的了解；所以那時為幫助研究起見，曾製有各種波動器械。最著名的是韋伯 (Wilhelm und Heinrich Weber) 的波動器，以及惠脫 (Wheatstone) 的波動器等。馬哈 (Ernst Mach) 亦製有一架波動機，而利沙肉 (Lissajous) 之振動複合器，則尤為當時重要的儀器，海姆霍茲 曾將其改良製造成爲振動顯微鏡。將音的振動記錄在塗煤的板上，這個方法是威廉 (二昆仲中之長者) 所創始。杜哈末 (Duhamel) 則改良此具使其記錄在能自轉的捲筒上；自是以後振動記錄器乃漸漸的發達了。至一八五九年，司各脫 (E. L. Scott) 製造出一架較精的聲音自動記錄機，所記的大概是薄膜之

振動。一八七七年時愛迭生 (Edison) 根據司氏原理，製造一架能將所記之音重復發出的機器；這已是留聲機之先聲了。至現在的留聲機，則爲一八八七年時華盛頓的柏林納 (E. Berliner) 所創造。

十九世紀中聲學的狀況自然可駁的還多；但我們姑止於此了。

• 3. 熱學

過去在十八世紀中，除了少數人外，一般都將熱看作爲一種物質，附着在物體上的。物體之冷或熱，即爲所帶此項物質之減少或增加。雖然這少數人已有將熱看作爲力的意思，卒因材料太少，不能解釋種種現象；反之，這物質論卻亦很說得通。後來關於熱方面的現象認識既多，於是這物質說就漸漸的遇到窒礙了。第一件事使人對於此說不能不發生疑問的，是隔離開了的熱體，應當沒有法子使其熱增加，但是事實上卻不然。同時，摩擦發熱的現象，亦非此物質說所能說明。不過科學的發展，常常是由遠的事物開始，而常人的心理，亦往往忽其所近而注意於奇怪的現象，所以此項日常生活上的經驗，卻沒有成爲初期科學研究的材料。

最初注意到摩擦熱這個現象，因而對於熱之物質說生懷疑者，是孟興（München）的軍械製造家本傑門湯姆生（Benjamin Thompson）氏。他原是英人，卻在南德意志巴燕（Bayern）受殊遇，封爲伯爵，專爲巴燕邦督造軍械。他看見挖砲時，砲管發生極大的熱量，却並沒有其他化學作用在內，所以他相信這熱量是重力鑽挖的結果；於是他發生一種見解，以爲熱可由運動而生，決不是一種物質。這個觀察是十八世紀末年的事。本來摩擦或重的打擊以及鑽木可得火，發生極多的熱量，這是日常生活中天天所可遇見的事；却偏偏要在挖砲方面發見這個現象，這自然是個奇事。但是類於此的奇事甚多，我們也難以縷述。

湯姆生將他觀察所得的以及他的意見公布後，台維（Davy）即作了一個實驗，證明湯氏的見解。他用兩塊冰互相摩擦，而且摩擦時的一切裝置，均在攝氏負二度之溫度下。結果冰融化了，所得的水其溫度爲攝氏正二度。這個熱量的增加顯然祇能由運動而得，所以台氏益信湯氏的見解，對於熱之物質理論亦更懷疑了。本來這些事實已足證明熱之運動性質，不過亦因觀念太薄弱，而且向來的物質理論一時不易動搖，所以十九世紀之初自然還脫不了這舊說的支配。

對於太陽光中之各色線，最初分別測量其熱度者，爲赫希爾 (F. W. Herschel) 1800年時之試驗。他用三稜鏡將太陽光線分出後，每種光線使其射至一溫度表上。結果他發表紅色光線之熱度最高，但在紅色以外，尚有不能見的熱線，比紅色線更強；這就是所謂極紅色線了。如是，赫氏在這個試驗中，並發見了極紅線之存在。

關於熱之放射現象，這時候亦爲人研究及。1801年時，來世利 (John Leslie) 說反射熱線最強的物體，其本身放射熱之能力即最弱。關於這個問題，後來1859年時開希霍夫 (Kirchhoff) 發見有吸收及放出定律。來氏的結果，經湯姆生重新實驗過，所得亦一致。1818年時，瑞倍克 (Seebeck) 又將赫希爾的試驗重復一遍，結果他發見熱度最高的線，在不同質的三稜鏡方面不同。赫氏的結果，是由比較火石質玻璃所成的三稜鏡及其他材料所成的鏡得之。緣此，試驗用具的問題，在當時頗引人注意。

熱線之反射及屈折，1830年時曼洛尼 (Meloni) 曾有詳細的觀察。稍後，曼氏與倍拉 (Berard)、福爾倍 (Forbes) 及克諾白老哈 (Knoblauch) 等又發見熱線方面之偏光複折現象等。

等，一如光線方面所已發見者。在當時，波動的理論於光學上已占勝利；所以熱線之波動性質，便自然有人想到。光線與熱線之相同的現象發見既多，光與熱又同時并來，故此二者之性質上必有相同處，這是那時候所已經確知的。

一八五一年時司范伯 (A. F. Stranberg) 發見一種極靈敏的熱量計，能測量到萬萬分之一度的溫度差；但這個器具之實際的完成，則待一八八三年時朗格萊 (Langley) 始成功。用這個熱量計去觀察太陽光線內的各熱線，始知極紅線以外，尚有多種的熱線存在，構造殊為複雜。

在熱之傳導方面，十八世紀之末已有引根霍司 (Ingenhous) 作過試驗；他知道各種物體之傳導力各不同。但對於此傳導現象作根本的研究者，為一八二二年時傅里葉 (Fourier) 所創；他的傳熱理論，為十九世紀物理學上之重要的供獻。其後經潘恩素 (Poisson)、維台曼 (Wiedemann)、弗蘭茲 (R. Franz)、諾含曼 (F. Neumann) 及開希霍夫等之工作，這部分物理學可說已在十九世紀之八十年時大體上完成了。稍後，又有韋伯 (F. Weber) 及格來茲 (L. Graetz) 等作了許多流體方面傳熱之精細測驗。現在所用的熱水煖爐，亦在這個時候漸漸的發展成功。

