

# 物 理 學 史

弓場重泰著  
秦亞修譯

商 務 印 書 館 發 行

67007

## 原 序

高等學校所課之自然科學中，有物理學一門。擔任者於編訂此門學科之講義，頗費苦心。蓋對此以數理爲基礎之物理學，必須使其含有通俗且達於相當程度之高等知識。而教育當局規定之物理學教授要目，欲於短時間內全部講習，又有所難。且若採取相同於中學校之方式教授時，則學生因曾在中學時一度習得之故，感其依樣葫蘆，別無新境，除少數部分外，皆將索然無味矣。

然則，如何乃能令學生欣然受教乎？竊以爲第一步，唯有將與中學校相同之教授法全然予以改變。

本書依上述目的，將高等學校學生所應習之物理學之大要，順次追溯其歷史，就其發達之順序記述之；解說吾人對於神祕之自然界現象之態度與考察之變遷，使學生得於其間理會其原理與應用之概略，此編纂之主旨也。誠能由此書稍達編者之目的，斯幸甚矣。

一九三四年三月弓場重泰識

# 目 錄

緒說 .....	1
一 自然科學 .....	1
二 物理學之目的 .....	2
三 定律與假說 .....	2
四 物理學發達之過程 .....	3

## 第一篇 古希臘時代

第一章 力學 .....	5
一 亞里斯多德之力的觀念及落體定律 .....	5
二 阿基米得之槓桿及靜水力學之理論 .....	6
三 赫隆及其他發明者 .....	6
第二章 光學 .....	7
第三章 電及磁 .....	8
第四章 聲學 .....	9
第五章 原子說 .....	10

## 第二篇 羅馬時代

### 第三篇 阿拉伯時代

### 第四篇 中世紀之歐洲

第一章	火藥與羅盤	15
第二章	光學	17

### 第五篇 文藝復興時代

第一章	哥伯尼系統之確立	19
第二章	力學	21
第三章	光學	23
第四章	磁與電	24

### 第六篇 十七世紀

第一章	力學	25
一	運動之定律	25
二	力之定義	28
三	動量	28
四	質量之比較	29
五	圓周運動之力	29
六	萬有引力之定律	31
七	地球之引力	32
八	重量及落體之加速度	33



---

九 落體及拋射體之運動 .....	34
一〇 質量與重量 .....	36
<b>第二章 流體力學 .....</b>	<b>37</b>
一 巴斯噶原理 .....	37
二 真空 .....	37
三 波義耳定律 .....	38
四 流體之抵抗 .....	38
五 流體之碰衝壓 .....	39
六 地球自轉之證據 .....	41
<b>第三章 光學 .....</b>	<b>42</b>
一 光之折射定律 .....	42
二 光之速度 .....	42
三 惠更斯原理及波動說 .....	42
四 波動之反射與折射 .....	46
五 牛頓之光微粒說 .....	48
<b>第四章 熱學 .....</b>	<b>51</b>
一 溫度計之發達 .....	51
二 運動熱 .....	51
<b>第五章 磁及電 .....</b>	<b>53</b>
一 偏角之變化 .....	53
二 電之引力與斥力 .....	53
<b>第六章 聲學 .....</b>	<b>54</b>

## 第七篇 十八世紀

第一章	力學	55
第二章	光學	56
一	光之波動說之進展	56
二	消色差透鏡之發明	56
三	反射望遠鏡	56
第三章	熱學	58
一	亞孟東之空氣溫度計	58
二	華氏溫度計	58
三	攝氏溫度計	59
四	蒸氣機之發達	59
五	熱質說	59
六	熱之測定	60
第四章	電學及磁學	61
一	放電與來頓瓶	61
二	單流體說	61
三	雷電	62
四	加文狄西氏之研究	62
五	庫倫定律	63
六	電流之發見	63
七	伏特電池	64
第五章	聲學	65

## 第八篇 十九世紀

第一章	三基本單位之確立	68
一	研究結果之表示	68
二	單位	68
三	基本單位	69
四	長度之單位	69
五	質量之單位	70
六	時間之單位	70
七	時計	72
八	時刻	72
九	角之單位	74
一〇	單位之系統	75
一一	量之測定	75
第二章	光學	77
一	波動說之復興	77
二	極化光	79
三	光之速度	81
四	光譜之研究	84
五	攝影術之發見及光譜之分析法	85
六	光譜之種種研究	86
七	繞射光柵	87
八	紅外線與紫外線	90
九	輻射	91
一〇	天然色攝影及活動攝影	92

一一	以太	92
<b>第三章 熱學</b> 94		
一	熱質說	94
二	精密溫度計	94
三	氣體之定律	94
四	氣體之液化	95
五	熱力學	96
六	功與動力	97
七	功及功率之單位	99
八	能	99
九	動能	99
一〇	勢能	100
一一	能量不滅定律	102
一二	機械與功	103
一三	永久運動不能之原理	104
一四	熱之本性及熱力學第一定律	104
一五	熱力學第二定律	106
一六	能之散逸	107
<b>第四章 原子及分子</b> 108		
一	原子說	108
二	分子	108
三	物質	109
四	物質之構造	110
五	物質之三態	111

---

六	質量 .....	112
七	氣體之壓力 .....	112
八	波義耳·查理定律 .....	114
九	氣體分子之速度 .....	115
一〇	氣體分子之平均自由路程 .....	116
一一	氣體分子之大小數量及質量 .....	117
<b>第五章 電磁學 .....</b>		<b>119</b>
一	電解 .....	119
二	電池與蓄電池 .....	120
三	電流之磁作用 .....	122
四	歐姆定律與電阻 .....	125
五	感應電流 .....	129
六	介質作用說 .....	131
七	光之電磁說 .....	131
八	電磁波之發見 .....	132
九	電振動 .....	132
一〇	振動放電 .....	133
一一	電共振 .....	134
一二	電磁波 .....	134
一三	檢波器 .....	135
一四	磁之理論 .....	136
一五	電磁之單位 .....	137
一六	真空放電 .....	138
一七	X 線 .....	139
一八	放射能 .....	140

一九	熱電流 .....	140
二〇	發電機之發達 .....	141
二一	電燈 .....	141
二二	交流之性質 .....	145
二三	電動機 .....	146
二四	電報 .....	147
二五	電話 .....	147
第六章 聲學 .....		148

## 第九篇 二十世紀

第一章 放射性 .....		151
一	放射體 .....	151
二	鐳放射線之性質 .....	152
三	原子之蛻變 .....	152
四	原子之人工變成 .....	154
第二章 熱學 .....		155
一	黑體之輻射熱 .....	155
二	量子論 .....	156
三	低溫度及氦之液化與固化 .....	159
第三章 光學 .....		160
一	極光 .....	160
二	星之直徑 .....	160
三	紅外線光譜 .....	161

---

四	紫外線 .....	161
五	宇宙射線 .....	161
六	光子 .....	162
七	X 線之本質 .....	162
八	光電效應 .....	165
九	光譜線研究之進展 .....	166
一〇	磁場對於光之影響 .....	167
<b>第四章 力學 .....</b>		<b>168</b>
一	以太之考察 .....	168
二	邁克爾孫及慕黎之實驗 .....	168
三	羅倫徹收縮 .....	170
四	相對性原理之二前提 .....	171
五	時間及空間之相對性 .....	172
六	質量之相對性 .....	177
七	舊力學之修正 .....	177
八	力之相對性 .....	178
九	萬有引力之新理論 .....	179
一〇	相對論之結論 .....	179
一一	廣義相對原理之驗證 .....	180
一二	愛因斯坦之宇宙觀 .....	180
一三	航空力學 .....	181
<b>第五章 物質之構造 .....</b>		<b>182</b>
一	小於原子之物體 .....	182
二	原子之構造 .....	182

---

三	原子之陽核 .....	184
四	核外電子之配布 .....	184
五	同位元素 .....	186
六	波爾之原子模型說 .....	187
七	結晶體之構造 .....	189
<b>第六章 電磁學 .....</b>		<b>191</b>
一	光之電磁說之發展 .....	191
二	無線電報 .....	191
三	檢波器之作用 .....	192
四	種種之電磁波 .....	195
<b>回顧 .....</b>		<b>197</b>
<b>附人名索引</b>		



# 物理學史

## 緒說

### 一 自然科學

宇宙之間，有種種物體存在，各自或相互為形形色色之變化；吾人之感覺認識之，而得自然現象(Natural phenomena)之觀念。研究並歸納此自然現象，闡明其因果之關係，進而應用其原理，使能於人類偉大權力之下，行其支配自然之進程，此自然科學(Natural science)之目的也。是現代物質文明關係於自然科學之進步發達者為如何重大，自無待言。

古代人類，只知適應自然而生活，一任自然之支配；以為其中有不可抗拒之權力。顧今日已過其時，吾人正相思維，思如何以戰勝此自然之道。自然科學之研究，即逐步進入此征服自然之途而使之成就者也。

自然科學可分為二：一為記述的科學(Descriptive science)，其目的，在就多種之事物中，概括其共通之性質，並為之分門別類，使成系統；動物學，植物學，礦物學等屬之。又一為說明的科學(Explicative science)，係進一步確立其一般的定律或假說，從而演繹之，以解明其事實之根據；生物學，生理學，化學，物理學等屬之。

自然科學中之各學科，各有其價值與職務，未可區別其輕

重。然自然科學之最後目的，在於窮極事物之根底，是則說明的科學較之記述的科學為有終局的立場。進而言之，在此說明的科學中佔有窮極的位置者，可謂惟有物理學耳。試就為自然科學研究之主題所謂物質為何者言之，其理自明。關於物質之詳細解說，將見諸以後各章，茲請言其一端：物質為分子原子組織而成，而原子又為帶有陰陽電性之質點組織而成，此吾人所已聞知者也；是則，物質乃電氣為原之物，欲究其性質作用，苟無物理學之知識，必不能根本理解。故謂物理學涉自然科學之全般，佔理論上窮極之位置，而為各學科之根本者，諒非過言。

## 二 物理學之目的

宇宙間之種種物質，各自且相互呈顯極複雜之自然現象。物理學者，即關於此等物質之學問，亦即研究附屬於物質之性質及其所呈之現象。

研究物理學之方法，通常必經發見，調查及說明三步驟。進行新事實之發見及調查，屬之自然觀察與實驗觀察。此所研究之結果，即成為物理之定律(Physical law)。然物理學者固不僅以作成此等定律為目的，其主要方針，在應用最簡單且最少數之定律以充分說明所有之現象。

## 三 定律與假說

如前所述，物理學之目的，首在確立適合於普遍情形之定律，而後應用此定律以統一複雜之現象；故定律一端，在物理學中，最被重視。

吾人實際經驗之現象中，常多相同之事；概括此等同種現

象；以解明通行於彼等之間之因果關係；此關係不僅適合於吾人所經驗之有限的特種實例，亦一般地適合於與此同類之現象，絕對表示其必然之結果，則此種關係方可謂為對此現象之定律。故定律之真切的意義，必須多行驗證，總皆適合此關係，於同種之事例無稍違誤而後可。若有一者不適合於此關係之現象，發現於同種之實驗，則其關係即失去成為定律之生命。是定律者，全由實際之經驗歸納而成，不容有唯一之例外者。

然而，表示一般真理之關係，若僅恃由人力所及範圍內之實驗歸納而得之定律，每不能盡充分之說明。於是加入含有實驗不可能之內容的概念，而有所謂假說(Hypotheses)之設立。

設立假說之目的，在依據根本關係並溝通定律相互間之關係，以聯絡前此所思考之各種現象，亦即定律之統一也。例如據分子說得於力學定律上說明熱學；又如據光學之電磁說，則光學之定律或電磁學之定律，皆可以同一之根據說明之。

假說不僅統一既得之定律，並暗示將來之實驗，以冀發現新經驗之事實與新定律。若光之電磁說，促成赫芝(Hertz)氏之實驗，使彼確認電波之實在。又若依電子論而得之物質構造觀，實亦實現古代變金術者之夢想者也。

假說之立，在統一定律，成為組織，以求簡單便利；故假說之真實的意義，並不似定律之與經驗相一致，惟將定律在理論上使其統一，而加以必要及充分之意味耳。

#### 四 物理學發達之過程

自然科學之發達較精神科學為遲。古代二千數百年間之希臘人，在各方面固已表現其可驚的創造天才，然彼等於自然科學之貢獻比較甚少。且其後之二千年間，亦徒絕對地維持古

希臘人之偉大威權，而無何等可觀之發展。及至十六世紀，物理學者方自空想脫離，入於實驗，建立足以推翻古說之重要理論；然當時欲打破所有舊說使皆承認新論，固猶有未能也。至十七世紀，物理學之基礎漸立，較新之發展漸見。十八世紀，與前世紀同，並無大天才出現，僅電磁學方面稍有進步發展可見耳。十九世紀，實物理學史上應與大書特書之時代，對於多數可驚之新知現象之說明，已能使其趨於單純化；理論與實驗，相伴而進；尤以電磁學之大發展，使物質文明達於異常之進步。至二十世紀之最近三十年間，以學者精邃之理論與精巧之實驗，對於物理學及化學方面真正的基礎研究，建立各種極深遠之學說，不可解之假說亦層見疊出。一面增加物理事實之重大知識，一面復感覺尚有多種問題仍迷於困難不解之境。前世紀時，種種方面，定律已確立秩序，並已統一其相互關係；而入本世紀，關於合理的一致一點上，較半世紀前為不完全；就此點觀之，可謂為逆行之象；然在五十年，百年或數百年後，苟一見此等學說間之統一，則在物理學之無限的進步發達上，固將認為莫大之光明也。

# 第一篇 古希臘時代

紀元前五百年前後，希臘人對於哲學，文學，美術及數學方面所表顯之創造的天才，實堪驚服；但在自然科學方面，彼等所遺留之事蹟，比較甚少。關於自然之理論的演繹，不可不謂為多量，顧其中之有價值者殊不多見耳。此因彼等偏重冥想，對於從實驗上確立證據之道，輒等閒視之。在此時代，彼等昧於實驗技術，固非得已，然苟能以彼等之智能，格外經意，努力於自然之觀察，則在自然科學方面，未始不能留得優越之功績。

## 第一章 力 學

### 一 亞里斯多德之力的觀念及落體定律

大哲學家亞里斯多德 (Aristotle) 氏之書籍中，曾論及種種力學問題。彼已知力之平行四邊形定律之觀念，以用於槓桿之說明。現時，依據平行四邊形定律，對於力及速度等所作之加減之量，謂之有向量 (Vector quantity)；稱與此相對之普通量即如加三於二等於五一類之量，謂之無向量 (Scalar quantity)。

亞氏對於落體運動之見解：以為‘同體積之物體，落下速者，其體亦重’；或為‘物體以比例於重量之速度而落下’。此種

見解，並非正確；彼若從實際驗證上稍加考慮，固亦易知其非矣。

## 二 阿基米得之槓桿及靜水力學之理論

稱阿基米得(Archimedes B. C. 287?—212)氏為力學之學者，實較亞里斯多德為勝，重心(Center of gravity)及槓桿(Lever)之理論即由彼所確立。

彼注目於比重(Specific gravity)之問題，發現以其人而稱之阿基米得原理，即‘物體浸於液體中所減少之重量，等於被其所排除之液體之重量’。即此一事，已足成名。

彼又發明種種力學機械，如應用滑輪(Pulley)之組合以曳船等皆為驚人之成功。

## 三 赫隆及其他發明者

在阿基米得氏之一二世紀後，以台雪比(Ctesibius)及赫隆(Heron)二氏為有名。彼等對於理論的研究貢獻雖少，但在機械學上則發明若干精巧之作。

台雪比氏發明壓力抽機(Force pump)，且由其二個組合作成如現時所用之救火抽機(Fire pump)，但因其無氣室之裝置，故不能使水不絕流出。此外，水力機關(Water force organ)，水時計(Water clock)等，亦可謂為彼所發明者。

赫隆氏作成一種以蒸氣為動力之玩具，稱為 Eolipile，實為現代蒸氣輪機(Steam turbine)之先驅。彼復編著關於測地學之重要著作。比重計(Hydrometer)係希臘人在第四世紀時所發明，此器係用一種附錘而中空之錫質圓筒作成，直使用至第十八世紀云。

## 第二章 光 學

光學乃物理學中知之最早之學科，希臘久已有玻璃之製造。紀元前 424 年，即有述及利用透鏡 (Lens) 聚集日光之事實。

光之直線傳播及反射之定律，知之亦早。紀元前 139 年，他里枚 (Ptolemy) 氏曾測算入射角及折射角，並示之以表。

金屬製之平面鏡及球面鏡亦早有製造，即關於拋物柱面鏡之焦點之研究，亦早有從事者。

關於視覺，有種種學說興起：如畢他哥拉斯 (Pythagorus B. C. 500?) 派之德謨克里賓斯 (Democritus B. C. 460—370) 氏，謂‘自物體射出之粒子，入於眼而起視覺’。一面，安帕多克勒斯 (Empedocles B. C. 440) 及柏拉圖 (Plato) 派之學者歐基里德 (Euclid B. C. 300) 氏等，謂‘自眼亦射出某物，此物與自物體射出之某物相遇時，即起視覺’。



### 第三章 電 及 磁

關於電及磁之知識，由希臘人所得者，不過二三種之觀察。古希臘七賢哲之一之泰里斯(Thales B. C. 640—546)氏，對於摩擦琥珀能吸引輕質之物體及今日所謂磁鐵礦吸鐵之事，業已知之。琥珀名 Electron，故即以 Electricity 而名電。泰氏之後，越三世紀，托甫拉斯特(Theophrastus) 氏將摩擦而帶電之各種礦石，一一記之。現時固已瞭解凡百物質當摩擦分離之際皆帶電氣矣。手與金屬摩擦亦即帶電，惟此時彼等皆係導體，電氣不能留止而逃向地球以去；故以之吸引輕質物體，不得見其實際現象。

伯尼萊(Pliny 23—79) 氏更就磁體之引力述為故事，惟多為不可思議之臆說。磁體之所以名 Magnet 者，緣磁鐵礦發見於小亞細亞之 Magnesia 地方，故以名之。

至磁體之兩極性，又帶電體及磁極之反磁力等，在此時代，尚未瞭知。



## 第四章 聲 學

聲學之技術的進步，較其理論為先。關於音之調和，畢他哥拉斯氏已注意及之。彼於泛音，可謂為創設八級音階之第一人。音之理論，亞里斯多德氏亦曾加以研究，彼對於構成聲音之空氣運動，持有正確之見解。彼並已明瞭若管長二倍則振動週期亦為二倍之事。

## 第五章 原子說

當此之時，已有倡導原子說之學者，固極堪注目之事也。哲學界之二大思想家亞里斯多德及康德 (Kant) 二氏皆以為空間為連續的；夫物質之不連續的構造觀乃自明之理，彼等實未加以考研耳。德謨克里賓斯氏謂世界為中空之空間與不可分不可見之微粒子即原子 (Atom) 所構成；由此種原子之結合與分離而成物體之見與不見；彼並謂即感覺與思想之現象亦係原子結合之結果云。哲學家歐比古拉斯 (Epicurus B. C. 310—270) 氏採用此說。然而，原子說，迄道爾頓 (Dalton 1766—1844) 氏發明倍比定律以前，在科學的進步上，實無何等貢獻可言。

## 第二篇 羅馬時代

羅馬人之天才，多表現於戰爭，政治，法律諸方面，對於科學之進步，未見其何等努力。羅馬學者，只以編輯希臘時代之著述，即為滿足；如盧克里丘 (Lucretius B. C. 95—52)，綏勒卡 (Seneca 2—61)，伯尼萊，波休 (Boethius 480—524) 等皆是。

盧克里丘氏為最初明瞭磁石反撥力 (反磁力 Demagnetizing force) 之人；彼亦如希臘人赫拉克力特斯 (Heraclitus)，德謨克里賓斯等，以為熱係物質。彼又為原子說之採用者，以為固體之原子係互相鈎結而凝集者；此種原子之鈎結性，即十九世紀之化學家用以說明化合及原子價者也。牛頓 (Newton 1642—1727) 氏在其著述中早已認識伽利略 (Galileo 1564—1642) 之落體原理，即凡原子在真空中皆以等速度落下。且物質不滅及能量不滅等事實，亦已公表。生物學上，更有有名之孟德爾 (Mendel) 遺傳法則，發見於其偉大之詩歌中。

波休氏對於音之調和加以說明。綏勒卡氏則解說虹霓之色與玻璃切片之色相同之事，並觀察用盛滿以水之玻璃球放大物體之現象。

在奧格斯圖 (Augustus) 大帝時代，有名克勞米德 (Cleomedes) 者，彼曾就水中觀察光之折射；並述及當太陽在近於地平線下之處即已為吾人所見云。自希臘之他里枚氏以來，克勞米德實為研究大氣折射光線之第一人。