將若干不易變成流體的氣體液化，這個工作是大物理學者法拉台 (Faraday) 所最先做到的。他於一八二三年時，將綠氣及其他幾種氣體用強的壓力化成爲液體；於是知道物體的狀態，不若我們所想像的那樣固定。繼之者有地洛里 (Thilorier) 將碳酸製成爲液體及固體。不過那時將氣體化成爲液體，大都祇知用壓力，所以有好多氣體都不能成功，能液化者是極少的幾種。直至一八六九年時，安得來夫司 (Andrews) 始指出僅用壓力的不夠，同時必須注意到熱度一方面。用他這個建設，一八七七年時開萊德 (Cailliet) 與畢克得 (Pictet) 始能將輕氣、淡氣、養化炭以及空氣等，在高壓及低溫之下製成爲液體。一八八三年以後這方面的方法就多了；但氮與氫的液化，則至十九世紀末始成功。至於將氮製成爲固體，這還是一九一一年以來的事。

杜龍與畢底 (Dulong und Petit) 在一八一九年時發見溫度與比熱同變的事實，并說原子量與比熱之乘積乃是一個常數；這是一個近似而非正確的關係。相差不久的時候，阿伏加陀 (Avogadro di Quaregna) 亦曾發見過一個定律，說明各氣體在一定壓力溫度下，所含之分子數比。不過同壓同積下各種氣體比熱之測定，則自蓋羅薩克始，克雷孟 (Clement) 及其岳父德沙

姆 (Desormes) 曾改良其法。杜龍并用聲速度的方法測量此項值。最後的成功，則在一八八六年橋雷 (J. Joly) 的工作內。

一八二四年時，加諾 (Sadi Carnot) 發表了一篇著作叫做『火之動力的研究』，是爲蒸汽機之第一篇理論的研究。於此他指出每個熱力機均經過一個所謂循環歷程；著名的加諾原則，也就在這篇著作裏。他的理論之根本，還是建設在熱之物質概念上，然他的原則，則並不因此而失其效力。這也可以證明好些物理上的定律，儘可由不正確的出發點推得；所以結論的正確，不足以反證證據的無誤。然而無論如何，加氏這種深刻的對於蒸汽機之進一步的研究，是那時不可多得的貢獻。可惜加氏不壽，未能儘量發揮其天才；他的著作發表於他二十八歲時，過幾年他便去世了。

在這裏，我們必須提出勞勃脫邁含兒 (Robert Mayer) 其人。他是近代物理學上一個根本定理之發見者，這就是所謂能力不滅原則。一八四一年時，他草就一篇著作，叫做『論力之分量的與質量的測定法』；在這裏，他的熱與工作等值的根本思想已很確定的完成了。他將這篇著作寄往那時在德國很有勢力的物理化學年鑑求發表，卻被編輯者包根道夫 (J. C. Poggendorff)

所拒絕。無法，他只得將內容略加增刪，改了題目叫做「論自然中之力」再寄往「化學與藥學年鑑」發表；這篇重要著作於是在一八四二年這雜誌之五月號登出。不過他這個題目太平凡，而且當時的物理學者都還不注意到這個問題；尤其是一個根本思想的變換，不容易得人接受。所以當時他這篇著作，並沒有多的人理會。

在這著作內，邁氏不僅敘述其熱與工作等值的思想，而且還有實驗的計算，證明動力之轉變成為熱。據他所報告的結果，將一重物自三百六十五公尺高下墜時，其工作所生之熱，可使同重量的水由零度熱至一度。這個熱之工作的等量計算，自然不會精確，因為那時好多物理上的常數，如比熱等，都還沒有精確求出，故無法找到精確的計算根據。這層困難直至一八六二年以後，始能相當的解決。

據說邁氏的發見這原則，是由於他的血色研究。他原來是一位醫士；一八四〇年時，他充船醫由荷蘭之洛德達姆 (Rotterdam) 駛往爪哇。到巴塔維亞 (Batavia) 時，他發見靜脈管的血較之在歐洲時要明的多，與動脈的血無多區別。於是他極力研究這個現象，求其解釋。這時候，鹿化西的

燃燒理論，給他一個大啓發，使他想熱與工作相通的原則了。

一八四三年，孟基司德 (Manchester) 的啤酒製造家求爾 (J. P. Joule) 始對於熱之工作的等量作較精密的計算，結果頗不惡，這也是當時對於邁氏理論極有力的實證。

一八四五年，邁氏又發表一篇重要著作；在這裏，他的思想更進了一步，同時，亦較前更明確了。這著作叫做『有機運動與新陳代謝之關係』，他在開首便這樣說：『在真理上講來，天地間只有一種力。這個力在無生及有生的自然中永遠流轉着。倘然沒有力之形式改變，亦即不會有現象發生。』這幾句話，已將能力不滅原則說明而且將這個原則推廣到全宇宙，視爲全宇宙被其支配的根本法則。自然，邁氏的所謂力，用我們現在的術語說來，應稱爲能力（或能）。在這著作內，邁氏很清楚的指出，機械效用的消耗，可以產生其他的機械效用或熱的、磁的、電的、化學的效用等。在那時候，邁氏的思想，即在著名的物理學者中，亦被認爲是超時代的。所以不但他的思想少人過問，他的著作更沒有多的人理會；直至數十年後才漸漸的見重於世。

前面所提加諾的研究，中間亦經過許多的時間無人繼續。直至一八五〇年時，克勞齊 (Clau-

sius) 始完成了動熱學的基礎，他的二條主要定理發表後，熱力學可算告一段落，進至一新階段了。我們這裏以限於篇幅，不能詳述近代熱力學的發展，以及舊式熱力學與所謂新式分子運動論的意見衝突處；這是在物理學史上很有興味的材料，亦可代表兩派不同的宇宙觀及哲學思想。現在祇能略略一提分子運動論的創造及完成者。

在十八世紀之中葉，數學家台尼爾 柏諾利 已有分子運動的思想；他相信氣體的漲力，其來源在於分子運動。不過柏氏僅有這個思想，並沒有將其具體化。一八二一年時，海爾巴德 (Herpath) 重復提出這意見，但亦沒有什麼結果；求爾亦曾有相同的推求，都未有成就。至一八五六年，始有克亂尼 (A. Krönig) 作進一步的深刻思想，能用這個見解來說明若干氣體屬性。克勞宵於此亦有貢獻。到馬克思威爾 (Maxwell) 之手，分子運動論始告一成功；他已能求得分子之平均的軌道長。這是一八六〇年時的事。在這中間，孔得 (Kundt) 與華爾堡 (Warburg) 作了些比熱的測量，主要的是水銀蒸汽的比熱，亦為後來一八七七年時馬燕耳 (O. E. Meyer) 對於分子運動論所作貢獻之基礎。我們現在所知道的好多關於分子方面之數目字，如洛希米德 (Loschmidt) 數目之類，