### 第三篇 阿拉伯時代

茲述及阿拉伯國民之發展時期。彼野蠻之民族，結合於宗教力之下而成有力之國民，繼戰爭征服時代而入於敍用理智之時代。當第八世紀，謨罕默德教徒雖足稱爲世界知識之指導者，而對於阿拉伯人的科學之態度，謂其爲獨創的，毋寧謂爲學習的之爲愈也。

在阿拉伯所開發之物理學的惟一部門，厥爲光學；且學者之中足以稱述者，僅一阿爾哈臣（Al-Hazen 965—1038）。彼之光學，迄 1572 年始經印行；其中述及射角與反射角係同在一平面內之事，並發表球面鏡及拋物柱面鏡之研究。對於測算入射角及折射角之方法，彼雖曾加以考究，但折射之真定律依然未能發見。太陽及月球當近於地平面時，視之較中午爲大，彼謂由於眼器官之幻覺，此在今日，一般亦仍作如斯解也。彼又謂行星與恆星皆自放光，然後人已證明行星之不然。

彼對人眼亦曾作精細之記述；關於視覺，反對德謨克里賓斯及亞里斯多德之見解，而認爲自物體發出之物爲其原因。

阿拉伯人更已開拓比重之觀念，並發表比重之決定方法。

## 第四篇 中世紀之歐洲

在第三世紀時，野蠻人之向歐洲移居者，始於哥斯人之進入意大利而席捲羅馬。其後即入於黑暗時代，時基督教所輸入之拉丁語已成爲學者及宗教家之社會用語。思想之漠然，社會之貧弱，觀念之模糊，以及神祕主義等，乃中世紀之特徵。縱有科學人士，亦不過仲介之流耳。彼等惟迷信古代科學家之說，絕不從事實驗以求證明。其時，亞里斯多德之學說，威權極大，苟有持反對之論者，往往受罰；即此一點，已可推知當時之情勢矣。物理界中，在十六世紀末葉偉人伽利略出現以前，實亞里斯多德之威權時代也。

### 第一章 火藥與羅盤

火藥 (Gun powder) 與羅盤 (Compass) 爲歐洲人在此時代之二大發見。其起源今已難考，據云，用硫黃木炭及硝石以作火藥，在第八世紀時，馬爾寇司 (Marcus)，格那寇司 (Graecus) 等即已知之；又 1250 年時，馬留司 (Magnus) 氏亦知其事。鐵礮係十四世紀時發明者。又相傳火藥與羅盤，在十三世紀，中國與印度即有所知，想係事實。中國自 121 年之際，已有磁體之知識；但陸地用羅盤之紀載，至十一世紀之終始行見及；海上羅盤約係在十三世紀之末使用於中國者。

其在歐洲，航海用羅盤之使用，乃十二世紀時英國之勞干

---

(Nockam) 氏發其端。其後，因磁學之進步，法國之伯利格利呂 (Perigrinus) 氏更於 1269 年加以改良。至磁針常保水平之裝置，則爲卡丹奴 (Cardano 1501—1576) 氏所發明云。

## 第二章 光 學

十三世紀，歐洲人消化其得自阿拉伯人之光學知識；因有中世紀之卓越學者培根（Bacon 1214—1294）氏折射望遠鏡之發明。惟彼對於遙望遠距離物體之器械，僅說明其有製作之可能，並未實際製造。在此時代，倍氏之思想，無論在哲學上或科學上，輒在人先，因是難得當時一般人士之認識；雖有驚人之天才，其奈政治的與精神的壓制，橫加摧毀，卒使彼懷才不遇，終其一生。

## 第五篇 文藝復興時代

十六世紀爲知識上之大活動時期，人類心理，俱已脫棄舊套，羣趨研究之途。物理學者，伴隨學問之復興，美術之傑作，宗教之改革，數學之進步，宇宙之開發等各方面之發展，漸知捨除空想而臻實驗研究之道。哥伯尼(Copernicus 1473—1543)，刻卜勒(Kepler 1571—1630)，伽利略，吉柏(Gilbert 1540—1603)諸氏，乃當時最有名之偉大科學家。然溯思此等偉人爲打破古說所爲之努力，與當時世人對於彼等之迫害，不禁慨然。

### 第一章 哥伯尼系統之確立

文藝復興時代之最初大勝利，厥爲打破他里枚系統確立哥伯尼系統一事。亞歷山大之他里枚氏據希臘之大天文學者歐德克休(Eudxus)及海巴丘斯(Hipparchus)之學說，倡立所謂他里枚系統。謂地球居於宇宙之中心，屹立不動，各行星恆星旋轉於其周圍。哥氏反對之，謂地球以球狀而自轉，且迴轉於太陽周圍之圓形軌道上；彼並據此以說明季節之變化及星球外觀之振動。惟彼所說天體之運動皆取圓形軌道，是其缺點。及其後之偉人刻卜勒氏出，始將他里枚系統完全打破。刻氏積四年之勤勞，研究空想之軌道十九次，結果證明天體之軌道爲橢圓形，時1618年也。彼並發表其刻卜勒定律(Kepler's



law)如下:

(1)行星之軌道爲橢圓形,太陽在其一焦點上。但在大速度之運行時,則取拋物線及雙曲線之軌道。

(2)自太陽引至行星之動徑,在等時間內,畫等面積。

(3)公轉周期之平方,與軌道半徑之立方成比例。

此等新學說,已與一切觀測,均相一致;然當時除給與神學者以極度之興奮外,固猶未得一般之承認也。

## 第二章 力 學

十六世紀，靜力學復興。關乎此，比利時人司蒂文 (Stevin 1548—1620) 氏與有力焉；彼爲分數之發明者，且已瞭知滑輪之平衡及其他平衡之完全學理矣。

至普通力學之創立，則始於意人伽利略氏；彼竭力主張哥伯尼系統之學說，在宗教家重重迫害之下，努力一生；彼自1632年以來，即專心於力學之研究；其在比撒斜塔上所作有名之落體實驗，竟將固執二千年來之亞里斯多德學說，予以否定；宣言‘凡物體落下時，其速度皆相等(但係指不受空氣之抵抗而言)。落下之距離與時間之平方成比例’云云。惟當時尚無準確時計之存在，故彼用人之脈搏或水時計以計算時間。

落體運動之理論已由彼確立，彼又將拋體運動所畫拋射線之事，研究之以告世人；在此以前，人皆以爲彈丸初係以直線前進然後急轉垂直而落下者也。

彼復對離心力(Centrifugal force)及動量(Momentum)建立正確之定義，且以組織的方法說明力之平行四邊形之理。其尤令人注意之問題，即擺(Pendulum)之定律。彼於1583年觀察比撒寺院中所懸之燈之振動，按脈搏以計算其振動時間，得知擺之等時性(Isochronism)；進而研究，復知擺之週期與擺之材料及質量無關，而與擺長之平方根成比例。彼並利用擺之振動以測人之脈搏。擺時計之發明，彼當時並未計及，至1641年始有議之者，1649年見其模型，然一般猶未知之也；

迄十五年後即 1656 年時，惠更斯 (Huygens 1629—1695) 氏獨立發明，始為大眾所認識。

### 第三章 光 學

本世紀中，光學上最大之功績爲望遠鏡與顯微鏡之發明。最初之望遠鏡 (Telescope)，想係 1608 年愛爾蘭人尼潘雪 (Lippershey) 氏所作；不用玻璃透鏡，而以巖鹽之結晶製成。彼亦曾製作最初之雙目鏡云。

顯微鏡 (Microscope) 之發明，殆與望遠鏡同時，發明者爲瓊立台 (Joennides) 氏。初製時之目鏡係用凹透鏡製成，後由萊蒲爾斯 人馮且那 (Fontana) 氏加以改良，用凸透鏡製之。

1611 年刻卜勒 氏說明望遠鏡之理，其中自以光之折射定律爲必要也。刻氏 所用之式爲  $i = nr$  ( $i$  爲入射角， $r$  爲折射角， $n$  爲折射率)。此雖非精密的折射定律，然對於較小之角度，差堪適合，故已足供望遠鏡之說明矣。

伽利略 氏既聞望遠鏡之發明，自身即努力於製造，結果成績甚佳，各國咸向其定製。彼以自製之望遠鏡，於 1610 年觀測月球，太陽，木星及其他天體，而得種種之新發明；並發表其肯定哥伯尼 系統學說之結果。以是僧侶中人，對於伽氏 及其可憎惡之望遠鏡，敵意益深。

## 第四章 磁與電

與近世物理學之創立者伽利略氏對立被呼爲‘磁學哲學之父’之吉柏氏，可謂爲英國磁電學之開祖。電力 (Electric force)，磁極 (Magnetic pole) 等術語，乃彼所始用，並予電以 Electrics 之名。古代學者，將磁作用與電作用混爲一事，區別之者，始於米蘭人卡丹奴氏，終至吉氏確定之。

關於地磁之‘吉柏之實驗’，實劃分物理上之新時代者也。據其實驗，知地球乃係一最大之磁體；從而磁針指示南北之理亦明。

顧磁針並非指向正北，其間尙有差度，謂之偏角 (Declination)。此種偏角，在十一世紀時，中國即已知之。至偏角之變化，則係發見於 1492 年有名之哥倫布之航海。吉氏所研究者，止於空想的方面，故錯誤仍多；如所謂‘一定地方之偏角常爲一定’及‘磁性上之赤道與地理學上之赤道相一致’，即其例也。

傾角 (Dip) 之存在，係 1576 年勞門 (Norman) 氏所發見。

吉氏亦爲熱心於哥伯尼系統之信徒，應付反對此新說之論據，乃彼目的之一。彼頗欲證明地球之自轉由於其磁性，惜其努力徒屬無益耳。

## 第六篇 十七世紀

德意志三十年(1618—1648)戰爭以來，內亂與宗教上之爭，相繼以起，其結果，幾使科學云亡，其在法國，於亨利第四王朝，發布南台(Nantes)勅令，制止宗教之爭，科學之花，幸見復發；其在意大利，以伽利略氏命運之多阻，殊傷科學家之熱心；但在英國，自吉柏氏以降，即入於科學之成功時代矣。

此時代之科學家，如意大利之托里拆利(Torricelli 1608—1647)，德國之古力克(Guericke 1602—1686)，波蘭之惠更斯，法國之巴斯噶(Pascal 1623—1662)，馬略特(Mariotte 1620—1684)，達斯卡德(Descartes)，英國之波義耳(Boyle 1627—1691)，虎克(Hooke)，哈萊(Halley 1656—1742)，牛頓等，皆可得而舉者。

此時期實為實驗的及理論的大活動之時代也。

### 第一章 力 學

#### 一 運動之定律

基於伽利略氏之彈丸進程之說明，已可了解運動之第一定律及第二定律矣。其後之達斯卡德氏，雖曾努力於種種力學之說明，然實質上未見其有何等進步。達氏對於幾何學及哲學上之功績，遙在物理學之上；彼係一純正哲學家，故往往不顧

推理與現實之不相一致。例如彼之爲當時世人熱心信仰關於天體之渦動論(Theory of Vortices),即係完全不顧與刻卜勒定律是否一致之空論;實亦不能充分說明一現象。只因其舉例與旋風或水渦之事實相比較,似易領會,但亦不過保持當時之勢力耳。

運動定律,現今所用者,係牛頓氏之說。茲先將質點(Material point)之運動,少加說明(所謂質點,即將一物體視爲一點而無礙者也)。

研究質點之運動,須先決定質點之位置。質點之位置如何決定乎?當先視察決定某一可作標準之點,線或面,而後以對於標準物之方向及距離表其位置。是故物體之位置,乃對於標準物之比較的觀念也。

運動者,依時間之經過,謂物體變化其位置之事也。位置爲相對的,故運動之觀念亦爲相對的;無所謂絕對的靜止,亦無所謂絕對的運動。牛頓時代,以爲恆星係絕對靜止者,故由此而決定之位置爲絕對的位置;對於恆星所見之運動亦即爲絕對的運動。其後,知恆星亦在運動,更知宇宙之間,無絕對靜止之物;於是絕對位置也,絕對動也,皆不復言之矣。

瞭解各點上運動之方向與速率(Speed),則質點之運動可明。吾人合方向與速率謂之速度(Velocity);速度係一種有方向之量,即有向量(Vector quantity)是也。

多種運動,其速度每時時變化。此種運動,速度變化對於時間之比率,以加速度(Acceleration)表之。明瞭此加速度之性質,則對於物體之運動更了然矣。

牛頓之運動定律,分第一第二第三之三部。第一定律即慣性之定律,不過爲第二定律之特別場合;又第三定律,係表示

作用與反作用，力相等而方向相反之力的關係者也。故運動定律以第二定律為最重要，說明如次：

‘一定之力繼續作用於一物體(質點)時，則該物體依力之方向而生一定之加速度。加速度之大小與力之大小成正比，與物體之質量成反比’。設物體之質量為  $m$ ，作用之力為  $f$ ，所生之加速為  $a$ ，則

$$a \propto \frac{f}{m}$$

或 
$$f = kma$$

$k$  為比例常數，若已決定力，質量及加速度之單位，則此常數即表示一定之數值。設以達因(dyne)，克，每秒每秒裡為彼等之單位，則  $k=1$ ，即

$$f = ma \text{ (c. g. s. 單位)}$$

此簡單之式即可以表示運動之關係。

以上係就質點運動之定律而言，若在必須論及大小之物體則非若斯簡單。通常因移動而生迴轉，關係乃較複雜，姑不詳述。

牛頓之運動定律，係伽利略以來力學原則之確定也。彼之理論，已成為近世物理學之基礎，而被稱為科學的自然觀之模範。然彼之表現式係認質量為不變，且係採用恆星為絕對靜止之基準點而立者。至二十世紀，愛因斯坦(Einstein)氏創立相對論，謂質量依運動而變化，並倡議時間之觀念亦須改正；於是牛頓定律之根基為之破毀，新物理學乃不得不在更確實之基礎上重行改造。惟是質量與時間依速度所起之變化，依牛頓定律未入計算者，其量甚小；且吾人於研究地球上之運動時，假定地球為靜止不動，亦無大礙；故牛頓定律，在理論上或已



失其絕大價值，而實際上之價值，於今仍未能完全否認之也。

## 二 力之定義

力，目不能見。力爲何物？其定義初係依運動定律而得者。  
即

‘甲質點受乙質點之作用，速度發生變化而生加速度。即謂此時之甲受來自乙方之力的作用；謂所生加速度之方向爲力之方向；力之大小，由甲之質量與加速度之積決定之’。

據此定義，即可決定力之單位 (Unit of force)。即以使質量一克之物體發生每秒每秒一厘米之加速度之力，爲力之單位，名之曰達因 (dyne)。

## 三 動 量

動量一語，係伽利略所定。即質量  $m$  之物體以速度  $v$  運動時，則在其方向上持有  $mv$  之動量 (momentum)，此量即一有向量也。

質量  $m$  速度  $v$  之物體，受力  $f$  作用  $t$  時間，變化爲速度  $v'$  時，依運動定律：

$$f = ma = m \frac{v' - v}{t} = \frac{mv' - mv}{t}$$

故力者，變化物體之動量之作用也。

在衝擊 (Impulse) 之場合，力之作用時間，極爲短促，不能測其加速度。此時，以力與時間之積即動量之變化之多少，定衝擊之強弱。衝擊者係發生速度變化之時間甚短而力甚大之力之工作也。彼車輛上之彈機，即所以延長速度變化之時間

而避免激動者也。

#### 四 質量之比較

運動定律不僅能為力立下定義，更可稱為比較物體質量之基礎。所謂不生不滅之物質質量，物質固有之量也，其大小，在同類之物質，可由其體積比較之，但異類之物質，則不能若斯簡單求之。確定此種質量之比較者，運動定律耳。即

‘任何物質，受相等之力之作用而生相等之加速度時，則其質量亦為相等’。

或作

‘甲乙二質點，受同等之力之作用，所生加速之比若為  $1:m$  則甲之質量為乙之質量之  $m$  倍’。

此事，依據運動公式，乃當然之事也。如此，以任意質點之質量為單位，即可用一定數表示其他質點之質量。

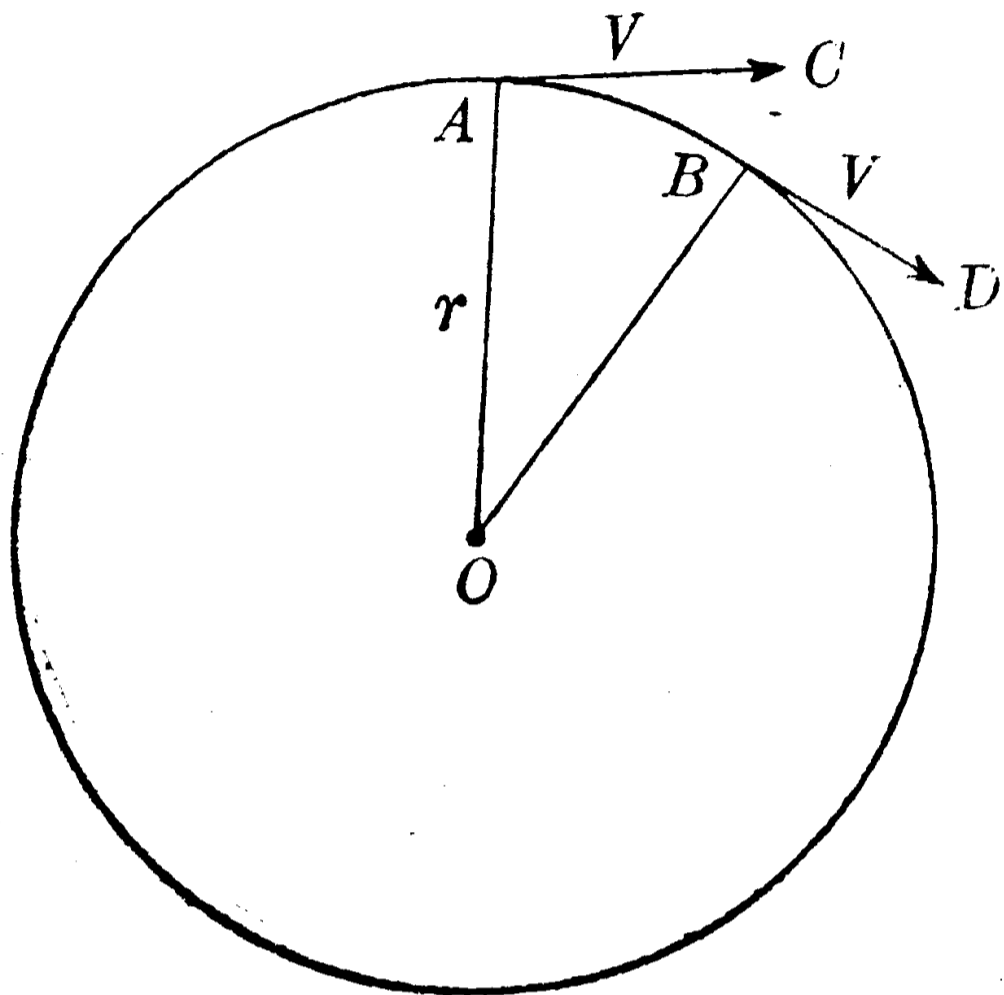
在物體不可視為質點時，亦得視物體係多數質點之集合，而以質點之總質量稱為物體之質量；此與視物體為質點時之質量，固二而一也。

#### 五 圓周運動之力

試就以一定之速行於圓周上之物體一加研究。此時速雖相等，而運動之方向則不絕變化，故速度亦始終在變化之中。從而，依運動定律，作圓周運動之物體，其力非時時作用不可。

結石塊於線之一端，手執他端，蕩旋石塊，使成圓周，則手部感覺石塊之牽引。依作用反作用之原理，此時，石塊方面，必亦受來自於手之同大而方向相反之力。茲將作用於此種成為圓周運動之物體上之力，依運動定律一研究之。

在圓心  $O$  半徑  $r$  之圓周上，以相等之速  $V$  行走之物體，設其某時間之位置為  $A$ ，後經極短之時間  $t$  而至  $B$ ，在  $A$  及  $B$  之速度，可以切線  $AC$  及  $BD$  表之。在時間  $t$  內所加之速度，

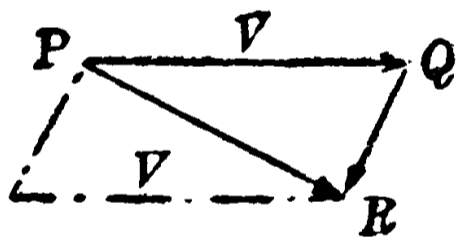


得如下圖以  $QR$  表之，其理甚明，顧  $QR$  之大小為何如乎？因時間  $t$  甚小，不妨視  $\widehat{AB}$  為直線；又  $\angle O = \angle QPR$ ，故兩等腰三角形  $OAB$  與  $PQR$  相似；

$$\therefore \frac{QR}{PQ} = \frac{AB}{OA}$$

$$\text{即 } QR = \frac{AB \times PQ}{OA}$$

又  $AB = vt$ ， $QR = at$  ( $a$  為單位時間的速度之變化，故  $at$  為  $t$  時間的速度之增加)，從而



$$at = \frac{vt \times v}{r}$$

$$\text{故 } a = \frac{v^2}{r}$$

此即加速度之大也。又其方向為何如乎？因時間  $t$  甚小， $\angle QPR$  之角度亦即甚小，考其極限，為  $QR \perp PQ$ 。故可謂各時間之加速度垂直於其速度，易言之，圓周運動之加速係向圓之中心者也。

質量  $m$  之物體在迴轉時，依運動定律，即大小為  $ma$  (即  $\frac{mv^2}{r}$ ) 之力向圓心牽引其物體耳。稱此力為作成圓運動之向

心力(Centripetal force);其對於圓心之反作用,即自物體及於圓心方面之力,謂之離心力(Centrifugal force)。

作圓周運動之物體,必有此向心力,如將此力忽然取去,物體即離去圓周,而依慣性定律,向切線之方向飛去。火車電車等在轉角時,必將車體略為傾斜者,即使其發生重力(即重量)之分力,以成此向心力也。

## 六 萬有引力之定律

牛頓氏之偉大發見,為下述之萬有引力(Universal gravitation)定律:

‘相對於宇宙間之物體,不問其距離如何,皆互相吸引。引力之大小,與物體之質量之積成正比,與其距離之平方成反比’。

牛頓對於重力一事,當其冥想之際,以為雖在極高之處,此力亦能在比例上得甚強之作用,然則此力不亦可及於月球乎?易言之,月球不亦受地球之引力,成為向心力而迴轉於地球之周圍乎?且刻卜勒之第三定律果屬正確者,則太陽系各天體間之引力與距離之平方為反比,此事彼亦曾推量之。故彼自1666年以來,第一步即從事於地球半徑之計算,檢證此平方反比之定律,惜彼雖近似之結果亦未能得。蓋上之定律,係表示質點間萬有引力之關係,對於大物體固不得直接引用也。計算球狀物體之結果時,宜將全質量集於其中心。當時牛頓氏未計及此點,故不能得充分之檢證。至1685年,彼漸於此注意,因得完成其定律。

萬有引力如何作用於物體間乎?即此力係不借何等媒質之助通過空間而作用於遠距乎?此問題也,當時思之,殊為奇

突，即牛頓氏亦疑而無決也。遠距離作用之理，係其後 1713 年哥台(Cotes 1682—1716)氏所倡始云。

萬有引力之定律，以式表之如次：

$$f \propto \frac{mm'}{r^2} \quad \begin{array}{l} f \text{ 爲萬有引力} \\ m, m' \text{ 爲物體之質量} \\ r \text{ 爲其距離} \end{array}$$

或

$$f = k \frac{mm'}{r^2}$$

$k$  爲萬有引力之常數 (Gravitation constant)，即單位質量之二質點作用於單位距離間之萬有引力之意也。其後，據加文狄西 (Cavendish 1731—1810) 氏之實驗，使用 C. G. S. 系統之單位，記其所得之結果如下：

$$k = 6.6579 \times 10^{-8}$$

如是， $m$  及  $m'$  克之二質點，當  $r$  厘米之距離時，其萬有引力爲

$$f = 6.6579 \times 10^{-8} \frac{mm'}{r^2} \text{ 達因。}$$

## 七 地球之引力

上述之萬有引力定律，係表示質點間之關係者也。至若地球之球狀物體，對於其外之物體，恰如集地球之全質量於中心時，以與其同等之引力作用及之；此事得證明如次：

今設在地球上之物體之質量爲  $m$ ，地球之質量爲  $M$ ，半徑爲  $R$ ，則地球之引力爲

$$f = \frac{kmM}{R^2}$$

地球以此力牽引物體，同時，物體亦以相等之力牽引地球。應用此式，可以計算地球之質量。地球之半徑非一定者，若

取赤道部分之值時，則

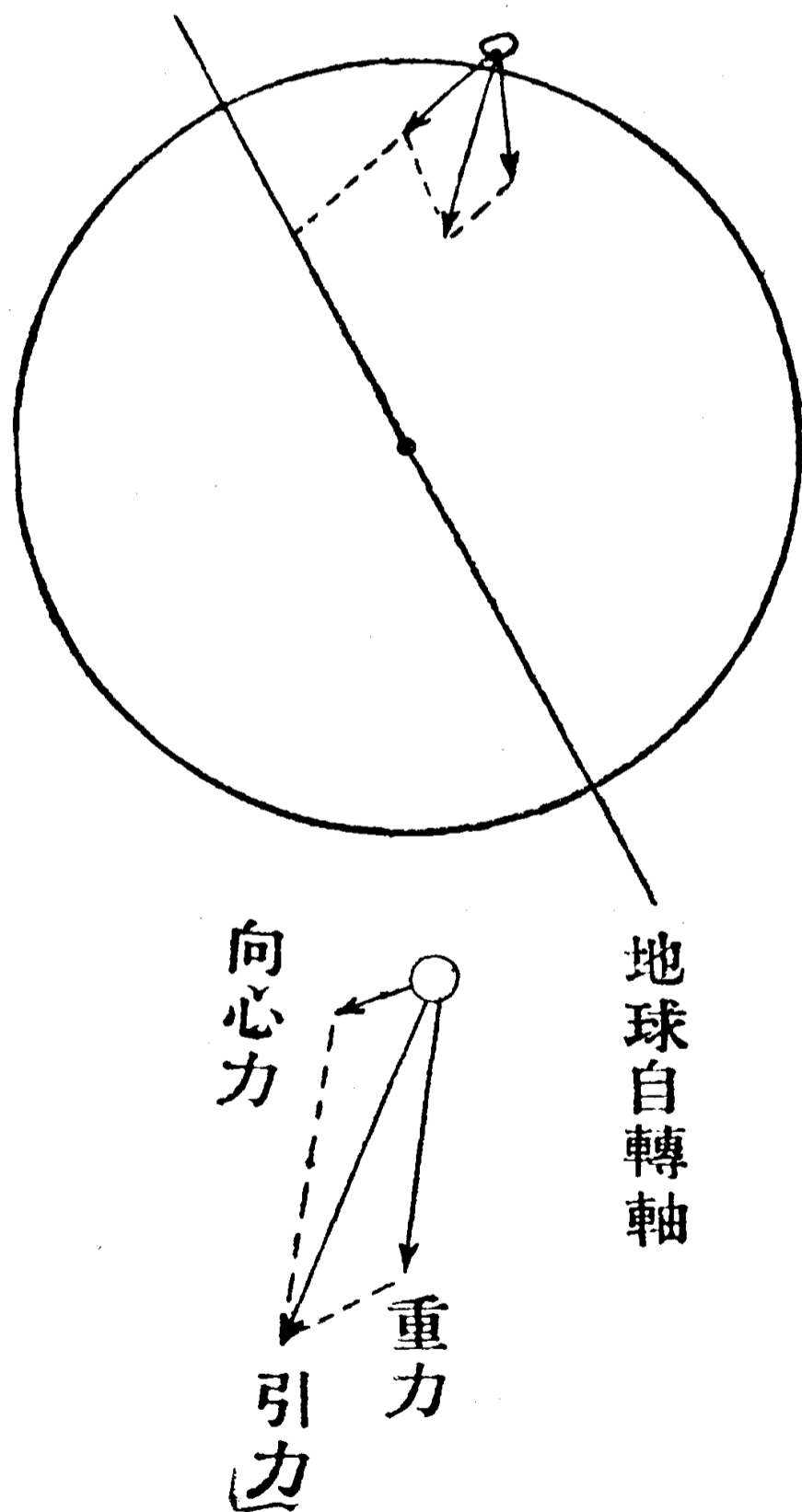
$$R = 6377 \text{ 杆。}$$

若物體之質量  $m$  爲一克時，則  $f = 980$  達因；以之代入上式而計算之，則得地球之質量約爲  $1.6 \times 10^{24}$  貫（譯者按：1 貫約合中國 1 百兩）。

### 八 重量及落體之加速度

地球上之物體，因地球之自轉而成圓運動。若使物體不離地球而去，必須有向心力之作用。前節所述地球引力之內，其一部分即係用作此向心力者也。是故，使物體向地球表面落下之力所謂重力(Gravity)者，並非地球引力之全部；其中尚須依平行四邊形定律用有向量式將此向心力減去之。

地球非真正球形，故地球上之地球引力，亦非到處一定。又因自轉而生之向心力亦非一定。無論何處，均以一定之時間（約一日）迴轉一次，故其速亦隨處而異，且因圓運動之半徑亦有不同故也。是故，此向心力以在赤道者持有最大之值，而在兩極為零。夫引力及向心力既皆因地而異，則重力之因地而異，亦所當然矣。



由重力加於落體所生之加速度，謂之落體之加速度。其值雖亦因地而異，而約數為每秒每秒 980 厘米。通常以  $g$  表之，稱為重力強度 (Intensity of gravity)。

茲將少數地方  $g$  之實測值列舉如下：

地 名	緯 度	$g$ (每秒每秒厘米)
赤道	0° 00'	978.0
極	90° 00'	983.2
東京	35° 49'	979.8
富士山頂	—	978.9
巴黎	48° 50'	981.0
海面	45° 00'	980.6

### 九 落體及拋射體之運動

以蘋果自其枝上脫落之情形為例，先研究僅行放鬆並不加力而落下之物體之運動。在放鬆之一剎那間，速度為零，其後以  $g$  之加速度而作直線運動；故  $t$  秒後之速度  $v$ ，有如次式：

$$v = gt$$

若求此時落下之距離  $s$ ，可將速度之平均值乘以時間即得。故

$$s = \frac{1}{2}(0 + v)t = \frac{1}{2}gt^2$$

由此二式消去  $t$ ，則

$$v^2 = g^2 t^2$$

∴

$$v^2 = 2gs$$

用此三式，即可解決關於落體運動之種種問題。

繼研究依鉛直向上方或下方拋擲之物體之運動。設最初之速度為  $V$ ，則  $t$  時間後，僅以  $gt$  之速度增加或減少，故

$$v = V \pm gt \quad \begin{array}{l} (+) \text{ 用於向下拋擲} \\ (-) \text{ 用於向上拋擲} \end{array}$$

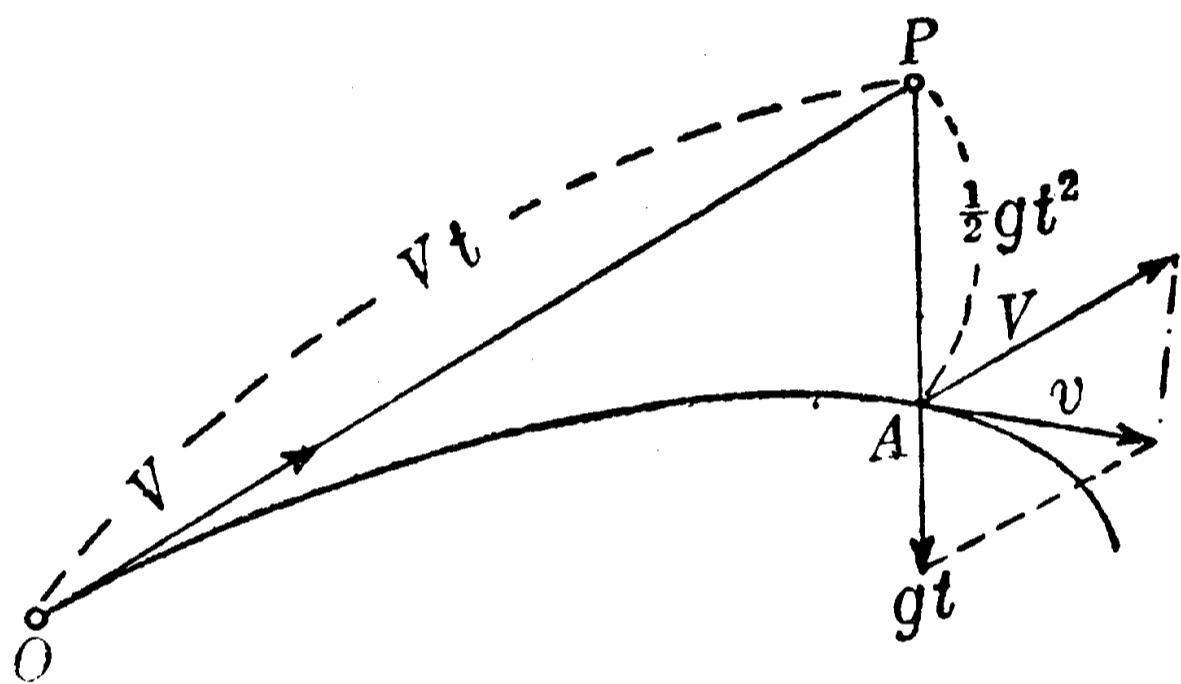
合前式同樣計算，則

$$S = Vt \pm \frac{1}{2}gt^2$$

$$v = V \pm gt$$

次研究向斜方拋擲之物體之運動，此即依平常所見之曲線即拋射線(Parabola)而行動者也。在此場合，僅在重力方向上生  $g$  之加速度，故亦易計算其速度與位置。

設物體自  $O$  處以速度  $V$  向  $OP$  方向拋擲，則  $t$  時間後，物體即在圖中  $A$  之位置。求此位置，假定先不受重力之影響，物體以速度相等之運動繼續前進；依理，必自  $O$  沿  $OP$  進行  $Vt$  之距離



達於  $P$  之位置。但實際上重力以  $\frac{1}{2}gt^2$  依其方向引之而下，故物體必自  $P$  依此下落；易言之，下於  $P$  點  $\frac{1}{2}gt^2$  之處  $A$ ，即其  $t$  時間後之位置也。

次求  $t$  時間後之速度  $v$ 。將由重力所加之速度  $gt$ ，如圖，用平行四邊形定律，加於最初之速度  $V$ ，即得。此  $v$  為運動曲線之切線，固不待言。

試考察實際上之運動，與用此等公式，所計算者，常多差異。例如，依公式觀察落體之運動，應不問其為何種物體皆同樣落下者也；但實際上投石與毛，石之落下遠在毛先。此由於空氣之抵抗力作用於運動之反對方向，而此抵抗力復依物體之大小等而異也。雨點以等速度落下，而霧點與塵埃則浮游於空中者，亦即此抵抗之關係耳。後當論之。



## 一〇 質量與重量

質量(Mass)與重量(Weight)之區別,乃初學者難以了解之問題;古代大學者,對此問題,亦曾煞費苦心。即伽利略,達斯卡德,惠更斯,李布力(Leibniz)諸氏,對此亦往往混同不分焉。1671年,黎丘(Richer)氏發見同物體在不同處所所生之重力之加速度亦有不同之事實,繼由惠更斯氏說明其原因,後及牛頓,擴張力學定律及於天體,此種區別,始漸明瞭。

質量者,物質固有之量,無論向地球上任何處所進行,或即離地球以去,其量皆不變化者也。一千克之質量,任在何處,皆為一千克焉。

重量(重)者,作用於該物體之重力之大小之意也;故如前所述,係因地而異其值。行向高處,則重量減少;又在赤道時則輕,而在兩極時則重。

測算質量之裝置,有所謂天秤,此乃比較直接重量者也。在同一場所,重力之強  $g$  為一定,故適用運動定律之  $f=ma$  時,則

$$W = mg \quad (W \text{ 為重量, } m \text{ 為質量})$$

重量相等時,質量亦相等;謂天秤為比較質量之器械,即此理也。

單位用同一之名,想為混質量與重量而不分之一原因。所謂重量一克者,即作用於質量一克之物體上之重力之大小(重)也,此大小即被用為力之實用單位(重力單位),斯一克之力相當於  $g$  達因之道亦明矣。從而,此單位雖係因地而異其值,顧其差異甚小,故在工業等方面,輒以其便宜而用之。

## 第二章 流體力學

### 一 巴斯噶原理

1656年，巴斯噶氏發現關於液體中壓力傳達之所謂巴斯噶原理。彼之滿盛以水之器械，乃機械學上之一新原理。應用此器械，可以加任何大小之力至吾人希望之程度。又應用現今瑪蓀 (Masson) 氏之器械，作與吾人實驗相同之實驗，均可表明及於一面積之液體壓力僅由其深度而定。

### 二 真空

空氣之有重量，亞里斯多德及伯拉圖均漠然想像之，得知其確者，伽利略氏也。彼以玻璃球滿盛以壓力不同之空氣，秤其重量，得知空氣之密度較水之密度之四百分之一為小云。

真空一事，亞里斯多德及達斯卡德等固否定其存在者也；即其後二年，伽利略氏對於真空之存在亦仍懷疑莫決。但當彼聞知吸取唧筒 (Suction pump) 不能將水升至三十三尺以上之事，始驚異其中之奧妙。真空之存在，至其弟子意人托里拆利氏時始確實證明。有名之托里拆利實驗，即1643年在托氏指導之下由菲維尼 (Viviani 1622—1703) 氏實行者也。巴斯噶氏聞此事實，遂推想水銀柱受空氣之壓力而壓上時，如在高處，則壓上之高度必較低處為小；並登高山實驗，證明其為正確。彼復將虹吸 (Siphon) 之理，加以說明。

當時，在德國亦作成一關於真空之實驗：即古力克氏於1654年在馬德堡市所行之馬德堡半球 (Magdeburg hemisphere) 之實驗是也。彼又為空氣唧筒 (Air pump) 之發明者；并由此作種種真空中之實驗。彼用上方與已行排氣之球連結而下方浸於水中之長管，製為晴雨計，用於天氣之豫報。

鐘瓶 (Bell jar)，1674年巴平 (Papin) 氏曾記載之，但此係1661年惠更斯氏所改良者。

### 三 波義耳定律

英國之波義耳氏，對於氣體力學有偉大之貢獻。彼研究古力克氏之唧筒，於1659年使虎克氏為助手，完成精巧之空氣唧筒。

1662年，公表有名之波義耳定律。法國之馬略特氏，在其十四年後，亦獨立發表相同之定律，故亦可稱為馬略特定律。彼並發表利用晴雨計以測算土地高度之公式。又彼對於碰衝 (Impact) 之研究，亦頗有功。

### 四 流體之抵抗

研究落體，射體（即拋體）之際，曾覺空氣之抵抗為一難題。伽利略氏對此亦費去不少苦心。1670年，馬略特氏謂落體場合之空氣抵抗，與時間之平方成正比。牛頓氏亦贊同其說。以下試將流體之抵抗少加說明。

液體 (Liquid) 與氣體 (Gas)，總稱之曰流體 (Fluid)。物體在流體內運動時，亦受有抵抗力。據研究之結果，此等抵抗力依下述定律而決定：

‘作用於形狀相似之物體上之流體之抵抗力，與垂直於

物體運動方向之最大斷面成比例；又在同一物體，與速度之平方成比例（速度小時，與速度成比例）’。

關於流體之抵抗力，實際上所應用者，為水與空氣之抵抗。試就在空氣中者研究之：如前所述，落體，射體之運動，決非若彼簡單者也。例如雨點等係由重力作用而落下者，但實際上並不作加速度運動，而以等速度落下。此因雨點之落下速度，雖因重力而時時增加，但空氣之抵抗力亦時時增加，兩者適相等抵；而與無力之作用之情形相似，似若依慣性定律，向其時之運動方向，繼續等速度之運動也。又石塊與羽毛之所以不能同時相齊落下者，亦即由於垂直於運動方向之斷面積不同之影響。同一物體，苟細分之，其面積減少之比率，較質量減少之比率為小；從而小物體時所受之空氣抵抗力對於重力之比，較在大物體時為大。雲霧塵埃，浮游空中，即係此理。