亦都是在這中間求得的。過去有好多事實，一向不能解者，至此亦經分子運動論都搜來作爲實證；著名的是植物學者布朗 (Brown) 於一八二七年時所觀察到的流體面上之某種微細而不規則的運動，經維也納 (Chr. Wiener) 氏證明其爲流體分子運動之表現。但流體之分子運動論，則至二十世紀之初始由愛斯坦 (即著名的相對論之證明者) 司馬洛可夫 司基 (v. Smoluchowski) 貝林 (Perrin) 司維得伯 (Th. Svedberg) 等所漸漸的完成。除此以外，波爾茲曼 (Boltzmann) 克來丕容 (Clapeyron) 紀伯司 (Gibbs) 不朗克 (Planck) 司蒂范 (Stephan) 等都是對於分子運動論有大貢獻的人。其餘雖尚有許多人，但我們不能一一詳提了。

跟着熱力學的發展，蒸汽機自然亦有極大的進步，但我們亦無法在這裏敘述其歷史；最有貢獻者，有查納 (Zeuver) 蘭克恩 (Rankine) 巴爾生 (Parson) 等諸人。第一支用蒸汽機的船，真能在河中駛行的，是富爾頓 (R. Fulton) 所造，時間是在一八〇七年。機關車的製造，亦在十九世紀之初；當時還是用齒輪及齒軌的；到一八一四年時，司蒂芬生 (G. Stephenson) 始創爲不用齒的輪軌。一八二五年九月二十九日，司蒂芬生 的火車始在自司叻克頓 到達林頓 (Stockton to

Darlington) 的鐵道上行駛了。是為世界上第一班列車。

十九世紀的熱力學情形，我們亦以此為止。

4. 光學

以前我們已說過，在十八世紀中祇有歐拉一人能膽敢的起來批評牛頓之放射說，但並未有
人注意及他的意見。至十九世紀之初，英人湯姆士楊 (Thomas Young) 亦曾提出反對意見。他
所持以反對牛頓之理論者，主要的有二點。第一，他不能明白，何以一切物體所發出之光，其速度均
同；第二，光線射至物體時，何以一部分被反射，一部分被折，其關係恆一定。他於是用許根司的波動
論，來解釋這些問題，所得結果完全出於自然，略無勉強之處。尤其是對於光之干涉現象，用波動論
時簡直是一個自然的結果。

楊氏的研究發表後，因他在物理學上沒有多的地位，故雖對於干涉問題等有極確切的研究，
亦未發生若何大影響。不久，又有馬魯士 (Malus) 發見了所謂偏光現象，他用光點有「力之極」
的說法來解釋這個事實；因此，放射說似乎又找到一個事實的證據，而楊氏的見解乃益以湮沒了。

同時，拉不拉司亦發表他的複折的理論，說這個現象是由於結晶體之分子與光點間的吸引所致。這自然亦是根據放射說爲出發的見解。但在他方面，亦有皮沃想用光點之振動來解釋馬魯士的偏光現象以及阿拉果 (Arago) 於一八一一年時所新發見的有色偏光。皮氏的見解，可說是介於放射說與波動論之間。在這時候，偏光面之旋轉亦已由阿氏及皮氏二人所發見了。

雖然這些事實都可勉強的用放射說來說明，但是支離不自然，這也是大家所能感到的。所以波動論的漸漸發展，這是不能抑制的事。在這裏，弗蘭士納 (Fraunhofer) 對於波動論的發展，實在有極大的供獻，尤其是他充分的數學智識，不僅能解決這方面許多問題，而且能將其化爲系統。一八一五年時，弗氏將許根司的原則與干涉的概念很適當的相結合，因而能極自然的推論出屈折現象。一八一六年到一八一九年的三年中間，他與阿拉果共同致力於這方面的研究，結果他能預先指出偏光後的光線之干涉現象，在何種狀況下必然發生。實驗所得的結果，與他理論上所推得的結果完全一致。他指出兩條以直角偏光的光線，在任何狀況下不能干涉，而由他這個定理中，楊氏即推得一個結論，指出波動之橫的性質。楊氏的見解，使偏光現象得到一個極自然的解釋，前此力

極點的說法於是自破了。對於拉不拉司所作的複折之理論，弗氏自己另創一個極簡單的說法，根據於他的晶體之波長的概念爲出發；於是拉氏的見解亦成爲不適用。同時，他還開闢了許多新門徑，例如橢圓偏光以及旋轉偏光等這些新現象都是弗氏自己所發見的。從弗氏的理論中，海米爾登（W. R. Hamilton）又推論出錐形屈折的現象，爲勞洽（H. Lloyd）氏所實驗的證明。其後又經諾含曼（F. Neumann）之橢圓偏光研究，以及希威德（F. M. Scherzer）之工作等等，弗氏的理論乃成爲不可動搖，而波動說亦漸漸的確立了。

在這個時期內，分光學方面，亦有好多的進步不能不一說。一八〇二年時，華雷司頓（Voigt）發見太陽光中尚有許多黑線存在。到一八一四年時，弗老霍夫（Fraunhofer）重復發見這個現象，而且較之華氏所發見的更多。所以此項黑線，後來即稱爲弗老霍夫線，至今猶沿用這名稱。自然，弗氏亦是單獨發見的，初未嘗知已有人在他之前觀察到此事了。弗氏報告說此項線多至五百餘條，他并將其中較可注意者給以字母作爲其名稱。同時，他又知道每條線之折率不同而且有定。其中一條所謂D字線之折率，恰與酒精火上加食鹽時所得黃色光線之折率相同；這個事實，弗

氏亦已發見了。

弗老霍夫亦是個深信波動說的人，而且光波之長的測量，亦是他所開始。他測得愈長的光線，其折率亦愈小。此外，弗氏對於流體及固體之折光指數亦作過精密的測量，我們所得於他的結果極多，而且他亦是折光指數的測量者之第一人。至於用某種波長來作度量之單位，這個提議，一八二九年時巴皮奈 (Babinet) 已提出過。不過詳細的測量及具體的意見，則至十九世紀之末始由邁開爾生 (Michelson) 提出。