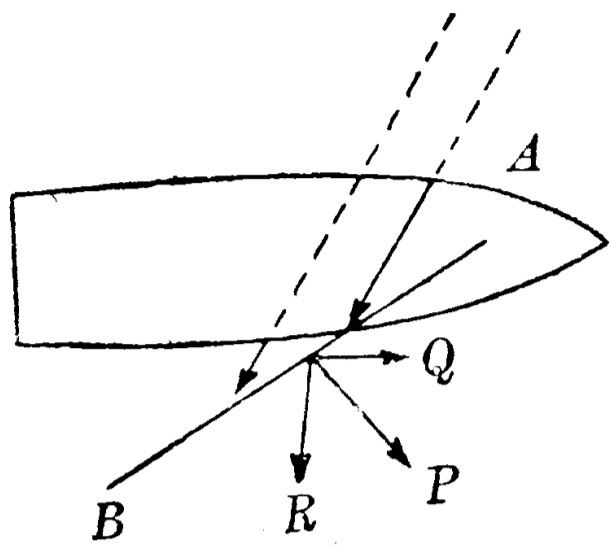
水之抵抗，更較空氣之抵抗為大。利用此抵抗力可以行船。用熱機關或其他之動力以迴轉推進器(Propeller)時，其翼板將水壓向後方，同時，其反作用之水之抵抗力亦將翼壓向前方，於是使船前進矣。小艇之使用櫓槳，其理亦同。

## 五 流體之碰衝壓

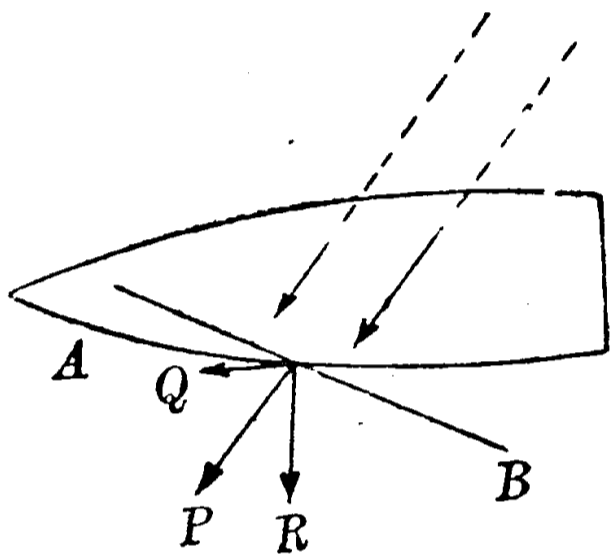
在流動之流體中，置一板於固定之位置，則流體碰衝之，依板之方向不同而及以相異之壓力。稱此壓力曰流體之碰衝壓 (Impact pressure)。此碰衝壓與流體速度之平方為正比，與板面與流體之流動方向所成之角之正弦亦為正比。

帆船以帆受風之衝突壓而前進。如圖， $AB$  受  $P$  之碰衝壓時，發生二分力：一為船之進行方向之力  $Q$ ；一為與  $Q$  垂直之力  $R$ 。 $R$  係使船橫行之力，但此力因船腹部分有水之抵抗充

分作用，故被打消，而船得以  $Q$  之力向前進行焉。受碰衝壓之



方法，可用張帆之方法任意加減，故雖在相同之風向下，亦得自由使船向適當之方向進行。又船舵亦在船尾受碰衝壓，能令船首向與舵之迴轉方向相反之方向迴轉。

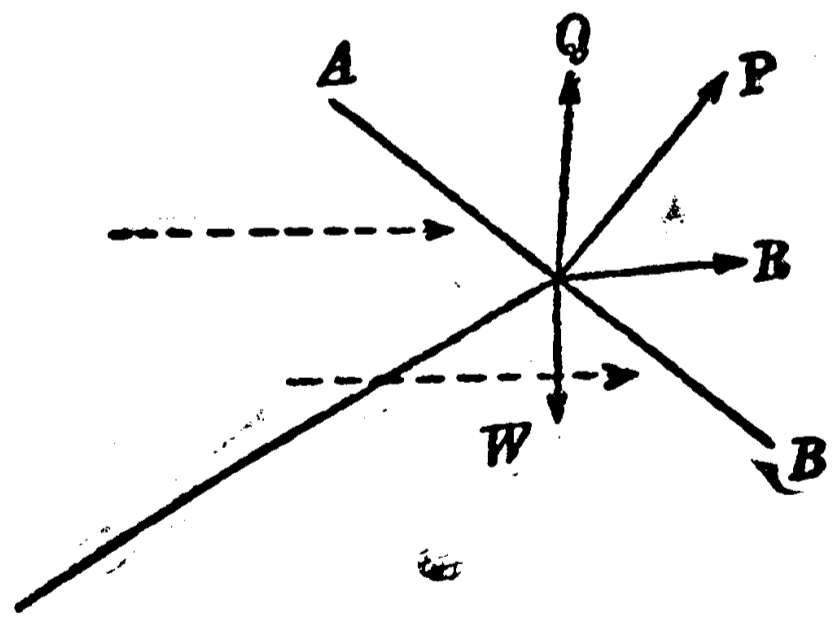


風箏利用風之碰衝壓而上昇。 $AB$  所受之碰衝壓  $P$  之力，分爲垂直及水平之二分力。垂直分力  $Q$ ，如較風箏之重  $W$  爲大，則上昇。更以繩線之張力作用，使與  $W$  及  $P$ ，靜止於等合之位置。

飛機之原理與風箏同。使用推進器而前進時，則前方稍高之機翼，即受氣流之作用。

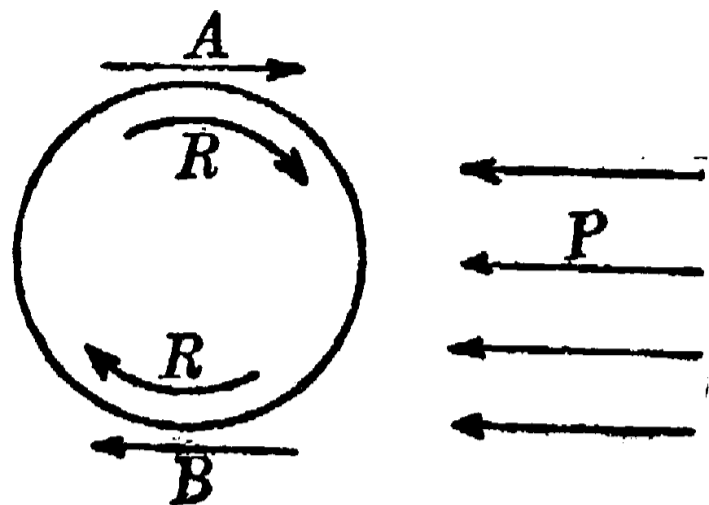
物體在靜止之流體中運動時所受之壓力，與靜止之物體在流動之流體中所受之壓力，實係同樣之碰衝壓。然此發明係二十世紀之事。

迴轉物體在流體內進行時，例如戲棒球庭球時所投之曲球 (Curve)，該物體即係受有與其進行方向成直角之方向而來之壓力者也。



如圖，球體一面依矢  $R$  之方向迴轉，一面向右方進行。但球體受有來自空氣之碰衝壓  $P$ ，且因球係在迴轉之際，故在其兩側面  $A, B$ ，惹起以矢之方向所示之空氣之渦流。從而，在

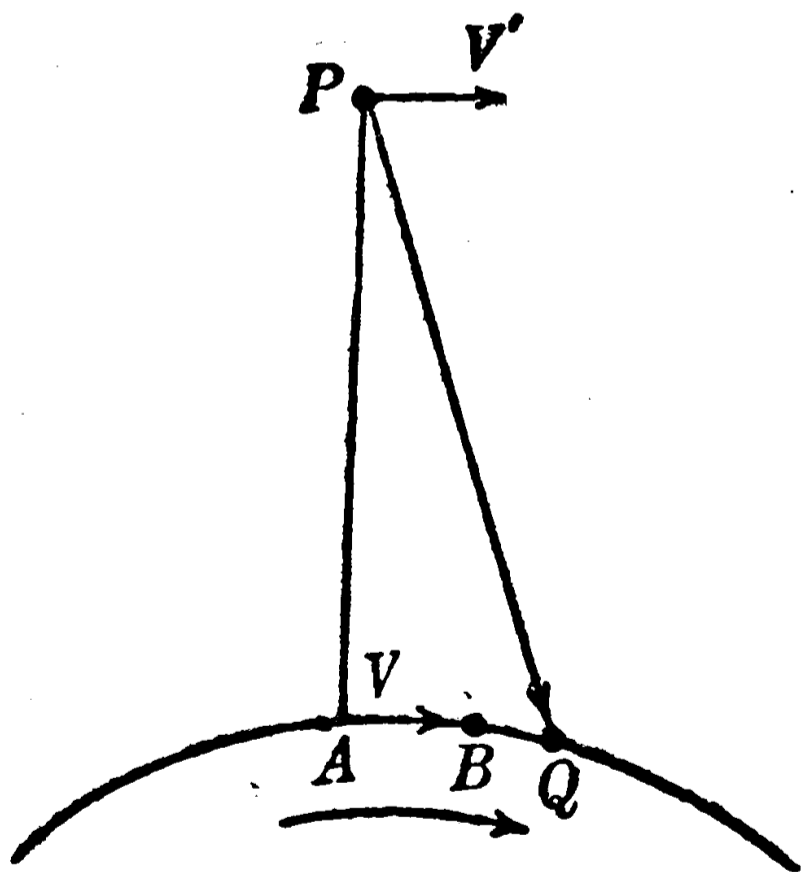
A 之部分，來自球之前方之  $P$ ，與  $A$  處之渦流碰衝；而發生將球自  $A$  向  $B$  反壓之壓力。此即所謂發生反蹴(drop)也。此種作用，球速與迴轉角速度之適當關係，至為顯著，故熟練之球手，得就其所欲之結果，加減其力之應用而為適宜之曲球法(Curve)。內曲球(Incurve)及外曲球(Aftercurve)，同樣可以令球適當迴轉之技巧出之也。



## 六 地球自轉之證據

1679 年，牛頓氏曾預言曰：落體因地球之自轉而不以鉛直落下，必稍偏於東云云。後由同時代之虎克氏以實驗證明其實。此事亦即地球自轉之一證據也，試研究其理。

如圖，自  $P$  落石，假定歷  $t$  秒達於地面。地球若係以矢  $R$



之方向自轉者，則在  $P$  處之石必亦作圓運動，自不待言。但因  $P$  係在高處，故  $P$  處運動之速度較其垂直下之  $A$  處運動速度為大，因在等時間中  $P$  所迴轉之圓周較大也。易言之，即速度  $v'$  大於速度  $v$ 。從而，石自開始運動迄落至地面時，其距離為自  $P$  向右之  $v't$ 。但等時間內

$A$  點向右迴轉之距離為  $vt$ 。令  $AB = vt$ ， $AQ = v't$ ，則石自  $P$  而落於  $Q$ ，而  $P$  之直下點  $A$  則移於  $B$ 。即石以  $BQ = v't - vt$  向自轉方向外落也。若無自轉，即無此情形而垂直落下。

## 第三章 光 學

### 一 光之折射定律

折射定律，係荷蘭之來頓(Leyden)人斯涅爾(Snell 1591—1626)氏所發見，但當時彼並未將其公表。入射角與折射角之餘弦之比為一定，乃本定律之形式。彼之發現，並未由於理論，係就實驗之結果得之。現時所用之折射定律之公式即正弦公式( $\sin i = n \sin r$ )，係1637年達斯卡德氏在理論上獨立發明，惟建立此式基礎之假定，尚有錯誤。

### 二 光之速度

十七世紀，即已知光係次第傳達而進行者矣。以前，以為光之速度為無限大。伽利略氏曾欲測算光之速度，不幸失敗。其後丹麥之勒麥(Römer 1644—1710)氏，據伽氏之預言，由研究木星月蝕之結果，推知光之速度為有限，並於1676年發表其說，謂光橫行地球軌道約需時二十二分鐘(實際為16分38秒)。當時，此說並未得一般之承認。後於1728年，英國之伯拉德雷(Bradley 1693—1762)氏，根據光行差(Aberration)，計算光自太陽到達地球所需之時間為十八分十三秒，發表於世。此值較勒麥氏之數近於真確矣。因彼之檢證，光之漸進說，遂亦一般了解。

### 三 惠更斯原理及波動說



惠更斯氏可謂為光之波動說之最初倡導者。前此，虎克氏雖曾於 1665 年述及似為波動說之事，但內容殊多漠然。至 1679 年，始由惠氏說明關於波動傳播之所謂惠更斯原理。

茲先將波動 (Wave motion) 略為說明。連續存在之物質之某部分發生動搖時，各部分之物質，只在其鄰近發生較小之運動；運動之實際情形係由於相鄰部分之相互的作用，自動搖之源逐漸向遠方傳播。此種現象謂之波動，該物質謂之波動之介質 (Medium)。波動之運動方向與其進行方向成直角者，謂之橫波 (Transversal wave)；此二方向平行者謂之縱波 (Longitudinal wave)。發生波動之原因繼續時，則生相同波動之列。在此列中，每二波動皆相等。自一波動上之一點，至次一波動上位置相同之點，其間距離，謂之此列之波長 (Wave length)。

波長者，振動之一週期 (Period) 間，波之進行距離也。設波長為  $\lambda$ ，週期為  $T$ ，速度為  $v$ ，則得次式：

$$\lambda = vT$$

又設每秒之振動數為  $n$ ，則

$$n = \frac{1}{T}$$

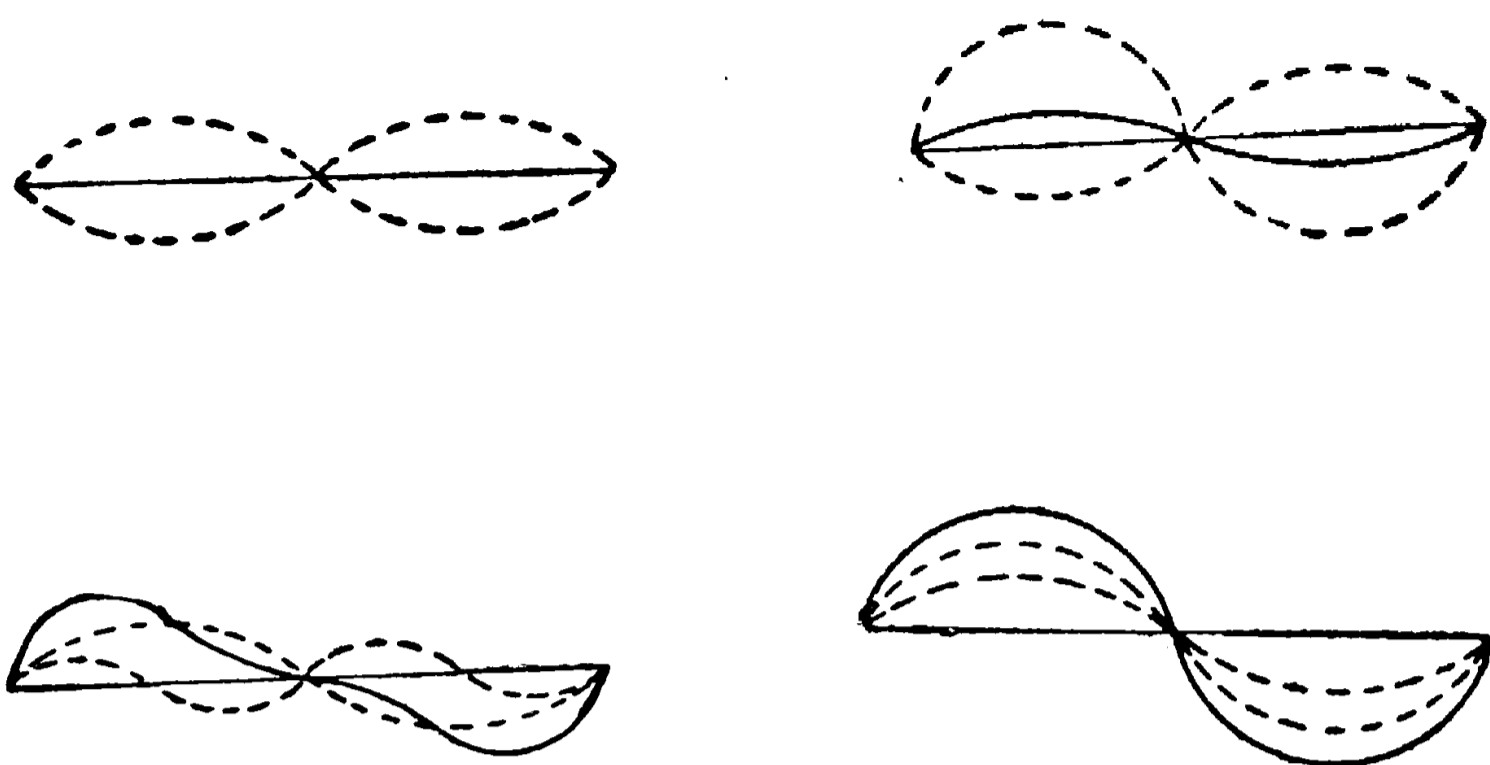
故得次式：

$$v = n\lambda$$

此乃適合於一般波動之重要公式也。

二個以上之波同時通過於一點時，則各波動於此點發生各各獨立之變位。其結果，各波動之變位之代數和，成為一變位之波動而現出。





上圖所示，即波動相重之結果也。

波動相重之結果，使實質振動之振幅減少時，稱之為波動之干涉(Interference)。

波長與振幅 (Amplitude) 均相等之二波動之列，在同介質中以同速度反方向進行時，則相重之結果，生成一新波動。此新波動上，有一部分毫不振動，有一部分振動最盛，其他部分僅各以適當之振幅同作往復之振動，而此新波動毫不進行。如是之波謂之定波 (Stational wave)，其毫不振動之點謂之波節(Node)，振動之振幅最大處謂之波腹(Loop)。

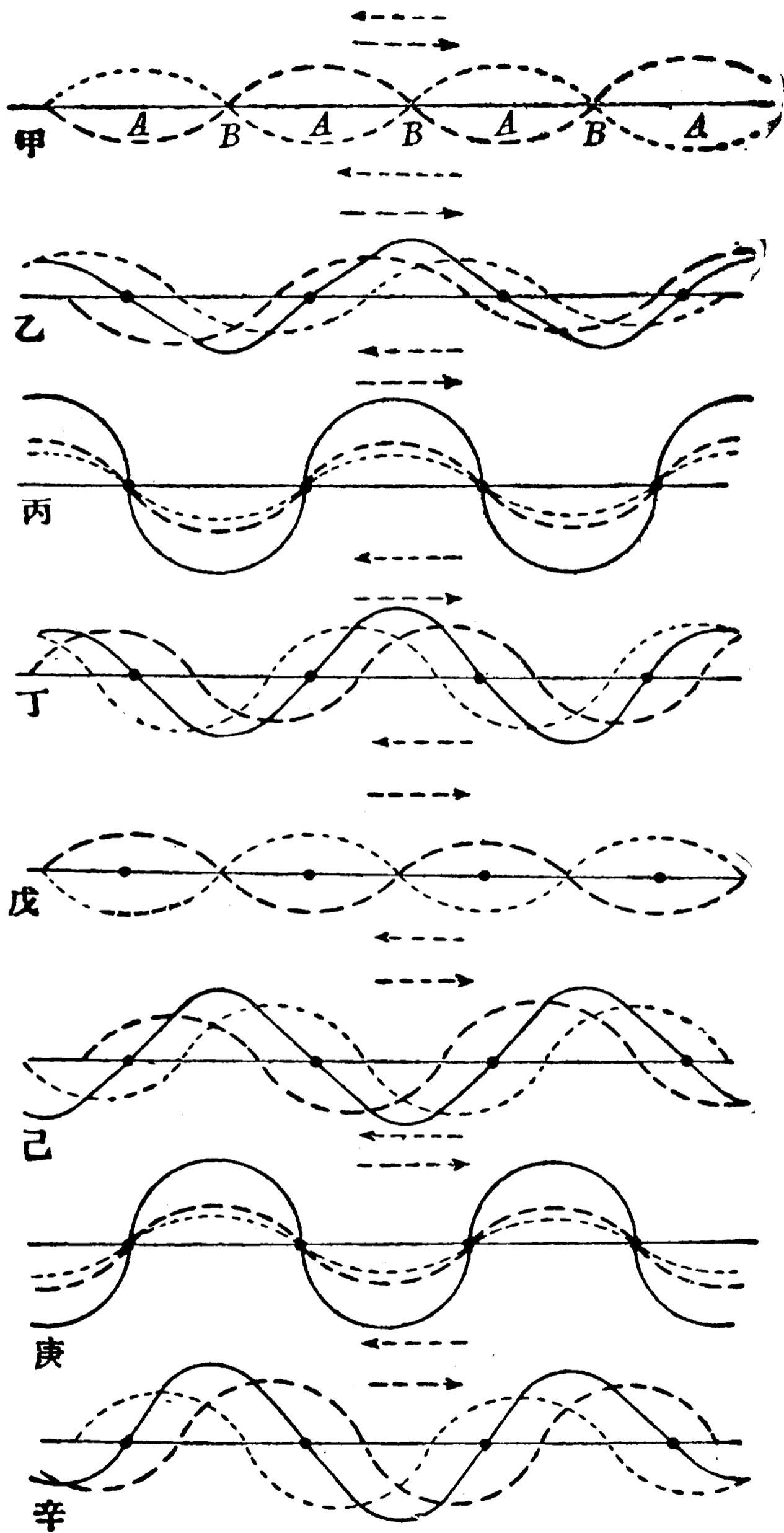
下圖中，以點線所示之波動與以破線所示之波動發生定波。每圖所示，為週期之八分之一。A 點為節，B 點為腹。

固定線之兩端，彈其中部，則向兩端進行之波與自兩端反射之波相重。發生此種定波之事實，得由實驗中見之。

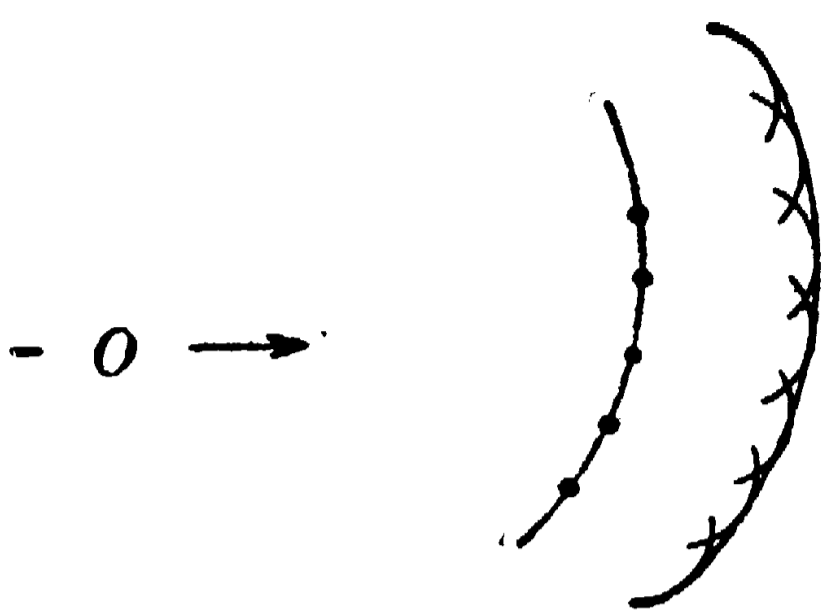
作定波，測定其相鄰二節(或腹)間之距離，二倍之，即可測定此列之波長。音波或電波之波長，亦有用此法實測者。

波動傳播時，同時有相同性質之點連結而成之軌跡：謂之波前(Wave front)。

波動者，自動源順次經過途中之介質而傳播者也。故通過



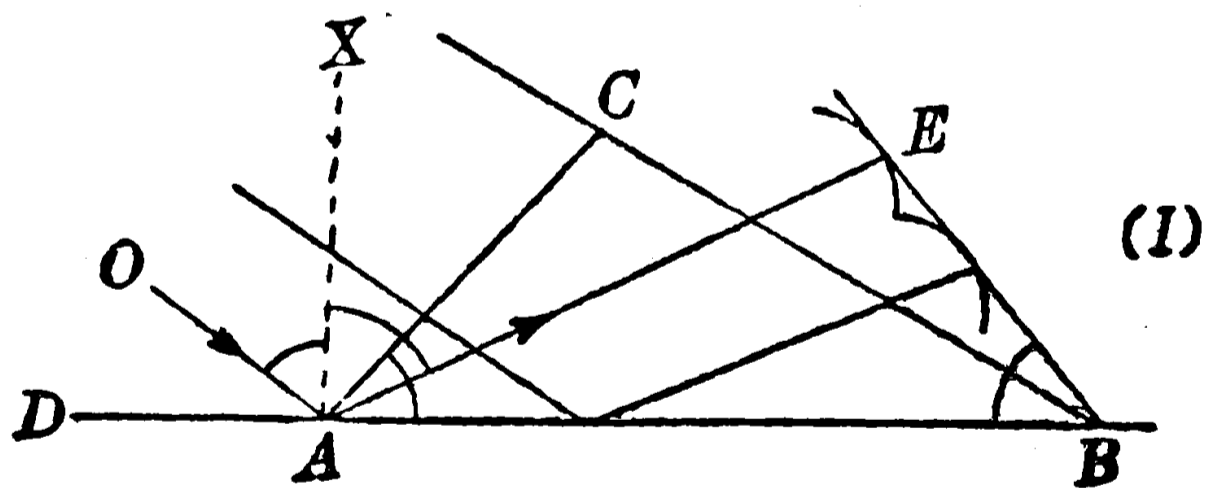
波前之後，波前上所有之點皆可視為源點而再出無數之小波動，彼等復行相重，而作一包圍面，此乃新的波前也。如此研究波動，謂之惠更斯原理 (Huyghens' principles)。用此法研究波動之反射，折射及其他現象，甚屬便利。



#### 四 波動之反射與折射

一波動異其傳播速度而過於兩種介質之境界面時，通常分而為二：其一在初時之介質中；另一則在第二介質中，作成一新波前而進行。前種現象，謂之波動之反射(Reflection)，後者謂之折射(Refraction)。今將此波動之折射與反射，依惠更斯原理一加研究。

先就反射言之。設兩介質間之境界面為含有  $AB$  而垂直於紙面之平面，依  $OA$  方向進行而來之波動之小部分截面為含有  $AC$  而垂直於紙面之平面 (波前或境界面，就



其小部分研究時，不妨視為平面)。波前上之一點  $A$  遠於境界面時，設波前上另一點  $C$  自此時達於境界面上  $B$  處之時間為  $t$ ，第一介質中之速度為  $v_1$ ，則  $A$  處之波動乃折向以  $A$  為圓心以  $t$  與  $v_1$  之乘積  $AE$  為半徑之球面上而來。更就  $AC$  間所有之點論之，若將彼等自  $AB$  面上所發出之小波動作其包圍

面，則恰為含有  $BE$  而垂直於紙面之平面，理至明顯。

$\triangle ABC$  與  $\triangle AEB$  皆為直角三角形，且有二邊相等，故為全等形。從而，

$$\angle CAB = \angle EBA$$

故於  $A$  點作法線  $AX$ ，則

$$\angle OAX = \angle CAB$$

$$\angle EAX = \angle R - \angle EAB = \angle EBA$$

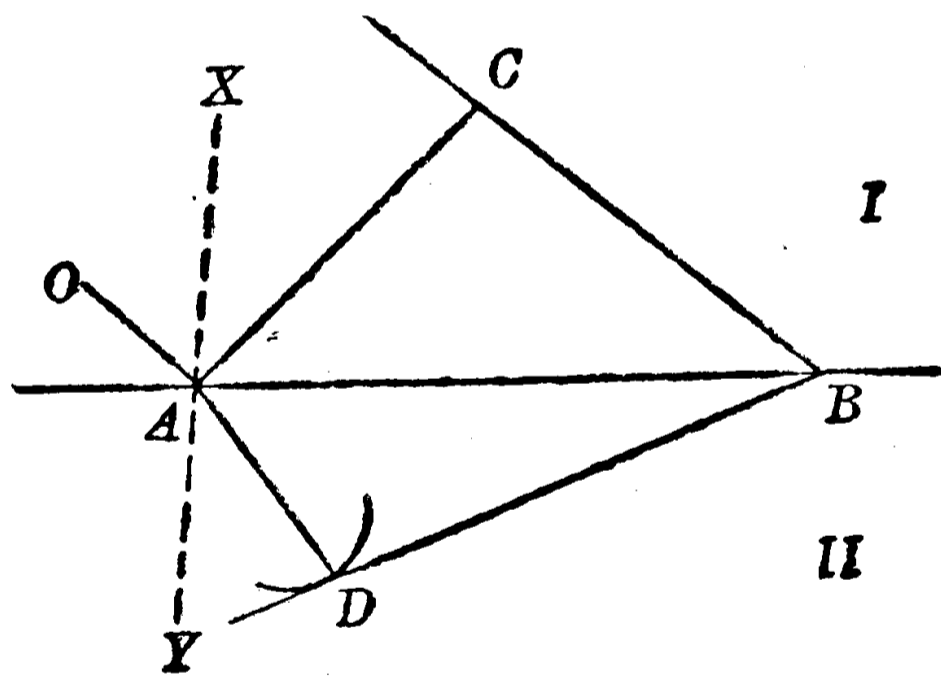
$$\therefore \angle OAX = \angle EAX$$

因得波動反射之定律如次：

(1) 入射波之進路與反射波之進路，在垂直於境界面之同一平面內。

(2) 入射角  $\angle OAX$  與反射角  $\angle EAX$  相等。

次言波之折射。如前所述，入射波上之一點達於  $A$  時， $t$  時間後， $C$  達於  $B$ 。自  $A$  處所出之折射波，折向以  $A$  為圓心以  $t$  與第二介質中之速度  $v_2$  之乘積  $AD$  為半徑之球面上而來。此折射波



之波面，為含有  $BD$  而垂直於紙面之平面。而，

$$\angle OAX = \angle R - \angle CAX = \angle CAB$$

$$\angle DAY = \angle R - \angle DAB = \angle DBA$$

$$\frac{\sin OAX}{\sin DAY} = \frac{\sin CAB}{\sin DBA} = \frac{\frac{BC}{AB}}{\frac{AD}{AB}} = \frac{BC}{AD} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2}$$

因得波動折射之定律如次：

(1)入射波之進路與折射波之進路，在垂直於境界面之同一平面內。

(2)入射角  $OAX$  之正弦與折射角  $DAY$  之正弦之比，等於兩介質中波動傳播速度之比。

據此，可知入射角之正弦與折射角之正弦之比，在兩介質間為一定，而與入射角之大小無關。稱此比曰兩介質間之折射率 (Coefficient of refraction)。即

$$\text{折射率 } n = \frac{\sin OAX}{\sin DAY} = \frac{v_1}{v_2}$$

惠氏即係用此惠更斯原理以說明光之反射及折射者也。

當時，彼之光之波動說，自牛頓氏以下，一般學者，皆不之信，竟被埋沒至一世紀以上。然其中亦有故在，即因彼假定光波亦如聲波之為縱波耳。此種假定，不能說明當時已知之通過於方解石之雙折射 (Double refraction) 下所起之尋常光線 (Ordinary ray) 與非常光線 (Extraordinary ray) 之偏向 (Deviation) 現象〔雙折射之事係 1669 年哥本哈根之巴陶林 (Bartholinus) 氏所發見〕，即用以說明色之起源及光之直進之理亦不能令人充分了解也。

## 五 牛頓之光微粒說(放射說)

牛頓氏對惠更斯氏之波動說而唱微粒說 (Corpuscular theory) 或稱放射說 (Emission theory)，此說當時頗得一般之承認，而保持其勢價至一世紀以上。

放射之說，古代已有論之者矣。即謂光體放射依一直線移動之微粒之流，此等微粒，入於眼，刺激網膜，而生視覺。此說對於光之直進，不成問題。牛頓氏因波動說不能說明光之直

進，故盛唱微粒說。並試以說明反射，折射，分散(Dispersion)，繞射(Diffraction)等現象。

光之分散者，即複雜之光，例如日光等被分析而作成單色光(Monochromatic light)之配列圖即光譜(Spectrum)之現象也。此現象自1648年之麥西(Marci)氏及其後之達斯卡德 虎克諸氏，早已論及；但至1666年始由牛頓氏用三稜鏡解明之。彼之說明，用棒球之曲球之理為例，頗饒興趣。經種種推論之後，凡百否定之；終發現如日光等之光乃係集合多數折射率不同之光而成之真理。在此發見後，彼并研究望遠鏡內透鏡之消色問題，但未成功。彼乃轉目於反射望遠鏡之研究，1668年，作成長六吋，直徑一吋，倍率四十之反射望遠鏡。但反射望遠鏡之最初發明者，乃係前此之休奇(Zucchi 1586—1670)氏也。

光之繞射者，即光線向障礙物之背後迴繞之現象也，係1666年婆羅尼亞之葛尼馬底(Grimaldi)氏所發見。彼據實驗，知出現於障礙物背後之影，顯然非幾何學的而係相當向內方迴繞者也。彼即稱此現象為繞射(Diffraction)。此現象在波動言之，固屬當然發生者，例如水面之波，聲波，電波等，迴繞其障礙物而達於其後，此吾人所熟知也；若光，在此時應不發生此現象，因一般以為光係直進者也。牛頓氏對於葛氏之實驗曾反復試行，欲以彼之微粒說說明之，但未成功。

牛頓氏之微粒說雖已得一般之承認，然反對之者亦不乏人，如虎克氏亦係波動論者之一焉。薄膜等所呈之色，惟有波動說足以說明之。牛氏本身，對於波動說之排斥，似亦顯幾分躊躇之色，只以波動說不能說明直進之點，故仍敢力為反對，而支持其微粒說。

牛頓氏對於太陽之光譜，亦曾作多次之實驗；但彼當時未能發見夫牢因和斐線(Fraunhofer's line)，於今思之；殊令人不解也。

## 第四章 熱 學

### 一 溫度計之發達

溫度計之發明者伽利略氏在 1593 年所製之溫度計，係用一雞卵大小之玻璃球，以麥桿粗細之長管承接之，管端浸於水中，預先令球受熱，使一部分之水由管上昇。此稱裝置，易受大氣壓力變化之影響，故極不完善。

1632 年，法人雷伊(Rey) 氏改良之；其裝置與上式相反，係充水於球而成者也。但管之上端，並不封閉，故亦易因蒸發而生差誤。其後二十五年，經法國阿加台米之諸氏多番改革，始知封閉管口之構造。彼等於溫度計，晴雨計之外，並於 1639 年製成雨量計。彼等作溫度計定點之法，係取冰之融解點為低點，以牝牛之體溫為高點，其間分為八十或四十等分。1688 年，岱南斯(Dalence) 氏之定點法，則採用凍結中空氣之溫度與乳酪之融解點。1659 年保魯(Boulliau) 氏最初用水銀製造。其以水之冰點與沸點為定點者乃 1665 年惠更斯氏之主張；惟其實行則屬後之十八世紀之事。

### 二 運動熱

牛頓前後之學者，已早知熱之正確理論，實堪驚服。1862 年所出之丁道爾(Tyndall 1820—1893) 氏之著作中，載有運動生熱之事。達斯卡德，波義耳，倍根，虎克，牛頓諸氏，亦皆



以爲熱爲運動之方法。惜彼等弱於實驗之證據，故此種學說爲十八世紀之學者所捨棄。

波義耳氏曾觀測氣壓及於沸騰之影響，並行冷劑之實驗。

## 第五章 磁及電

### 一 偏角之變化

吉柏氏曾論斷：地磁之偏角，在一定地方恆為一定。蓋里伯南(Gellibrand 1597—1637)氏則發現偏角之長期變化。牛津之哈萊教授企圖說明之。彼乃作等偏角線地磁圖之第一人。

1681年有一向波士頓航海之船，因落雷而使羅針盤發生變化；此乃電閃及於磁石之影響之有趣味的觀測也。

### 二 電之引力與斥力

當時學者，對於電力之現象，曾以興味之態度作種種實驗。波義耳氏發現人之毛髮因摩擦而帶電，近於肉體，即見吸着。牛頓氏以摩擦帶電之玻璃，作種種之實驗。馬德堡之古力克氏用手摩擦迴轉之硫黃球，發生電氣，此可謂摩擦發電機之先驅。又電氣感應(Electrostatic induction)之現象，即置導體於帶電體附近則導體亦帶電之事，彼亦已知之。

波義耳氏作一重要之實驗，指示電力亦可行於真空中。1676年，畢卡德(Picard)氏搖動晴雨計中之水銀時，見托里拆利真空(Torricelli's vacuum)中有一種輝光；彼以為係一種磷光，其原因由所謂水銀磷之物質而來。但其後何克斯比(Hauksbee)氏謂此光係由電而生；彼並首先瞭知電僅宿止於表面及金屬因摩擦而帶電之事。

## 第六章 聲 學

伽利略氏謂音之高低，由於振數之多寡而定。麥生勒 (Mersenne) 氏研究絃之振動，彼並就放礮火時之光與聲之到達時間，測算音之速度為每秒 1380 呎。加生狄 (Gassendi 1592—1655) 氏以大礮與手鎗實驗，證明音速與其起因及高低無關。巴黎阿加台米之學者畢卡德，勒麥，惠更斯諸氏，測定音速為每秒 1172 呎。

牛頓氏之理論上之結論，謂音速  $V$  與介質彈力之平方根為正比，與其密度之平方根為反比；但用彼之公式計算所得之值，較實際之值略小。一世紀後，拉普拉斯 (Laplace 1749—1827) 氏將其修正如次：

$$V = \sqrt{\frac{1.41 P}{d}}$$

$P$  為空氣之壓力， $d$  為空氣之密度。

## 第七篇 十八世紀

前世紀爲物理學突飛猛晉之時代，伽利略，波義耳，惠更斯，牛頓諸氏之令名，迄於今代，固猶赫赫生輝也。十八世紀，爲其反動之時代，偉大之天才者既不多覯，理論上實驗上之重要貢獻，亦屬寥寥。較足稱者，只富蘭克林(Franklin 1706—1790)，加文狄西，庫倫(Coulomb 1736—1806)諸氏。彼等促進靜電學之研究，得使電學成爲物理學中最主要之部門，是值予之特述者耳。

### 第一章 力 學

牛頓氏所述之力學原理，對於力學上之任何實際問題，均得充分說明之。在十八世紀，卽以此爲基礎，適當從事於問題之個別的處理，而建立各個特別之定律。此乃予實際上以便宜者也。

於此足以記述者，爲阿特武德(Atwood 1746—1807)氏關於落體定律之研究，彼於1780年發明阿特武德之器械。

## 第二章 光 學

### 一 光之波動說之進展

前世紀中，牛頓氏躊躇其微粒論之維持，而惠更斯氏則對波動論力加研究。但入十八世紀，大眾仍多信認微粒說，此不外過信牛頓威權之結果耳。其贊同波動說者，在此世紀，僅有一偉人，即法之歐拉 (Euler 1707—1783) 氏也。然彼僅獨自研究，並未努力說服何人。1750年彼始公表其說。彼並說明光色之區別由於振動週期之差；而暗示以二種相異之物質作成透鏡即可除去透鏡之色之缺點之事。彼雖如此立其理論，而實際上未能作成之，因歸咎於技術上之困難焉。

### 二 消色差透鏡之發明

倫敦之眼鏡家約翰大隆 (John Dallond) 氏，據種種試驗之結果，於 1757 年指示冕牌玻璃與火石玻璃之折射率不同，知有製作消色差透鏡之可能，遂於 1758 年完成之。

1761 年，其子彼得大隆 (Peter Dallond) 氏與藍茲登 (Ramsden) 氏協力完成消色差望遠鏡，說近代天文學之發達以莫大之貢獻。又消色差顯微鏡彼亦曾製造之。

### 三 反射望遠鏡

在發明消色差望遠鏡之同時代，反射望遠鏡之製造亦已

在進行。愛琴布爾克之蕭特(James Short)及赫瑟爾(Herschel 1738—1822)二氏，對於凹透鏡之製造，與有甚大之進步。1789年，造成直徑4呎，重2500磅之鏡，發見近於土星之環之二衛星。1745年製成直徑6呎筒長58呎之巨大反射望遠鏡者，爲愛爾蘭之路斯(Rosse)氏；由此，天體之壯嚴乃被昭示於吾人矣。現時反射望遠鏡之最大者，爲加尼佛尼亞威爾遜山天文臺之直徑100吋之鏡。

反射望遠鏡因鏡之相重，常使鏡面有應變(Strain)之作用，且不能永久保持鏡面之光潤，是其缺點耳。

## 第三章 熱 學

### 一 亞孟東之空氣溫度計

法人亞孟東 (Amontons 1663—1705) 氏，於 1702 年成就伽利略氏空氣溫度計之改良。其構造爲定容式，於 U 形管之短管方面附一玻球，自長管方面加入水銀，使空氣之容積常爲一定，而以水銀柱之高度定溫度之高低。彼用水之沸點爲一定點，並未計及大氣壓力對於沸點之影響，故不能達十分精密之程度。但當時已作爲標準溫度計使用矣。

彼之研究，實可謂爲查理 (Charles) 定律之實驗的證明，又爲得絕對溫度 (Absolute temperature) 之最初觀念者也。據彼檢定，絕對零度爲  $-239^{\circ}5$  C.，但據反覆研究彼之實驗之朗伯 (Lambert) 氏謂爲  $-270^{\circ}3$ ，現時採用之值爲  $-273^{\circ}1$ 。朗氏並謂在此絕對寒冷度時，空氣之容積爲零云。