光之分散問題，向來是波動論上的一個大困難，弗蘭士納亦沒有滿意的答覆，所以好多時候擁護放射說者都以此為重要題目。但不久，考喜 (Cauchy) 氏對於這個問題亦有一個滿意的解釋了。他的分散公式，發表於一八三六年；雖然用這個公式所得的結果，與事實微有出入，但仍不失其為波動論之勝利。事實上，分散本有所謂不規則的分散一種現象，所以考喜的公式自然是不充分的。這一點勒羅司 (Le Roux) 於一八六二年時已見到，至一八七一年克利司丁生 (Christian-son) 更於種種方面發見此項不規則的分散現象，乃能明白這個不充分之處了。

爲判定放射說與波動論之孰是孰非，阿拉果於一八五八年時提議用測求光速的結果來決定。蓋按放射說的推論，空氣中與水中光速之比應爲 3 比 4，但按波動論之結果，則當爲 4 比 3，所以測定這個比率，可以判定這兩種理論之是非。阿氏自己曾創製了旋轉的鏡供測量的應用，但未有若何成功。直至一八五〇年時，福考（Foucault）始求得這個比率爲 4 比 3，於是波動論又得到一層保障了。

福氏後來又發見一個方法能在室內測求光之速度。但費佐（Fizeau）在他以前，當一八四九年時，於光速已有極好的結果了。此後，重複測求光速的人亦還很多；如一八七三年時之考牛（Cornu），一八七八年時之邁開爾生，以及一八八一年時之楊（J. Young）氏等。至於光速與光之強弱無關，則爲一八七五年時李皮希（F. Lippich）以及一八八七年時愛伯爾德（H. Ebert）所證明。

關於分光學的一方面，我們亦還有好多材料須一提。在近代物理學上，分光學已成爲極重要的一部分，這個事實，我們都已知；許多物理上的理論，都須求證於分光學。所以弗老霍夫在當時

會大聲疾呼的希望研究自然的人要注意這一部分的現象，現在看來，可說他有先見之明。在這裏我們祇略略一述其發展的歷史。

一八二六年時，太爾步 (W. H. Talbot) 及赫爾希 (John Herschel) 指出一個事實，知道各種原質，均有一定的光帶與之相當，所以由所得的光帶，可以推定原質之存在。到一八四五年時，密勒 (W. A. Miller) 想求得黑線與其他明線間之關係，但未有若何成功可言。恩斯脫雷姆 (Angström) 於一八五五年時亦有同樣的努力，均沒有結果。一八五七年司王 (W. Swan) 始證明常常所遇見的黃色光線，其來源是在於鈉；他糾正以前太爾步的錯誤，以為黃色線之來源是在於水分。到明年，柏屢克 (J. Plücker) 用蓋世勒管得到許多原質的色線；他肯定每個原質與某種一定的色線相當的見解。但這時候對於此項現象，都是各做各的研究，毫無相連的工作。本生與開希霍夫二人始綜合各方面所得的結果，作一個系統的對象。明線與黑線間的關係，於是被他們發見了；黑線的來源亦以明白。他們的研究結果，首見於一八五九年時在柏林科學院所提出之報告內；但詳細的定律之形成，則為開氏於一八六一年時所發表。

由分光的結果，發見了許多新原質，這個事實亦是一般所知道的，可不詳述了。氫之發見，以及起初時候以爲這個原質祇有太陽上有，後來才知道是大氣中的成分，這也是分光學對於化學上的貢獻之一。

對於遼遠的星球及微渺的原子之構造，分光學都能供給研究的材料。其詳細的經過，我們亦無法敘述，祇好讓之專書。這裏可提及的，是現在所知的好多事實，有的在十九世紀時已有人知道了。一八六五年時，柏屢克與希托爾夫 (Hittorf) 發見同一物質在不同的熱度下可發不同的光帶。一八七七年時，西亞米興 (G. Giamician) 已知道光帶之構造上，有若干數目的定律支配着。及至一八八五年巴爾末 (J. J. Balmer) 始發見輕氣方面的此項定律。至於適用於若干原質之光線順序的公式，則在一八九〇年以後才有。於此有開塞 (H. Kayser)、龍格 (C. Runge) 以及李德伯 (J. Rydberg) 等諸人。

一八四二年時，數學家杜伯萊 (Doppler) 發表了一篇極有價值的著作，論雙星之顏色光。於此，杜氏指出發光物體所發出之顏色光，其折率之大小，隨該物體離開我們之距離大小而異。這個

事實，一八四五年時經白司巴洛 (Byss-Ballot) 於聲的方面證明了其相類的現象。一八四八年時，費佐又從這個所謂杜氏原則中推論到一個結論，說凡距離不固定的星球，其光帶上線必有移動可尋。至一八六八年，天文學者赫金司 (Huggins) 的確證實了這個現象。於是不獨杜氏的原則，得到一個更有力的證明，而且分光學在天文學上的應用，亦更推廣了。這個簡單的例，也可以使我們明白分光學對於天文學能有若何的供獻。

關於熱度與發光的問題以及熱學與光學中間之相接的區域，十九世紀中亦有極多的進步。原來物體之放射出熱或光，與其熱度有關，這個顯而易見的事實，自然是老早已經知道的。牛頓已得有一關於此的定律，不過適用範圍甚狹，祇能在溫度相差甚小時可用。一八七四年時，德拉柏 (Draper) 始研究物體之溫度至何種限度時才能發出可見的光。他曾得了一個定律，惟亦在一定的狀況下才適用，故仍有限制。到一八七八年，司蒂范 (J. Stefan) 得到一個較廣的結果；據他所發見的定律，物體所發出之全部射線，與其絕對溫度之四次方相比。後來波茲曼 (Boltzmann) 又從純粹理論上推得這個結果，並且指出其祇能適用於絕對黑體方面。一八九七至九八年間，魯

曼(Lummer)與不靈司哈姆(Pringsheim)始能就實驗上證明這個定理之無誤。不過絕對黑體自然是理想上的物，實際上沒有這個東西，所以在試驗時祇能用開希霍夫所想的代替方法。在這些證明司氏定律的實驗中，同時并證實了由這個定律上所推得的放射壓力之存在。同時，光帶方面熱量之分配問題，又引起了放射能力與波長間關係之定律；一八九三年時，維恩(W. Wien)所發見的所謂移動定律，也就是適應這個需要。在實驗方面，這個維恩的定律，至一八九九年時始由魯曼與不靈司哈姆二人證明，這些研究，都是後來開闢物理學上新門徑的先聲。不過在這裏，我們亦無法再詳述下去了。

前面我們已提及過極紅線的發見。至於極紫線，則亦在一八〇一年時為李德(J. W. Ritter)於化學試驗方面所發見。當時他知道光帶中在紫色線以外，尚有眼所不能見，但化學作用甚強的光線存在。至一八五二年以後，此項紫外線始能用螢光的方法使其能為吾人所見到。到一八六三年，此項紫外線之範圍經馬司卡(Mascart)之詳細觀察，所得益多。其後又有考牛(Cornu)、休曼(V. Schumann)等用化學反應的方法作深刻的研究。用紫外線到治療方面去，這是一八九六

年時芬生 (N. R. Finsen) 所開始的；用到顯微鏡及微相鏡上去，則係刊萊 (A. Köhler) 氏之力。至於照相機的發明，則其來源亦甚早，可上溯至十八世紀之中葉；中間屢經改良，始漸漸的能適於實用，絕非一人一時所完成的。其歷史的發展，我們亦不暇提及了。

十九世紀中光學方面的進步，自尚有很多的可舉，不過亦無須詳述。自馬克思惠爾 (Maxwell) 的理論成功以來，光學已與電磁學打成一片；所以尚有一些其他光學方面的問題，不妨留在以後電磁學中再提。

5. 電磁學

電磁學在十九世紀中的發展，尤為物理學史上的一個大轉變；過去電與磁的分立，至此合成爲一了，而且將光學亦與之打成一片，這是一個極大的進步。在應用方面，電力亦漸漸的代替了蒸汽的動力，尤爲近世工業上之大進步。所以在近代的生活上，不論是純粹科學的方面，或應用的方面，電磁學的發展都是一個重要的關鍵無疑。

十八世紀中對於電的研究，以今看來，都不過靜電學之一小部分，動電的研究還沒有開始。所

以加爾凡尼 (Galvani) 的蛙腿研究，開發了流電的門徑，這實在是電學史上一個很有趣味的發見。於此，伏爾泰 (Volta) 的工作，亦是極有供獻的事業，可與加氏同垂不朽；尤其是當時加氏發見了蛙腿方面的現象後，能對之作深切的注意者，伏氏是第一個人。現今稱流電爲加爾凡尼司母司 (Galvanism)，這亦是伏氏所創用，所以尊美加氏之發見者。

關於流電方面的發見、實驗等，都在十八九世紀之交；十九世紀之初，電學方面的工作，亦不出這個範圍。直至一八二〇年時，近代電磁學上的一個極重要事實始發見，這就是電流能轉動磁針的現象。發見者是丹麥的物理學者安司德 (Oersted) 氏。

原來電與磁之間當有關係存在，這個思想之來源亦已很早了。尤其是顧龍在電與磁兩方面發見了相同的定律後，電與磁間之關係問題，更促起人的注意，不過一向沒有可據的材料發見就是了。電閃之能影響磁針，這個事實自一六七六年以來即已有人知道；中間亦曾有人想用摩擦電來影響磁針，均未有結果，所以這個問題，就好久被擱置了。

在一八二〇年以前，物理學者間亦有想到用電流來影響磁針的，但大都是一種猜想，絕未有

人去試驗過；所以發見這個重要事實的榮譽，最後被安司德氏所獨佔了。

安氏的發見發表於一八二〇年八月，但在未發表之前，他已將他的結果報告於哥本哈根（Copenhagen）大學；當時在物理學界中曾引起了極大的注意。據他自己說，他不獨發見了電流影響磁針的現象，而且他還觀察到磁石之影響電流。

安氏將他的著作送到各地物理學者及物理研究所後，馬上引起他們的深切研究。不到三個月，便有皮沃（Piot）與薩佛脫（Savart）二人發表了關於這個現象之數學的定理。同時，安丕（Ampère）尤有重要的著述發表；他的著名的所謂『游泳規律』是在同年十月初公布的。至所謂『右手規律』，則係安司德的學生霍爾頓（C. Holton）所創。

安丕的工作，固受安司德的啓發，但他自己的貢獻，却正不在安司德之下。他發見兩個平行的電流，隨其方向之相異或相同而能相排斥或相吸引。為增加強度計，他用螺旋引電線圈以代替簡單的電綫環。他的試驗方法，至今仍為物理教學上所採用。一八二二年時，他發見他所用的螺旋電圈，即所謂 Solenoid 者，本身就是人工的磁石。電與磁之分別，於是根本上打破了；二者原來是一

件事，乃爲安丕所發見。他的磁之理論，以分子電流解釋磁石之性質，這是我們所熟知的，對於地球磁力的現象，他亦應用這個根本觀念，以地球東西方向內之電流說明之。

除了上述的實驗工作以外，安丕對於電磁現象之理論的方面，亦有極大的貢獻。動電學上之基本公式，亦是於一八二七年時所最先推論得的。那時候動電方面的一切現象，已統統可由他的公式中推出。所以後來馬克思惠爾稱贊他的公式說：『安丕的公式內已將一切電方面之現象包入，永遠可爲動電學上之基本公式。』安丕的工作，不久便有韋伯（W. Weber）爲之發揮，於是至一八四六年時已確立爲動電學之基本了。對於此有貢獻者，尚有諾含曼父子（F. E. und K. Neumann）、海姆霍茲、克勞秀、李曼（B. Riemann）、愛德龍（Edlund）、亨格爾（Hankel）等諸人。

但是在近世電磁學上貢獻最大，應當在近代物理學史上占第一位，而且其人最值得我們崇拜者，要算法拉德氏（Faraday, 1791—1867）。法氏出身貧賤，幼年時爲釘書匠的學徒，恒偷讀他所裝釘的書，以求得智識。後來他得了一個機會充當物理研究所的工役，始漸漸的得與他所好的

物理研究接近。他的學問，都是從幼時偷讀所裝釘之書及充當工役時刻苦求來的。及至他於電磁方面有所發見，始獲得學界的生活。所以不獨法氏對於物理學上的貢獻，足使其名永垂不朽，他的身世，亦是古今來所絕無僅有的人，值得我們崇拜。