### 二 華氏溫度計

鼓舞於亞孟東之研究之丹奇西人華倫埃 (Fahrenheit 1686—1736) 氏，努力於溫度計之精確的製作。彼知各種液體之沸點爲一定，且知此等沸點復隨大氣之壓力而異。決定溫度計使用水銀者亦彼也。彼於 1724 年最初採用之刻度法，係以水與冰之混合物之溫度與人體之溫爲定點（前者爲  $32^{\circ}$ ，後者爲  $96^{\circ}$ ；至於零度，則係用水，冰及氨之混合液之溫度）。其後

因用水銀之故，定水之沸點爲  $212^{\circ}$ ，以之代替體溫而爲一定點。

### 三 攝氏溫度計

百分刻度法係攝休 (Celsius 1701—1744) 氏所定。1742年，記載彼之刻度法之書中，水之沸點爲零度，冰點爲一百度。八年後，斯特浪門 (Strönmén) 氏將其顛倒爲之。

當時，溫度計之刻度法甚繁，在 1779 年猶有十九種之多。但在今日，可謂僅此攝氏者爲唯一之存續者矣。

利用金屬棒之膨脹製作之溫度計，係 1747 年時來頓人茂斯岑伯羅 (Musschenbrock 1692—1761) 氏發明，而經岱沙勾萊 (Desaguliers) 氏改良者。又十三年後，威德渥 (Wedgwood) 氏發明高溫計，此係利用一片燒磚體積之變化以測定火爐之溫度者也。

### 四 蒸氣機之發達

1705 年英人紐柯門 (Newcomen) 氏最初發明利用蒸氣之實用機械。1711 年用之以揚水。初時製作者並非自動式，使用滑輪係 1736 年后爾 (Hulls) 氏所發明。

將其大加改良者爲斯可蘭之瓦特 (James Watt 1736—1819) 氏。紐氏者，其活塞係受空氣之壓力而動；瓦氏者則係利用蒸氣之膨脹以動之。在蒸氣機之發達上，彼實爲建樹最大功績之人。

### 五 熱質說 (Caloric theory)

前世紀時，以爲熱係由於分子運動而起之考察，僅係二三



學者間之偶談。至十八世紀，因受唯物論之影響，此說遂被人捨棄。古希臘時代，以爲熱係物質。即在近代，如法之加生狄氏猶盛唱之。又哈雷大學之斯塔爾 (Stahl 1660—1734) 氏亦猶以爲有所謂燃質 (Phlogiston) 之一種物質者自燃燒之物體向外放射云。此說迄十八世紀之終，向爲一般人所承認。其後，法國革命之有力者馬拉 (Marat) 氏於 1780 年由光之微粒說出發，對此說曾與以解說。

## 六 熱之測定

伯那克 (Black) 氏發見潛熱 (Latent heat) 及熱容量 (Capacity of heat)，彼乃有名之氣體化學創立者。彼算出水之汽化熱之值爲 450 (實際在標準氣壓時爲 536)，又用混合法算出水之融解熱爲 77.8 (實際爲 80.03)。彼之測熱法對於瓦特之蒸氣機之改良，予以甚大之刺激。

法國革命時被殺於斷頭臺之大化學家拉瓦錫 (Lavoisier 1743—1794) 氏，伯氏之弟子也，彼與拉普拉斯氏協力，測定多種物質之比熱 (Specific heat)。冰熱量計即由彼等之設計而作者也。

## 第四章 電學及磁學

### 一 放電與來頓瓶

電學在此世紀以甚大之發展，而確立其基礎。1790 年以前，僅有靜電學之研究，其後，發見電流，遂踏入動電研究之第一步。

先為英人葛雷 (Gray ?—1736) 氏瞭知導體與非導體之區別。次則法人杜飛 (Du Fay 1698—1739) 氏謂一切物皆得帶電；並區別電為二種：一名玻璃質；另一名樹脂質。彼乃兩流體說之最初倡說者。

在此時代，發電機業已完成，藍茲登氏所作者，今猶用之。1746 年茂斯岑伯羅氏在來頓地方製成蓄電器來頓瓶 (Leyden jar)，予電學上以一大光明。用此瓶從事動物實驗及其他有興味之實驗，在當時曾博得必要以上之過大的賞讚云。

### 二 單流體說

在此世紀，立最大膽之學說者，為有名之美人富蘭克林氏。彼不僅在政治外交等方面表現其特越之天才，在物理學上，成就亦大。彼所倡論之單流體說 (One fluid theory)，說明電氣現象，能較以前之學說令人滿意。彼謂物體皆含有某一種要素，其量較常態多時為正，較少時為負。此說雖與電有二種之事相反，然流動之物實為一種 (即電子)，就此事實言之，

可謂彼已得其達見矣。電非物質，此時代固尙未確知，即在後世紀之馬克士威(Maxwell 1831—1879)氏時代以前，亦皆以物質論之者也。

### 三 雷 電

空中電之研究，始於富蘭克林氏。1748年，彼擺脫所有之事業，退而專攻電學之實驗。1749年，提出對於電光之電氣理論，列舉雷電作用與電火花之相似點。彼且知電係集於尖端，大膽試用長三十呎而有尖端之鐵棒以捕空中之電氣。旋因此棒不能上達雲間，乃思利用風箏。當電雲通過之際，果得強烈之火花，而電火之電氣現象以明。

富氏之實驗，各國學者俱反復行之；聖彼塔斯維爾克之黎其門(Richmenn)氏竟於作彼之電光實驗時落雷而死焉。

避雷針(Lightning rod)一物，係富氏所暗示，1754年代維許(Divisch)氏實行之。1760年，富氏在菲拉特爾維亞之一建築物上，又1762年瓦臣(William Watson)氏在英國，先後建立避雷針。1782年時，菲拉特爾維亞一地已有四百架之建設矣。

### 四 加文狄西氏之研究

英人加文狄西氏，此世紀傑出之大偉人也。彼從事於靜電之精密測定。測定蓄電器之容量，以吋數表之；此即相當於其吋數之直徑之球之容量者也。又相當於異物體之電容量之比，即後述法拉第(Faraday 1791—1868)氏所確定之導電率，彼亦加以測定。並證明電宿於物之表面及電力與距離之平方成反比之二事。1781年完成其有名之歐姆定律(Ohm's law)之

? 荷高氣印

研究。

彼之研究係 1781 年完成者，但彼并未將其完全佈露。一世紀後之 1879 年，始由馬克士威氏公表之。乃知庫倫氏及法國其他學者所知之大部分，彼固早已證明之矣。彼當時不發表其透徹之結果，在該時代科學之發展上，誠不無遺憾耳。

## 五 庫倫定律

加文狄西氏初用驗電擺 (Electric pendulum) 以行彼之實驗，後於 1786 年發明金箔驗電器 (Gold-leaf electroscope)。庫倫氏復研究一種扭秤靜電計 (Torsion balance electrometer) 亦稱象限靜電計 (Quadrant electrometer)。彼并據此確證電力及磁力亦依從萬有引力平方反比之定律之事，及此力與電量或磁量之乘積為正比之事。又表面荷電之事實，亦據此而得證明。

庫氏為兩流體說之信從者。彼並認為電之引力與斥力不需中間之介質而為遠距離作用。

## 六 電流之發見

1780 年，波羅尼亞之醫師加爾凡尼 (Galvani 1737—1798) 氏於解剖青蛙之際，偶然發現電流 (Electric current) 即當時所謂加爾凡尼電流之現象，得其端緒。彼最初以為蛙腳痙攣係由於大氣電之作用，後以二種金屬實驗之，證明其見解為不確。

與彼同國之伏特 (Volta 1745—1827) 氏於 1775 年發明起電盤 (Electrophorus)。彼對於加爾凡尼電流稱為動物電，亦稱金屬電，從而成就接觸電最初之實驗，發明伏特定律。

## 七 伏特電池

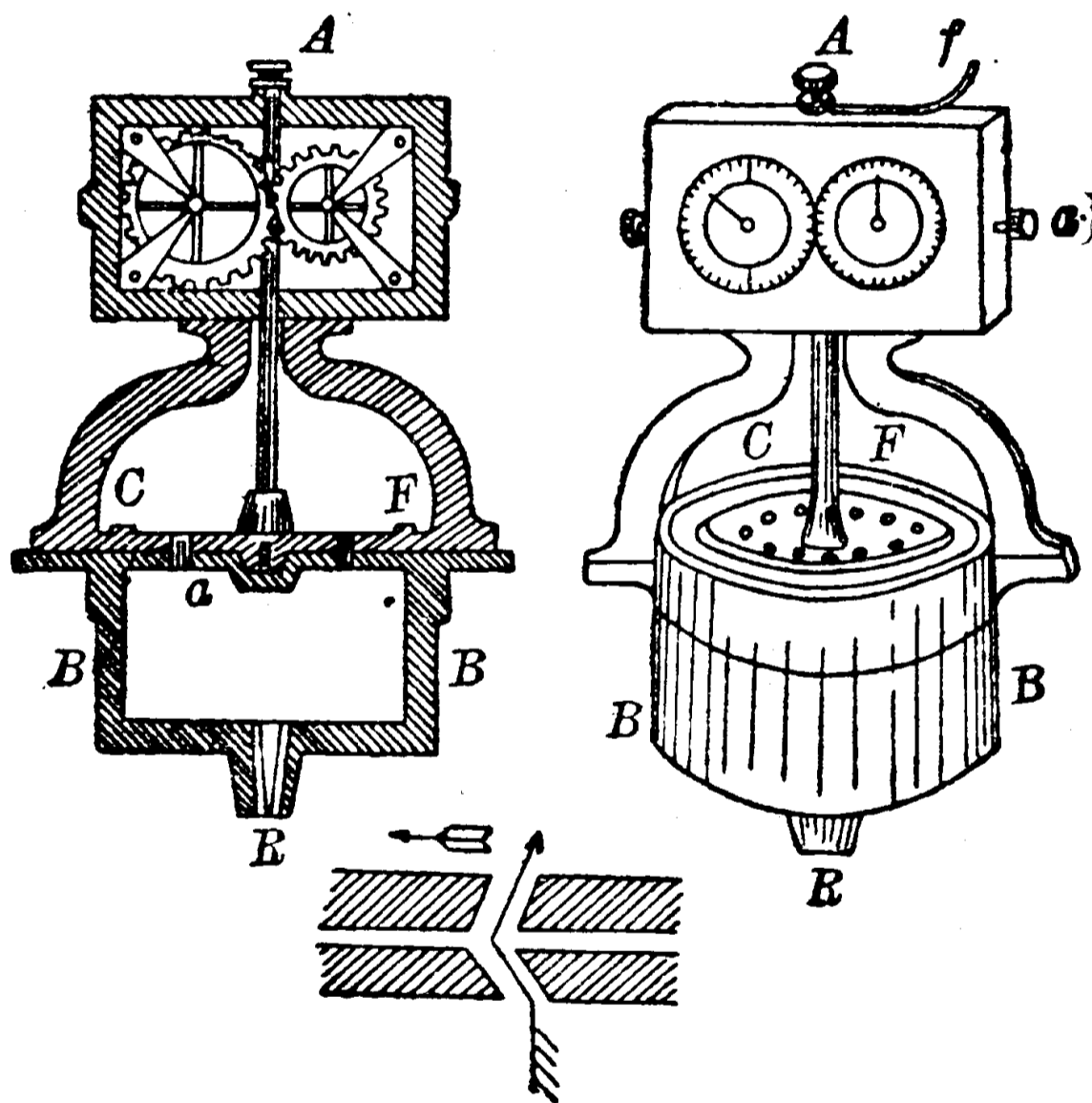
1800 年三月，伏特氏以鋅及銅線入於海水及稀酸中，造成其所謂伏特電池(Voltaic cell)，此乃被稱為電杯之王者也。未幾，英國之泥科爾遜(Nicholson)及卡里斯婁(Carlisle)二氏，造成一次電池，於同年五月用之以行水之電解。

## 第五章 聲 學

法人梭威(Sauveur 1653—1716)氏，在1700至1703年間，發表其關於聲學之重要論文；並從事於泛音(Overtone)節(Node)振動數之精確測定。至測定振動數之驗音器(Siren)，則係魯濱孫(Robinson)氏據虎克氏之實驗反復試作於1801年完成者。其構造爲一金屬之圓筒，沿蓋之周圍開有多數等距離之小孔；此蓋得以

圓筒之軸爲中心旋轉之，其上爲開有同樣之孔之圓板，孔口與下方斜對；故自圓筒之下口吹入空氣則圓板即行旋轉。兩孔相重時則空氣通過而出，相錯則塞。如此送出週期的空氣之疏密波，於適當迴轉之時發生聲音。其振動數可以圓板之孔數 $m$ 與

圓板每秒迴轉之次數 $n$ 之積 $mn$ 表之；迴轉次數有指針隨時示出。今若測定某發音體之振動次數，可將圓板之迴轉爲適當之加減，使其所發之音與欲測之振動數之音，高低一致，即成。



又二音之振動數相差甚微時則生拍 (Beat)，故亦可從一定時間內之拍之次數算出之。

## 第八篇 十九世紀

此世紀也，轉覆過去十八世紀百年間之主要學說，在十七世紀之固有基礎上，重新建立。光之微粒說被波動說所征服。熱質說被棄不論，熱係由於分子運動而起，已見說明。其在電之研究中，所謂無重量之物質，亦得依能媒(Ether)中之“歪”(即應變 Strain)而說明之矣。且在此時，已知之現象不勝枚舉，而說明則趨於單純化。時放射能(Radio-energy)已成爲中心的切要問題。

在此一百年間，相伴於所謂姊妹學之化學之進步，益見物理學之異常發達。化學家確定物質不滅之定律，物理學家亦組成能量不滅之原理。理論與實際相輔而進，蒸氣及電力之應用，乃促進人類物質文明之極度向上焉。

其在英國，已棄其對於牛頓之過度尊信，而入於新科學的生產之時代。當時之有名學者，如楊恩(Young 1773—1829)，大衛(Davy 1778—1829)，柏盧斯脫(Breuster)，法拉第，馬克士威諸氏，皆可得而舉也。

擾攘於政治爭亂之德意志，亦漸次挽回而入科學成功之途。潘干道夫(Poggendorff)，馬留司等實驗主義者排斥神祕主義，與實驗科學之建立，貢獻甚大。一面，理論物理學，亦由克羅涅(Kronig)，克勞修(Clausius 1822—1888)，高斯(Gauss 1777—1855)，維伯 Weber 1804—1891)，柳曼(Neumann)諸氏加以開拓；至1844年，乃進入實驗家與數學家協力而進



之時代。

法國之科學的生產，在本世紀中葉以前，各國均無與爲敵。如拉葛郎休 (Lagrange)，拉普拉斯，夫累涅爾 (Fresnel 1788—1827)，阿刺各 (Arago)，俾奧 (Biot)，噶爾諾 (Carnot 1796—1832)，傅立葉 (Fourier) 等，俱有名之士也。

至於美國，在本世紀最後之二十五年以前，足以引起海外科學者注意之貢獻，可謂烏有；但泊乎末葉，乃大顯活躍矣。

## 第一章 三基本單位之確立

### 一 研究結果之表示

欲將由自然觀察及實驗觀察所得之研究的結果，使其充分明白，令古今東西之任何人皆得一目瞭然，是惟有表之以數量爲最善之方法也。故物理學者，對於任何事物性質上之差異，皆以數之區別表之。數種之量之有連帶關係者，則以數學的公式表之。例如物體之長，以所謂一公尺，二公尺表示；物體之冷熱程度，以所謂溫度五十度，六十度表示；則其狀況，任誰見之，皆得明瞭。又如物體因溫度而脹縮之情形，若將溫度與長度之關係用數學公式表之，則對於其間之知識更詳矣。此乃通常之一例，他如以振動數之多少區別音之高低，以波長之大小區別色之差異，萬事萬物，皆得以數量的區別以表示之也。

### 二 單 位

據上所說，則正確測定種種之量而發表之，誠有必要矣。此種可謂之測定標準之量，謂之單位 (Unit)。種種之量，各以

其一定之量定爲單位，而後與之比較以決定各量。單位者，量之測定之標準也，故必須十分嚴密決定之，即必須行於任何時間任何地方皆一定不變而後可。若昨日之一升與今日之一升不同，大阪之一尺與東京之一尺互異，斯不濟矣。此政府之所以囑說此亦非標準秤彼亦非標準秤也。

各種之量，皆有各定單位至少一種之必要。此等定量，雖可取任意之量以爲單位；但若使用隨時隨地不同之單位，實際上殊爲不便。故學術界皆採用萬國通用之一定單位，即公尺（米）法之單位也；即在實際上，單位統一之時機亦已漸至矣。

### 三 基本單位

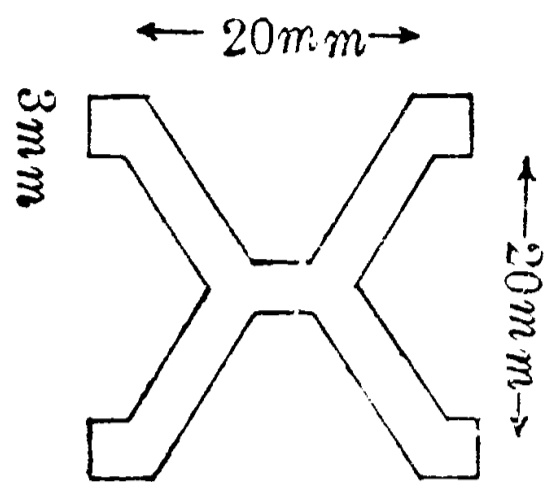
單位之決定，原非易易。即決定所謂一米之長之單位，亦須費甚大之手續與經費，若謂各自隨意選定各種多數之單位，則亦煩雜太甚。故吾人取少數最重要之量之單位，確實定之，稱之爲基本單位（Fundamental unit）。其他單位，同簡單之關係由此引出之。使能彼此互化，以廣應用；此等由基本單位引出之單位，謂之導出單位（Derived unit）。現時之基本單位，係用長度，質量及時間之三種單位。

### 四 長度之單位

前世紀之終，即 1790 年時，法國欲規定長度與質量之標準，自 1792 年至 1798 年間，由德蘭培（Delamber）及麥強（Mechain）二氏主辦，從事通過巴黎之子午線長度之測量，造成相當於其四千萬分之一之長之白金棒，名之曰米（Metre）。

1867 年，復由測地學會製造萬國標準尺，此即採用上述之米加以改良而成者。尺之橫斷面如圖，全體作成長 102 釐米

之鉑銥合金之棒，近兩端約一釐米處，刻有細線三條，定其中  
中央線間之距離（在攝氏零度時）為標準米。



一米原等於地球子午線之四千萬分之一者也，但用此標準反覆測之結果，其值如次：

$$\text{子午線長度} = 40,003,423.1 \text{ 米}$$

此標準米非永遠不變者也，且偶值天災地變，亦難免損失，故有另作同等之物之必要。後更有提倡改製測量宇宙間不變之長度所謂長度之絕對標準之尺者；首倡之人為法之巴俾內 (Babinet 1794—1872) 氏，彼於 1829 主張以取光之波長為基礎；1892 年邁克爾遜 (Michelson 1852 生) 氏用標準米精確測算鈾之赤線之波長在 1 氣壓 15 度時為

$$\text{波長 } \lambda = 6438.4722 \times 10^{-10} \text{ 米}$$

其後 1907 年，據法國學者之測定，為

$$\lambda = 6438.4696 \times 10^{-10} \text{ 米}$$

## 五 質量之單位

定長度之標準時，質量之標準單位亦會同時規定。此亦係用鉑銥合金製成，為一高度與直徑相等之圓柱形法碼，其質量等於最大密度之蒸餾水（攝氏 3.98 度）千立方釐米之質量。名之曰原器，稱其量為仟克即公斤 (Kilogram)。

## 六 時間之單位

同一情事以同一原因而為週期的反復，此吾人習見也。此等現象謂之等時性 (Isochronism)；進行其現象一次之時間，

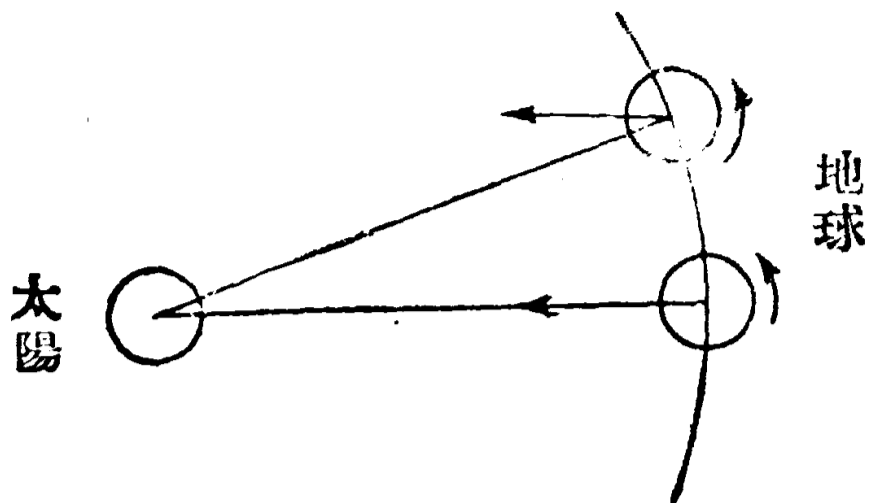
每次均有相同之性質。從而，計算此現象進行次數之多少，即可以決定其長短矣。

眼前之例，如晝夜一事，乃自古以來向爲人類所注意之自然的週期現象也。因可採一晝夜爲時間之單位，定爲所謂一日之單位。更可由月之朔望及春夏秋冬等之週期現象，定爲一月一年等之單位。