法氏對於電磁學的供獻，不僅在他的發見極多，而且他根本上改變了向來對於電之作用的概念；這就是他所新創的『力線』之觀念。祇因他出身貧賤，未曾受過富人們所獨佔的教育，所以他對於理論方面，無法有所貢獻，留待他的學生馬克思惠爾來完成他的思想。現在所著名的馬氏電磁論，實際上就是用數學的理論來確定法氏的思想而已。法氏這個根本概念的變換，其意義不僅及於電磁學而已，全部物理學都為之一新。近代物理學的宇宙觀，有一點顯然與過去的思想不同者，是『近作用』與『遠作用』之分；過去將好些物理作用之傳達，視為可以超空間，不須有媒介物者；但接近作用的概念，則任何物理作用都不能沒有中間的媒介物為之傳達，絕無超空間超時間之可能。所以法氏的貢獻，實在及於整個的物理學乃至我們對於自然的觀念。至於近世工業上的種種應用，直接間接根據於法氏之發見者，尤難盡述。法拉德實在是近代最可稱頌的人。

在安不的結果尙未發表以前法拉德已於一八二一年九月初發見一能運動的電流具可使其繞着一固定的磁石旋轉，反之，亦可使能運動的磁石以固定的電流具爲中心而旋轉。他這個發見并經過他的先生大維 (Davy) (亦卽是法拉德的主人，因爲法氏到物理研究所去充當工役，是他所提攜；法氏起初當他的工役，後來慢慢的幫他做助手，乃有後日成爲大物理學者的機會) 作重複的試驗，而且用電光弧代替電流具，所得結果亦同。其後大維又創出一種方法，能使通過電流的流體，受磁力之影響旋轉。巴羅 (Barlow) 則用這個方法於齒輪方面，但實際上都不過將法氏的發見在某種形式下作試驗而已。

一八三一年時，法拉德發見了電磁學上根本重要的現象，這就是感應現象。他在大的木棍上繞了兩環電綫，中間隔離開。其一環之兩端，他將其連於電池上，其他一環之兩端，則連在檢電器上。如是，他發見了其他之環上，亦發生有電流，卽所謂感應電流。同年，法氏并發見了磁性感應，給安不氏的磁性理論一個證明。而且他發見只要將一磁石與電線圈接近或離開，線圈上卽有電流發生；反之，將線圈移動，磁石固定時，所得的結果相同。因此，他知道這裏所需要的祇須一個相對的運動，

線或石之移動全無關係。又，他并知道祇須有磁性的物體便够，天然磁或人工磁以及流電所產生的磁於此更無分別，所以法氏并能用地球磁力於線圈內發生電流。他曾將一銅盤裝置在一強磁之兩極中間，使其旋轉，則能長久的供給出電流。他這個感應電流器，當時在物理學界中曾引起極大的注意。

對於這個感應現象，一八三四年時蘭茲 (Lenz) 即用牛頓的『作用與反作用恆相等』的原則來說明；他的所謂『阻抗定律』至今還是很知名的。翌年，蘭氏并發見磁性感應電流之電動力祇與環繞匝數相比，但與環圈之大無關。法拉德對於這些現象，用線圈本身內之感應作用解釋之；這就是所謂『外加電流』(Extrastrom)。關於此項外加電流的問題，後來雅谷皮 (M. H. Jacobi) 及海姆霍茲等均有詳盡的研究。

在電解的方面，法氏亦有極多的供獻，這亦是我們所知道的。一八三三年時，他計算得分解一格蘭水的電量，可裝滿大的萊登瓶至八十萬次，倘將其突然放出時，即得一極大的電閃。他指出萊登瓶放電時之電流，亦可用以分解水。他的電流之化學作用的研究，包括在他的至今著名的電解

根本定律內。現今所用的許多名稱，如陽極 (Anode)、陰極 (Kathode)、陽游子、陰游子等等，都還是他所創用的。

在十八世紀之末，伏爾泰發見了不同的金屬相接觸時能發生電的現象（即所謂『伏氏根本試驗』）以來，直至十九世紀之中，解釋這現象者有兩派不同的見解。一派主張純粹的接觸說，一派則以爲是化學作用所致，互相紛爭不已。至此，法氏對於這個問題亦有一個判斷。他說明純粹接觸說之不合理，而用化學的作用來解釋電之所以發生；法氏的理論，都是根據他的電化研究而來的。

以前我們所提及過的『力線』之概念，法氏自己於一八三八年以後始創用。自該年以後，法氏對於電的研究，尤注意於電力之作用方式。牛頓以來之遠影響或遠作用的思想，不獨支配了天體力學全部，在物理學上亦是如此；電的影響，一向是視爲不須有媒介物的。一直到當時，研究電的現象者，從未有人對於這個基本概念下過一次考慮。獨法拉德能指出這個概念之不合理，爲全部物理學開一新的思想方法，實在是最值得稱頌的事。他堅決的相信電之作用不獨中間須經媒介，

而且此項中介物，有絕大的關係。他曾經用一種器具，叫做分配器者，做過種種試驗，證明各種不傳電的物質與電作用之關係。這就是他的所謂 *Dielectrikum* 研究。在這些試驗中，他測定了許多物質之比較的感應性強度。一八三九年，他又作了許多關於中介物與放電間關係之研究，為後來真空中通過電流的研究之基礎。最近關於這方面的發見，直接間接為他所啓發者不少。當時一般物理學者對於他這種獨到的見解都有大反對者，以今看來，智慧之別，真有不可以道里計的了。

由電之中介物的研究，復引起法氏對於磁方面之同樣的觀察。他的第一個成功，就是發見偏光面的旋轉現象；他所觀察到的是好幾種物質方面的。法氏對於這個現象的解釋，以為是磁力直接影響到光媒（光以太）所致，所以他稱此為光之磁化。繼此，他便想用磁力來影響光波之長，以改變其顏色，但卻沒有成功。直至一八八五年時，費范士（Ch. Fizev）始實在做到了。但這個重要的現象，不久卻被忘却，故有一八九六年時瑞曼（P. Zeeman）的重復發見。又法氏想在電力場內改變光之現象的種種試驗亦歸失敗；但這些失敗，卻並未使他失望而改變他的見解，這也可以證明他對於自己的見解確有真知灼見的。後來這些現象，均為開爾（J. Kerr）倫得根（K.