惟是，由此法所決定之單位，決不能作爲人類共通之單位；何則？謂以太陽自東升西沒再見東升之時間爲一日，則在如寒帶地方永遠不見太陽出沒之處之一日與溫帶地方之一日，時間之差實大相逕庭也。又如以春夏秋冬之一循環定爲一年，則在如赤道直下根本不分四季之處，不能成其意義矣。是故，求一共通古今東西人類之週期現象，據之以定時間之單位，實爲必要。

地球之自轉，乃任何地方皆能觀測之週期的自然現象也，故可採用地球之一自轉爲時間之單位。據地球之自轉，可由觀望恆星測之。觀望恆星兩次南中（或作兩次經過同一子午線）所歷之時間，即係地球自轉一次。取此爲時間之單位，謂之恆星日（Sidereal day）。太陽固一恆星也，但太陽兩度南中所歷之時間所謂太陽日（Solar day）者，與一恆星日並不相等，此乃地球公轉於太陽之周圍故也。地球因迴轉於太陽之周圍，故地球在第一次南中於太陽後而行一自轉時，地球對太陽之位置即行變更，若不再行若干之自轉即不能與太陽相南中矣。此一太陽日較一恆星日（即地球之一自轉）爲長，一年適相差一日之理也。

採用恆星日爲時間之單位，理論上固屬適當，但人類所受太陽出沒之影響甚大，採用恆星日爲單位，實際上多感不便，故



仍採用與之相差不大之太陽日。又因太陽日因時而異其值，遂又取一年間之平均數稱為平均太陽日 (Mean solar day)，實際上即用此以為時間之單位。

## 七 時 計

測定時間之裝置謂之時計，用以測較一日為短之時間，又為比較太陽日不可少之器械也。

往昔所用之時計，有日時計 (Sundial)，砂時計 (Sand-glasses)，水時計 (Water-clocks) 等。日時計者，立鉛直之棒，視其由太陽所作之影之位置，以測算時間決定時刻者也。砂時計與水時計則係據砂或水自容器細孔落下之分量以比較時刻。伽利略氏研究擺 (Pendulum) 之等時性，因之發明擺時計。

檢查時計之正確與否，通常觀測恆星，得恆星日，再依理論化算為太陽日而比較之，此法至為適用。即先計算一恆星在平均太陽時相當於何時何分何秒？後以欲檢之時計測算恆星兩次南中所歷之時間，若與計算之時間相一致，此時計即屬正確。

## 八 時 刻

時間 (Time interval) 者，時之間隔，時刻 (Time instant) 者，時之某瞬間也。決定時刻，應先決定測定時間之基點；即先決定零時，而後稱經過一小時為一時，稱經過二小時為二時等。然則宜決定何時為零時乎？天文學上，宜取太陽南中之平均時，至實用上則依十二時間之差，定夜半為日之基點。

太陽，自地球觀之，係自東向西運動，故在東西相隔之處，太陽南中之時刻當然不同，從而各該地之時刻亦異。此即地方時(Local time)隨地方而異也。其相異之數，因太陽以二十四小時繞地球一週，故經度相距 15 度，則相差一小時。

欲計各地之時刻而採用其他各地之地方時，則因兩地時計之不一致，實際上非常不便。故有所謂標準時(Standard time)之決定。此即採用某場所之時刻為標準，在相當範圍內，均以其時刻為準。

世界標準時係採用英國格林維基(Greenwich)天文臺之時刻，日本中央標準時係用東經 135 度之時刻；故與英國之時刻較之，則係用前進九小之時計也。臺灣之西部標準時，係採用較中央標準時後一時之時刻。是故，英國之正午，與日本內地之午後九時及臺灣之午後八時為同一時刻。

自格林維基向東，標準時照格林維基之時刻遞加，向西則遞減；故在 180 度之經度處相差應為二十四時間。假定在經度 180 度之處，採用該地之地方時為標準時時；若為東經 180 度，應採較格林維基進前之十二時間，設此時格林維基為正午，則此處為午後十二時。若為西經 180 度，則應採較格林維基遲後之十二時間，設此時格林維基為正午，則此處為同日之午前零時。故採用格林維基之地方時為世界標準時者，在經度 180 度之處，須將日期變更一日。此世界地圖上之所以有日期變更線(Date line)也。自日本渡洋而至美國時，在此線中，有同一日期之二日繼續；自美國歸來時，適與去時相反，即其中有一日被跨越而過。

茲比較世界各地地方之標準時如次：

午後 11 時 0 分      南洋羣島東部

10時0分	<u>同上中部</u> , <u>紐及尼亞</u> , <u>澳大利亞</u>
9時0分	<u>日本內地</u> , <u>朝鮮</u> , <u>南洋羣島</u> 西部
8時0分	<u>臺灣</u> , <u>關東州</u> , <u>中國東岸</u> , <u>菲列賓</u>
7時0分	<u>中國南岸</u> , <u>廈門</u> , <u>馬來</u>
5時30分	<u>印度</u>
2時0分	<u>芬蘭</u> , <u>波蘭</u> , <u>土耳其</u> , <u>希臘</u> , <u>南非洲</u>
1時0分	<u>瑞典</u> , <u>德國</u> , <u>瑞士</u> , <u>奧地利亞</u> , <u>意國</u>
0時0分	<u>英國</u> , <u>比利時</u> , <u>法國</u> , <u>西班牙</u> , <u>葡萄牙</u>
午前 9時0分	<u>布拉周爾</u> 東部
8時0分	<u>美國大西洋岸</u>
7時0分	<u>美國東部</u>
6時0分	<u>美國中部</u>
5時0分	<u>美國山岳部</u>
4時0分	<u>美國太平洋岸</u>
3時0分	<u>阿拉斯加</u>
1時30分	<u>檀香山</u>

## 九 角之單位

角(Angle)之單位，並非由上述三種基本單位誘導而成。通常所用之度(Degree)之單位，係分四直角為360等分而得。物理學上專用之弧角之單位，係由弧度法而作，即以等於半徑之長之弧所對之圓心角為單位，稱為弧角(Radian)。此角之單位與測量半徑長度之單位為如何，毫無關係。據此單位，則360度相當於 $2\pi$ 弧角，故：

$$1 \text{ 弧角(Radian)} = \frac{360^\circ}{2\pi} \doteq 57.2958^\circ$$



本書所記載之角度，多以此弧角爲單位也。

### 一〇 單位之系統

長度，質重，時間之三基本單位，用釐米，克，秒之時，稱 C. G. S. 系統單位，學術上用之；其用米，仟克，秒爲基本時，稱 M. K. S. 系統單位，實用上用之。

### 一一 量之測定

表示物理學的量(Physical quantity)之大小時，將此量與同類量之一定量即單位相比，求其等於若干倍，附記單位之名於此倍數，即成。此倍數即可謂爲數值，即以求此數值以測其量也。惟是測定無論如何精密，多不能得其直正之數值；吾人在發表上，常以四捨五入之方法，將適當倍數以下之數省略之。例如某種光之波長，測定時雖異常精密，但仍不得不在某倍數以下行四捨五入也。

又如測定某物之重量爲 24.3 仟克，並非謂恰爲一仟克之 24.3 倍也，四捨五入之結果耳。真重量爲 24.27 仟克抑爲 24.33 仟克，俱不得而知。從而，24.3 仟克與 24.30 仟克即不相同，兩者之精密度相差甚大。

表示某種之量，有用  $10^5$ ， $10^9$  等 10 之冪數表示者。例如光之速度爲  $3 \times 10^5$  米。此所表示，亦非謂光之速度恰爲每秒三十萬仟米（公里），其爲二十九萬九千……秒仟米抑三十一萬五千……秒仟米，亦不得而知。此係在  $10^4$  之處行四捨五入始生成 3 之一數值也。從而， $3 \times 10^5$  與  $3.0 \times 10^5$ ，其精密度亦不相同矣。

實際上測定時，計算五位以上之數值，每感困難；故在普

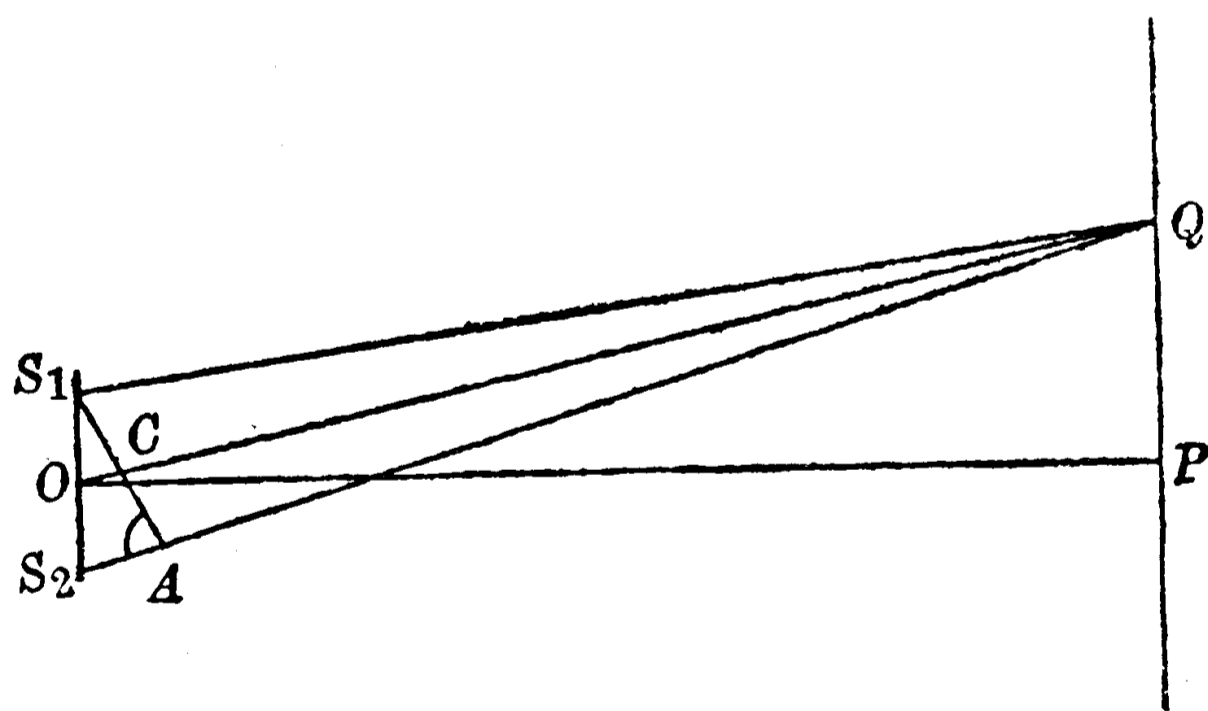


通之測定，對於四五位以上之量常以 10 之冪數附於有效數值上以表之。

## 第二章 光 學

### 一 波動說之復興

被忽視一世紀以上之光之波動說，今因英人楊氏而復興。彼於 1801 年以干涉之原理為基礎為波動說作有力之辯護；顧在當時，只成為一般學者之笑談資料耳。及法人夫累涅爾氏出，方回復其正當之權利。夫氏於 1815 年實驗其有名之干涉現象，確認必光為波動始有干涉之現象，亦即必有干涉之現象始可知光為波動也。彼將此干涉現象即二光相重而消失之現象，巧為實驗；茲說明其實驗之要領如下：



如上圖， $S_1S_2$  係用極相接近之單光所作之光源，於  $PQ$  之位置放置一屏障物以接受所來之光。今就屏障上與  $S_1$  及  $S_2$  為等距離之  $P$  點研究之，因此點之位置，對於自  $S_1$  及  $S_2$  所出之單光，距離相等，故光波之相 (Phase) (即陵與谷之相) 以同等之達到而相重，於是光乃相助增輝。其次，

$$S_2Q - S_1Q = \frac{\lambda}{2}$$

( $\lambda$  爲用爲光源之單光之波長)

在  $Q$  點 (此點與二光源之距離之差取光之波長之半) 其相成反對 (谷恰與陵重合) 而相重, 故起干涉, 而波消失。一般言之, 在自光源  $S_1$  與  $S_2$  之距離之差爲波長之半分之偶數倍數處, 光相重而增輝; 在奇數倍數處, 光干涉而消滅。此實際在屏障上所以現出明暗之條紋也。

在此實驗中, 測定  $PQ$  之距離, 可以計算用爲光源之單光之波長。即

$$S_2Q - S_1Q = S_2A = \frac{\lambda}{2}$$

$$\angle S_1OP = \angle R \quad \angle S_1CO = R$$

$$\therefore \angle S_2S_1A = \angle POQ$$

$$S_2A : S_1S_2 \sin S_2S_1A = S_1S_2 \sin POQ$$

此  $\angle POQ$  之角甚小, 故

$$\sin POQ \doteq \tan POQ = \frac{PQ}{OP}$$

$$\therefore \frac{\lambda}{2} = S_2A = S_1S_2 \times \frac{PQ}{OP}$$

$$\lambda = \frac{2S_1S_2 \times PQ}{OP}$$

實際上,  $S_1S_2$  之光源, 雖屬相同之單光, 若各用一光源, 光波不能以同時同相而出, 因難得理想之好結果。故通常皆用一光點使受於二枚平面鏡或透鏡上結成二個接近之像, 而後用之爲二光源  $S_1S_2$ 。

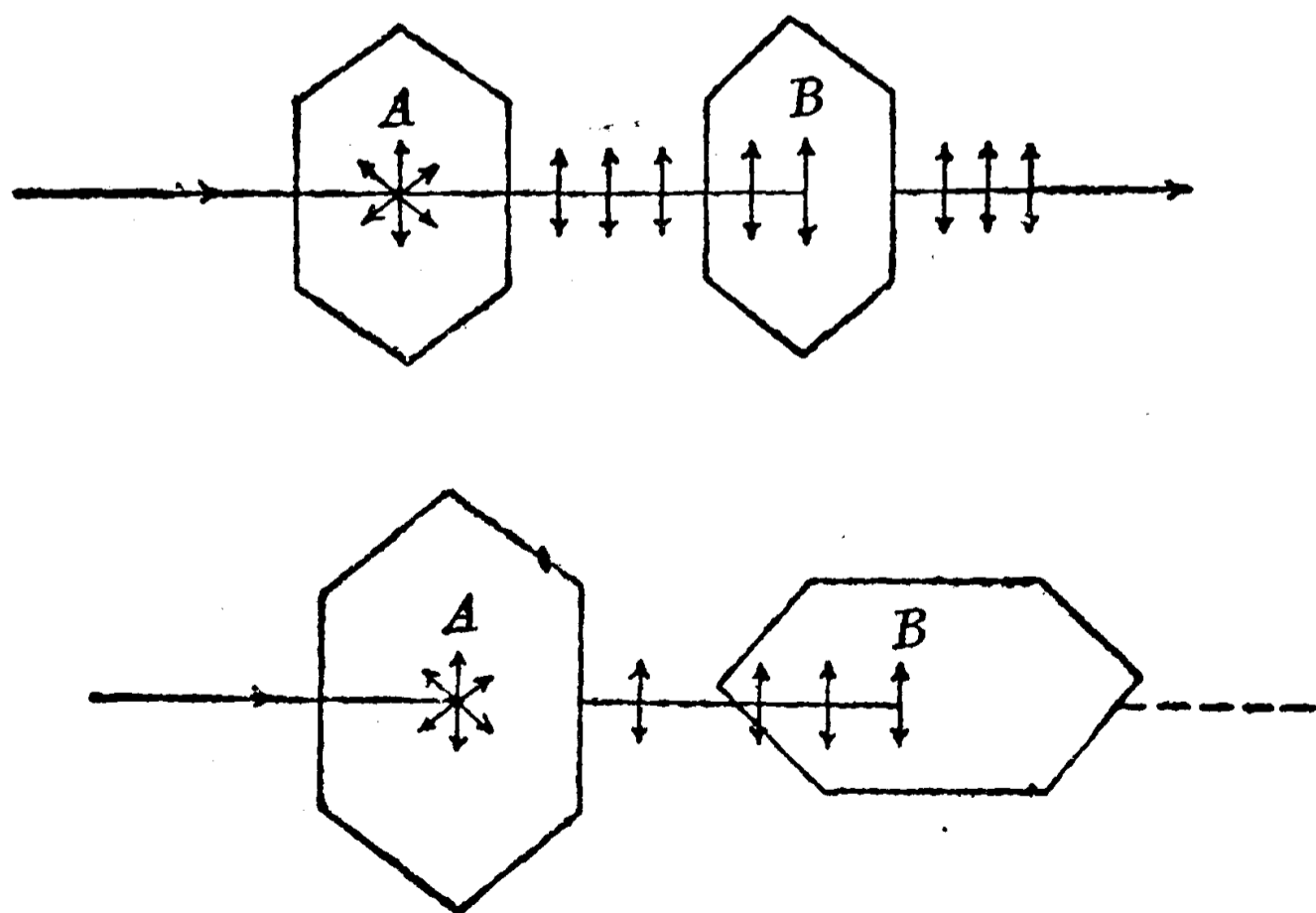
法人阿刺各氏, 率先贊成夫累涅爾氏之說, 是爲向波動說之改宗者。但拉普拉斯及怕松 (Poisson 1781—1840) 諸氏之

屬於嚴正數學派之學者，仍不顧之。於是夫氏益加發奮，力求數學的說明；根據惠更斯之原理，用波動說以說明光之直進，遂漸得多數學者之信念云。

## 二 極化光(偏光)

雙折射(Double refraction)及極化(Polarization)之現象，前者為1669年柯本哈根之巴陶林氏所發現，後者為惠更斯及牛頓二氏所發現，前已述及。法人馬呂斯(Malus 1775—1812)氏研究之，得知極化並非由結晶體而得。彼為放射說(即微粒說)之信徒，彼之發見，實與波動說論者以一大打擊。極化之現象，當時波動說不能說明之；但在1817年因楊氏而放一光明，即彼以為光係橫波也。阿刺各及夫累涅爾，更為之詳加說明。法人俾奧氏發表極化之種種定律，因而成名，然彼係以微粒說說明極化者也。俾氏之說，當時頗得一般之承認。顧在此時會，認光為橫波以說明極化，亦有從事者矣。

將一種礦物名熱電石(Tourmaline)者，於與其結晶軸平



行之面切開之，成二枚薄板  $A, B$  (如上圖)。先令兩板之結晶軸方向成平行，並自一方，將光射入，則可見多少之色；總之， $A, B$  二板，光皆通過也。次令結晶軸之方向，互相垂直，將光射入，則  $A$  板通過。通過後之光，因不能通過  $B$  板，其後光即完全不見。此現象也，若認光波為縱波，無論如何，不能說明，是實光為橫波之結果，亦即光之橫波說之證據也。

然則，所謂光為橫波，此現象如何而起乎？蓋光係向其垂直於進行方向之方向作振動，其振動之方向，在垂直於其進行方向之平面內，以極大之速，一面在所有之方向上起變化，一面向前進行。恰可想其為在垂直於進路之平面內之所有方向遍作振動也。當其通過如上所述之一枚熱電石板  $A$  時，因熱電石之性質，僅有平行於結晶軸方向之振動之光被通過，其他方向振動之光，悉被吸收，故僅有平行於結晶軸之方向之振動之光繼續進行。從而，將第二枚熱電石板置於與結晶軸相平行之位置，則此光得以通過；若將軸置於垂直，則自  $A$  透出之光盡被  $B$  所吸收矣。以二枚格子木板相並，其間通以繩索，固定繩之一端，他端以手向各方搖動，殆可見與此相同之結果。

若此一度通過於熱電石板之光，振動之方向即限於一方向；此等之光，謂之極化光 (Polarized light)。

光不僅通過熱電石板而成極化光也，自非金屬之面反射之時，亦有相當之極化：

$$\tan i = n$$

在上式中， $n$  為該物質之折射率， $i$  為入射角。以上式之入射角  $i$  投射時，其反射光含有最多之極化光。玻璃之反射角  $i$  為  $57^\circ.5$ 。由反射而生之極化光之振動方向，係與投射面成垂直。又通常折射光亦含有平行於投射面之振動之極化光。