Röntgen) 等諸人所證實了。

法氏對於近代物理學上的供獻太多了，我們實在無法縷述其種種發見及工作。這裏所能提及者，僅大要而已（可參看法氏著 *Experimental Researches in Electricity*）總括說來，法氏的無數重要發見，已足使其不朽；他的思想方法，改變了向來物理學上之根本概念，尤爲永久的大事業，而他出身貧賤，未曾受過富人們所獨佔的教育，全賴他自己的能超脫環境刻苦努力以有他日之偉大事業，這真是古今來所稀有的人了。

法氏自己因爲缺乏工具，不能將他所有的發見及當時所得的材料，綜合起來成爲一個完整的理論；他所創的根本概念以及他的思想方法，尤無法把他精確的表出來；所以法氏所未完成的，留待他的學生馬克思惠爾來完成了。自然，馬氏自身亦是當時一個傑出的人才；在一般物理學者都反對法氏的見解時，他獨能服膺其說，認清方向工作，以完成電磁學的基礎，將向來各不相干的光學與之打成一片，直至現在猶爲全部物理學上之最完備的部分，這個工作真不是一件小事。所以馬克思惠爾自身實在亦足在物理學史上垂名不朽；而且除了電磁光方面的供獻外，他對於分

子運動論上亦有極大的成功，這尤足使我們推他爲近代的第一流物理學者。

至於馬氏的電磁理論以及若何將光學與之打成一片，這多半是數學上的工作，這裏不能敘述了；他的一套微分方程，能將當時的電磁及光之現象統統包入，而且開闢了後來這方面的新道路，從他這些方程裏能發見許多新材料，這個事實也是一般所知道的。

但有一點，我們卻可提出一說。除了繼承法拉德的思想方法而外，當時有好些事實，也確使馬氏增加其完成他的系統的勇氣。最重要的就是光速這個數字的啓發。原來一八二二年時，傅里葉（Fourier）曾創作一種思想，對於物理上的量，都給他一個所謂「度」（Dimension），這個度的概念，我們現在知道是非常重要的；不過在當時物理學還沒有發達到這種需要，所以不但是傅氏的思想未有人理會，即傅氏自己亦沒有將他詳細建設起來。至一八六三年，馬氏重復將這個概念加以整理闡明，應用到物理學上來了；結果不獨於比較物理之量上有極大的便利，而且可從這裏得到很多重要的論斷。當時馬氏發見一個重要的事實，極使他注意，他將電單位之「度」比較一下，發見用電磁量時與用靜電量時相差甚遠。其比率之「度」是速度性質，而且曾經韋伯（W.

Weber) 與柯老希 (R. Kohlrausch) 測定過。一八六八年時馬氏自己又親加測定；後來并經湯姆生 (W. Thomson) 愛爾頓 (Aryton) 愛克司納 (Exner) 等許多人測求，所得結果均一致。這個速度非他，即是光速。因此，馬氏便斷定光與電之媒介爲一物，即爲以太；他的電磁光論便決定立起來了。馬氏的理論發表後，光學上有好多積案均迎刃而解，不久便成爲確立的學說了。

但是馬氏的理論得以究竟的成立無疑，沒有人再敢反對，這卻是海爾茲 (Heinrich Hertz) 之功。馬氏所斷定的電磁以太振動，首先用實驗來證明其存在者，就是海氏。經過這個證明以後，馬氏理論乃無復有可疑之處了。海氏的證明是在一八八八年；他將這個結果發表後，曾引起極大的注意，他自己尤力爲馬氏宣傳其新學說；在十九世紀之末，這可說是一件極大的事。至於海氏實驗的方法，一般物理學書中亦都有；這裏可從略了。

無線電報的理想，在十九世紀之七十年代已有人提出過；想用感應方法去解決這問題的，在八十年代時已不乏其人。海氏證明了電波的存在後，曾有人去問他是否可將其作無線電的應用（在一八八九年末），海氏不敢肯定。但是不到六年，便有馬可尼應用來製造無線電報機，這是

海氏所料想不到的了。

由法拉德的實驗到無線電的成功，這段歷史，實在是使我們了解近代物理學進化的道路，以及其精神之所在；而其對於日常生活上貢獻之大，猶其餘事了。起初因經驗上所得的材料，使法氏對於向來的思想方法不能不作一個根本的改變，這是由經驗而達到新理想。馬克思惠爾的工作，是將這個新理想繹成爲精確的數學式，使經驗上所得的材料，統括入這個新理想之下，成爲一系統；這全是理論上的事，在對於物理學沒有深造的人看來，祇見數學公式之搬動，卻看不見一些實在的東西。這個已超出經驗範圍的理論，於是復須用經驗來證明；同時，由這個理論亦可推得若干應當發見的現象。如能在實際上將這些根據理論推出來的現象證實，則一方面固然證明了理論之確，同時，亦發見若干新現象，可供給我們以後研究的資料，啓發我們新的門徑，以及供實際上之應用了。由這些新材料新門徑於是可重複創造新理論，使物理學一步一步的直往前進。所以物理學的工作，固少不了實驗，而其重要的方法，尤在他的理論，這是近代物理學的精神所在。數學終究成爲物理學之基本，其理由亦在這裏了。

與馬克思惠爾的理論同時並進，與之相輝映，同爲近代物理學之主要成功，且使我們對於電及物質之本質有明確觀念者，是十九世紀以來的電子見解，到本世紀才漸漸完成的一個系統。我們現在略一述其經過。當十八世紀之中，已有華德生（Watson）氏用萊登瓶於真空中放電。至一七八五年時，摩根（G. C. Morgan）發見真空之不傳電性，並研究各種不同形式的放電。當真空中放電時，玻璃壁上現出綠光，這個現象，是台維所首先注意到的。法拉德並觀察到陰極與陽極光中間之黑暗部分；這都是十九世紀三十年代之事。所以法拉德當時曾極力喚起物理學者對於這方面加以注意，他並相信，在放電與中介物的關係上，我們將來有極寶貴的材料可以找到；他的話後來均證實了。一八五〇年時，白來夫司德（Brewster）發見稀薄氣體中放電時之螢光現象，實爲後來倫德根光綫（Röntgenstrahlen，即X光綫）發見之先引。至一八五八年，蓋司萊（Geissler）製造了專爲此用的多種真空管後，這方面的現象發見益多了。維爾納（Wüllner）便進一步比較研究稀薄不同狀況下各種放電現象。至一八六九年時，希託夫（Hittorf）對於陰極放射及陽極放射兩方面均有重要的研究，於陰極射線之屬性尤多發見；至其力學的、熱力的、以及磁力的作用，

則爲一八七六年時克洛克司 (Crookes) 所發見。克氏當時相信，他發見了質點之所謂第四種結合狀態，并指出能放射的物質之存在。但物質之放射一語，係台維及法拉德所創用的，克氏以爲他所發見的即是此事了。克氏并相信在這些現象中，他已達到了物質與能力相融貫之境地了。克氏的理論發表後，曾引起許多人的抨擊，尤以波羅其 (J. Puluj) 及維台孟 (E. Wiedemann) 爲最。但是從他們的互相批評中，卻得到了不少的進步；波、維二氏對於陰極射線之屬性及其熱力的力學的作用，尤有重要的啓發。一八八六年時，古德司坦 (Goldstein) 又發見了一種新的射線，因其由帶有孔道的陰極射出，故即名爲孔道射線。此項射線之磁性，古氏曾疑及，但至一八九八年時始由維恩 (W. Wien) 實證出來。

一八九二年時，海爾茲發見陰極射線能穿過金屬薄葉；過二年，萊納 (Lenard) 即將其透過試管之金屬的頂蓋至空氣中作試驗。倫德根的發見X光線，亦由於相似的工作；但倫氏線發見後所以能轟動一時者，則由於此項線之一般的效用甚大，不若其他放射線之較不普遍。倫氏線發見於一八九五年之末；因爲那時所有射線都爲質點放射性質，故起初時候一般亦將倫氏線看作同

爲一類。其波動性質直至本世紀中才證明的。

倫氏線發見後不久，便有放射能的研究繼之而起；直接推動出這方面的發見者，是數學家潘加烈 (H. Poincaré) 氏。潘氏對於倫氏線，猜想他是與螢光現象有關，因而他想到凡能發螢光的物質，或即能引起與倫氏線類似的射線。倍克蘭 (H. Becquerel) 即根據他這個思想，從事於這方面的工作。一八九六年二月，他於鈾之化合物發見能放出倫氏光線。當時以爲祇有鈾這個物質纔有此屬性。一八九八年時，許米脫 (G. C. Schmidt) 與居禮夫人差不多同時發見 thorium 的製物方面有同樣的屬性。因於這個研究，居禮夫婦並發見了一種新原質，即以居禮夫人的國籍波蘭爲名，稱之爲 Polonium。自這時候起，放射的原質續有發見。

此項放射原質所放之光線，不一定能爲磁力所影響，這是一八九九年時，紀澤 (Curies)、聖邁爾 (St. Meyer)、許懷德勒 (Schweidler) 等所同時發見的事實。結果，知道可分爲二類；其一類幾乎不受磁力影響，或簡直不受影響的，這就是所謂亞爾發 (α) 射線與茄馬 (γ) 射線，其他類能受磁力影響，其彎曲很顯然可觀的，即所謂倍太 (β) 射線是。

由此項放射能的研究，在化學上增加了若干新原質，這還是不重要的事。其證明質點光線的存在，實在是物理學上極有趣味的發見；但尤重要者，則由這些研究，使我們對於物質之本質能有進一步的認識。自蘭姆山 (Ramsay) 與蘇第 (Soddy) 發見了原質之蛻變後，向來對於原質之固定概念不能不改變了。羅德福 (Rutherford) 與蘇氏所創始的原子崩潰論，足使我們對於物質之構造，作深一層的研究。以前所不明白的原質之週期表，至此亦漸漸的易了解了，這些事實，都是十九世紀末至本世紀初的工作。不過近年來原子構造的研究，卻亦很得力於分光學。

關於物質與電之本質，我們現在已粗粗的有了一個概念；較之古代的人自然知道的多了。不過物質與電（現在看來是一物）究竟是什麼一回事，這個問題，卻並不如是之簡單。物理學愈進步而我們對於宇宙的認識愈覺奇妙，也許這是個永遠不可解的謎了。

對於物質之本質的謎，其來源遠在物理學之前；在敘述古代自然思想時，我們已提及過原子論的思想了。對於電之本質的觀念，亦自人們發見電的時候開始；流體說、物質說、一元論、二元論種種見解，我們以前亦已略提及過一些了。電之原子的構造，當一八八一年時海姆霍茲曾有極堅決

的主張。他根據法拉德電解方面種種所發見的現象，肯定電必爲原子的構造無疑，而且他相信，不如此是不能與物質之原子的構造相適應。一八八三年時，羅倫茲（H. A. Lorentz）始將電子的觀念用入電學，以補當時理論上所發生的缺陷。至一八九六年時，瑞曼效驗（Zeeman-Effekt）的證實，始給電子論一個可靠的實驗基礎；羅氏的理論始爲一般物理學者所公認了。羅氏電子論祇添加了一個概念進去，使物理學益形完美，卻絲毫沒有與馬氏電磁論相衝突之處。

但由電子論的確立，又引出了若干其他問題，使我們對於物理學上的根本概念，又須有改變，而且可以影響我們對於物質發生更大的疑問，宇宙觀都須爲之更易。一九〇一年時，考夫曼（W. Kaufmann）測求電子方面電充與其質量之比，知道電子之質量是不固定的。同時，放射方面的種種現象以及其他的發見都使我們不能不假定一切質量都是電磁的來源。於是物質與電成爲分不開，而且向來固定的物質概念，至此益以動搖；直至最近，物理學上之物質這個東西，簡直到了若有若無的區域去了。

以太這個東西，亦是物理學上向來最神祕的了。十九世紀之初，弗蘭士納把他看作爲瀰漫宇

宙，但本身是不動的東西。羅倫茲的理論亦要求這樣一個東西。如是，地球的運動，應當對於光速有影響了；但一八八七年時著名的邁啓爾生（Michelson）試驗，卻又證明其不然。於是羅倫茲創了他的收縮說來解決這層困難。到一九〇五年時，安斯坦的特殊相對論出，始將這個問題較滿意的解決了。過了十年安氏又發表其普通相對論，對於牛頓以來的物理學作一整個的改良，至此而物理學的形勢乃又經過一大變進入一新階段。至其內容如何，敘述的書已很多，可不在這裏提出了。

綜觀這簡單的物理學史，我們可以知道物理學的發展，還不過近百年來的事，所以無怪我們對於自然的認識，至今還祇有這一點，好多問題仍然是個謎。但從另一方面看來，我們亦感覺到打入自然界愈深，而不可解的謎亦愈來愈難，理論終究是理論，實際上究竟是什麼一回事，誰都不知道。所以說起這宇宙的根本問題，還祇能望洋興歎。牛頓說，他對於宇宙真理，猶如感覺在汪洋大海之濱一般，自身只是個弄潮小兒，拾得一瓦一礫聊以自慰是了。我們對於自然的根本問題，亦祇好作如是觀。