用極化光照見物體，與普通之光無異；故欲檢其爲極化光與否，必需有特別之裝置。迴轉熱電石板視之，光之強度發生差異者，即含有極化光之光也；光強不變者，普通之光也。然此法係視光有色者也，故非檢查極化光之適當方法。通常用所謂檢光器即泥科爾稜晶 (Nicol prism) 者爲之。

透過方解石之結晶以視物體，則見成爲二重，此乃投射光線入方解石時分爲二途折射所起之現象也，稱之曰雙折射 (Double refraction)。此二折射光線中之一，係依通常之折射定律而折射，謂之尋常光線 (Ordinary ray)。另一則以依投射角不同而異其值之折射率而折射，謂之非常光線 (Extraordinary ray)。

就此二折射光線研究之，則知亦皆爲極化光，其間僅有一方之光之振動方向與他方者互相垂直之不同耳。雙折射之起因，由於方解石或水晶等結晶體因光之振動方向不同而異其傳達作用而生；從而光之進行速度亦因之而有差異。

依據全反射之理將用適當方法通過方解石而來之尋常光線，使其出於測面之外，則所見者惟非常光線矣。依此而作之器械即所謂泥科爾稜晶，作起偏極鏡 (Polariser) 檢偏極鏡 (Analyser) 時多用之。

### 三 光之速度

1825年之際，放射說之勢力已極衰落，物理學者多已棄而不言，而其全被打倒，則在本世紀之中頃也。依放射說，在密度較大之物質中光速亦較大，而波動說則與之相反；於是，光速之決定乃成爲決定兩方勝負之問題。

1834年惠斯登 (Wheatstone 1802—1875) 氏暗示用迴轉

鏡可以比較光速，阿刺各氏採用之；但因使此鏡每秒迴轉一千次以上，感有機械上之困難，故未能成功。其試驗成功者為法人佛科(Foucault 1819—1868)氏；彼於1850年，發表水中之光速較空中為小之事，遂將牛頓之微粒說根本摧毀。與彼協力從事之菲左(Fizeau 1819—1896)氏，先於1849年決定光之速度。前述之勒麥氏與伯拉德雷氏之測定法，係根據天文觀測者也。菲氏裝置之特長則在使用齒輪之方面。

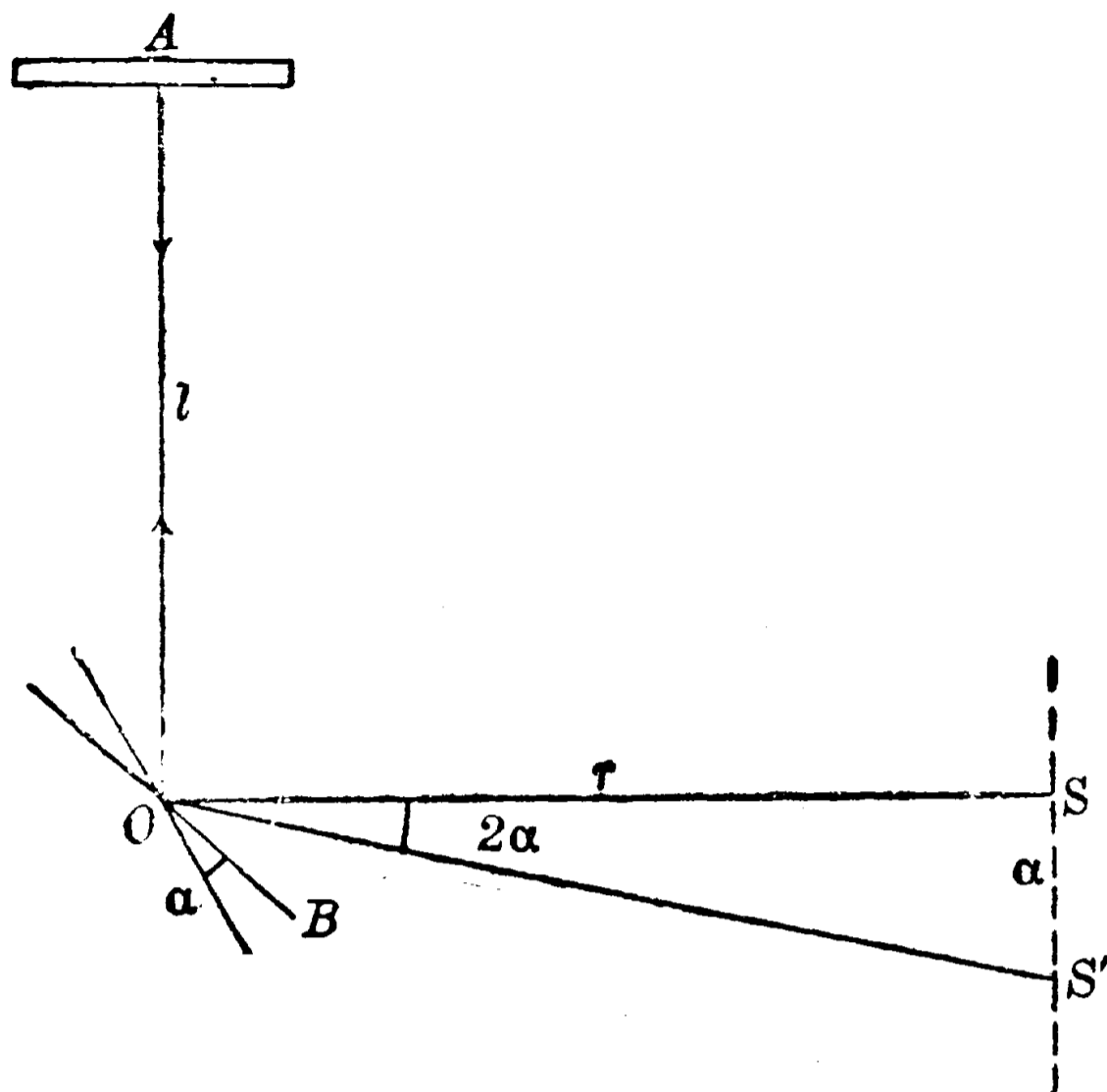
光速最優良之測定，作成於美國。即紐康(Newcomb 1835—1909)及邁克爾遜二氏在1878至1882之五年間由五百次以上之實驗而得者。

茲將各實驗者之測定值列舉如下：

年	代	測 驗 者	光 速 (秒仟米)
1849		Fizeau	315,000
1862		Foucault	298,000
1878		Corun	300,400
1881		Young	301,382
1882		Michelson	299,853
1882		Newcomb	299,860

今再將邁氏之光速測定法，略為說明。

如圖， $A$  為被固定之平面鏡， $B$  為以  $O$  為軸而旋轉之平面鏡。今自光源  $S$  送入光線，則光在旋轉鏡  $B$  上之  $O$  點被反射而達固定鏡  $A$ ，光至  $A$  後，復被反射而達  $O$ ，而後又被反射。光在  $OA$  間之往復即以  $2l$  之距離進行時，將旋轉鏡取  $\alpha$  之角旋轉之，則光至  $O$  而再行反射時，即成與  $OS$  恰成  $2\alpha$  之角之  $OS'$  方向(此事可依光之反射定律用初等幾何學證明之)。



旋轉角  $\alpha$  用弧角 (Radian) 單位測定之(弧角單位者, 即以等於圓半徑之弧張於圓心之角為單位。用此單位, 則一迴轉即  $360^\circ$  為  $2\pi$  弧角)。在此實驗中, 旋轉鏡  $B$  係以每秒  $n$  次之比例而旋轉。故僅旋  $\alpha$  角之旋轉時間  $t$  為

$$t = \frac{\alpha}{2\pi n}$$

此時間內, 光進行  $2l$  之距離, 故光之速度  $V$  為

$$V = \frac{2l}{t} = \frac{2l \times 2\pi n}{\alpha} = \frac{4\pi nl}{\alpha}$$

但  $\tan 2\alpha = \frac{d}{r}$

且  $\alpha$  之角度甚小, 故  $\tan 2\alpha$  之值幾與  $2\alpha$  之角之數值相等。即

$$2\alpha = \frac{d}{r}$$



故 
$$V = \frac{8\pi nlr}{d}$$

此實驗中，若已決定  $r$  與  $l$  之長，並測定旋轉鏡每秒之旋轉次數及光之相對反射而來之位置，則可計算光之速度。在邁氏之實驗，

$$l = 602 \text{ 米}$$

$$r = 9 \text{ 米}$$

$$d = 133 \text{ 毫米}$$

$$n = 267 \text{ 每秒}$$

故得 
$$V = 299,860 \text{ 每秒仟米}$$

#### 四 光譜之研究

此世紀中光譜(Spectrum)之研究之發展，實予物理學之進步以莫大之貢獻。由此乃能確定天體之元素，測定恆星之運動，說明光之本質，進而對於物質原子之構造問題亦予以光明之基礎。以下試述其研究進展之大概。

太陽景中之暗線(Dark line)，係1802年倫敦之武拉斯吞(Wollaston 1766—1828)氏所發見。至其研究，則係不知彼之發明之凡尼亞人夫牢因和斐(Fraunhofer 1787—1826)氏所從事。彼對於光學研究上理論之洞察與實驗之巧妙，堪稱卓越。彼將透鏡加以改良，以精查太陽金星等之光譜。最初觀察由繞射光柵(Diffraction grating)作成之光譜，用以行光之波長測定者，亦彼也。彼最初所用之光柵係用金屬絲作成，後於1823年改爲玻璃光柵。彼用此以測定D線之波長，得0.0005888毫米。

當斯時也，微粒說與波動說之爭論正烈，故對於彼之新發

見，直至四十年後猶未見有充分之說明。

夫牢因和斐氏之次，爲英人赫瑟爾氏。彼於1827年精查明線(Bright lines)之光譜，但未能作明確之說明。金古斯大學之米勒(Miller)及巴黎之佛科二氏，測知D線與Na線相同。佛氏亦曾說明太陽光譜中暗線之起因，惟當時並未予以確定也。

### 五 攝影術之發見及光譜之分析法

1827年李蒲斯(Niepce 1765—1833)氏最先攝製影像；大格尼(Daguerre 1789—1851)氏改良之；後由紐約之德雷柏(Draper 1811—1882)氏應用於人物攝影；彼於1840年攝製月影，1842年攝製夫牢因和斐暗線之影，1847年成其所謂凡百固體皆以同一溫度而白熱之新發見；並發表固體所發之光與色之關係及白熱固體發生連續光譜(Continuous spectrum)之現象等。

十三年後，德雷柏氏所得之結果，因德人克希荷夫(Kirchhoff 1824—1887)氏之研究而得證明。克氏與大化學家本生(Bunsen 1811—1899)氏協力，在1859至1862年間，陸續發表其光譜分析法中之大發見。本生氏於1857年發明所謂本生燈(Bunsen burner)由此，觀察純粹蒸氣之光譜，乃有可能。1859年彼等瞭知吸收光譜(Absorption spectrum)之理以說明太陽之暗線。並證明太陽周圍之大氣中有鈉，鐵，鎂，銅，鋅，鋇，鎳等之存在。

彼等並確說光譜之明線乃元素所特有。銫(Caesium)及銣(Rubidium)，即彼等據此結論而發見者。

光譜分析法爲彼二人所創立；至應用其方法迄於天空者，

則屬之克氏一人；彼之天才，乃完成的而非創始的也。

## 六 光譜之種種研究

因克，本二氏光譜分析法之創立，科學家多向此方面努力，而入於天體化學之進展。

1862年，帕呂克 (Plucker) 氏說明雖同一物質若在溫度不同時，其光譜亦異。1868年，武婁 (Wullner 1835—1908) 氏察見因壓力而起之光譜之變化。此等現象，據種種討論之結果，咸以為光譜之變化係以分子構造為起因也。

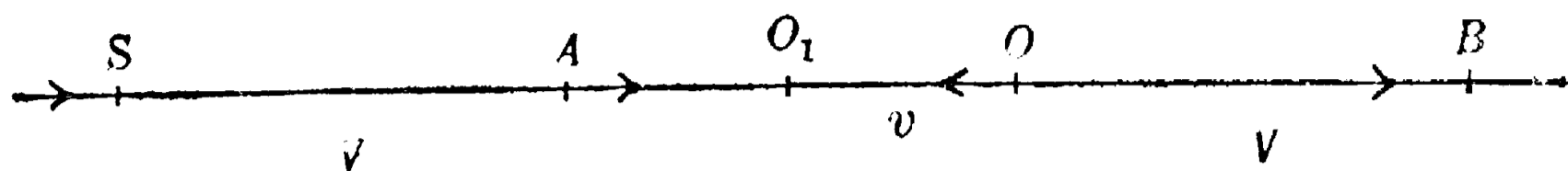
德國之凱式 (H. Kayser) 及倫修 (C. Runge) 諸氏，據1840年後研究之結果發見光譜線之排列有一定之規則。

安斯透丹大學之最曼 (Zeeman) 氏，據1862年所成之法拉第之預想，於1896年發見光受磁力之影響而起光譜線分離之現象；此發見實為指示光之電的起原之重要事實，亦分光鏡 (Spectroscope) 進步上之大幸也。在此發現後，分光鏡之利用，乃不止於天體之化學分析，更進於決定天體之視線運動矣。奧地利亞之都卜勒 (Doppler 1803—1853) 氏，曾倡其關於音之定理如次曰：

‘發音體與耳之距離相近時，則耳所聞之音較實際為高，遠時所聞之音較實際為低。’

此事可以火車之汽笛等實驗之。此謂之都卜勒原理。

今將此原理一研究之。先設發音體  $S$  為靜止，耳  $O$  以速度  $v$  近之，則一秒後耳進至  $OO_1 = v$  之  $O_1$  處。設音速為  $V$ ， $SA = OB = V$ 。當一秒之始，來至耳  $O$  之波，至一秒之終即達於  $B$ ；而  $OB$  中即含有發音體之振動數  $n$  之波。但耳在一秒之終時已達於  $O_1$ ，故通過於耳之波為  $O_1B$  中所含有之數。即耳



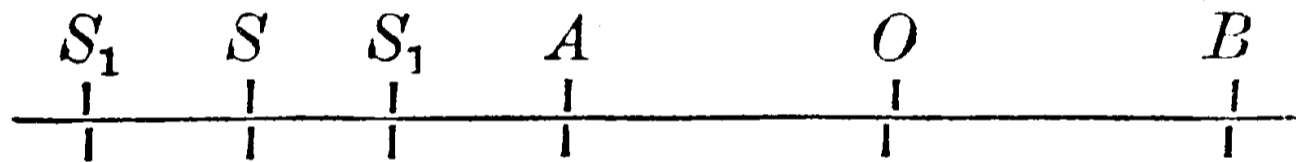
所聞之振動數  $N$  爲

$$N = n \times \frac{O_1 B}{SA} = n \frac{V+v}{V} \text{ 每秒}$$

若耳以  $v$  之速度離  $S$  而遠時，同樣計算

$$N = n \frac{V-v}{V} \text{ 每秒}$$

次言耳爲靜止而發音體移動之場合：設發音體以速度  $s$  移動，當一秒一始發音體在  $S$  處，至一秒之終，達於  $SS_1 = s$  之  $S_1$  處。從而， $S_1 A$  中即含有  $n$  個之波。此所含之波達於  $O$  處，故



耳所聞感之振動數  $N$  爲

$$N = n \times \frac{OB}{S_1 A} = n \frac{V}{V \pm s}$$

可知無論在何場合，耳與發音體之距離，相近則聞音覺高，相遠則聞音覺低。

1842年，都氏應用彼之原理使適合於光，謂發光體對於觀測者相近或相遠時，則光亦應有變化。1848年，菲左氏謂此種關係亦當予光譜線以變化。1868年，英國之后金司 (Huggins 1824—1910) 氏實驗成功，得知近星之氫譜線較自氫素管所發之線有向紫色線方面移動之事。根據此種移動之測定，即決定星之視線運動之理也。

## 七 繞射光柵

光譜之作法有二：一爲由稜鏡 (Prism) 以生分散光譜之方法；一爲由光柵 (Grating) 以生繞射光譜之方法。前者爲克希荷夫氏及本生氏所用，後者爲夫牢因和斐氏及都卜勒氏所用。光柵製造技術之進步，係波美那利亞之羅卜 (Nobert 1806—1881) 氏所完成。1868年埃斯特稜 (Ångström 1814—1874) 氏用彼之光柵以測光之波長，並發表其成績。美國之刺得福 (Rutherford) 氏，對於光柵之製造，特有興趣，在1863至1867年間，造成較羅卜氏者更優良之光柵。至現時最優良之光柵，乃羅蘭 (Rowland) 氏所創製；彼爲製作刻度器械，耗一載之苦心，方作成在一毫米中刻劃 4800 等分之刻度線。彼用以製凹光柵，而作太陽光譜之大攝影，乃能創立標準波長之系統。並由太陽光譜中各線波長之測定，化學元素遂被決定。

用此方法以測定各種色之光之波長時，則光因色之不同而具各異之波長之事，即易了解。此即光之色之區別，由於波長不同之結論所由來也。茲舉數種之色之光之波長如次：

光 色	光 線	光之波長 (微米 = $10^{-4}$ 釐米) micron
暗赤	夫牢因和斐 A 線	0.7604
赤	氫所出之赤線即 C 線	0.6563
黃	鈉所出之黃線即 D 線	0.5893
綠	E 線	0.5269
青	氫所出之青線即 F 線	0.4861
藍	G 線	0.4307
紫	H 線	0.3963

繞射光柵 (Diffraction grating) 之原理，係楊氏所說明，茲述其大概如次：

起於水面之波或音波電波等，皆能紆迴障礙物而達於其

背後，依惠更斯原理言之，此當然之理也。稱此種波動紆迴於障礙之背後而行之現象，謂之波動之繞射(Diffraction)。

光若為波動者，此理自不待言。若為所謂直進者，則決不能在障礙物之後發生顯明之影而呈現此繞射之現象。但據精密觀察，認為光亦有與其他波動相同之繞射現象。假定光為直進，因其波長甚小，自各方繞射而來之光，發生重合，則由干涉而消失，其結果殆與不生繞射相同，此在理論上亦可得而證明者也。精密言之，出現於障礙物之後之光影，實際上亦顯然非幾何學的，而係向內方相當紆迴者也。

障礙物能否遮隔波動，視波長之大小而異。波長大者，必大障礙物方能遮隔波動；反之，波長小者，雖最小之障礙物亦能遮隔之。從而認視波長極小之光之繞射必須有極小之障礙物，繞射光柵即用以明白認視光之繞射之裝置，一面亦即繞射之主要應用也。此種裝置，係在玻璃或金屬板上割以每釐米數千條平行且等距之細線；自平行於此細線之細隙，引入光線，與之相值，則可見其通過或反射之光，除向通常之通過或反射之光之方向進行外，另在與此方向成若干角度之方向上，亦有以顯著之強度而進行之光。

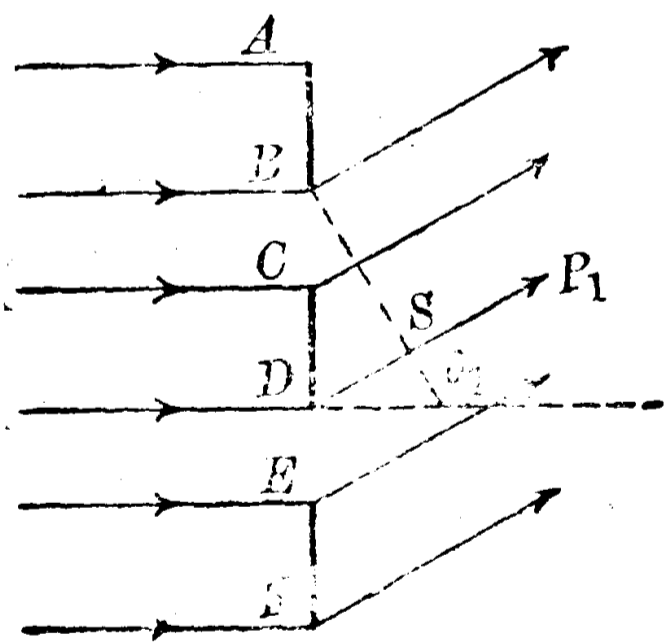
應用此種繞射光柵可以計算光之波長。如圖， $AB$ ， $CD$ ， $EF$  等，示細線之寬， $BC$ ， $DE$  等示細線之間隔。平

行光線依矢向入射，則光於直進而進外，更行繞射而進。今

$$AB = CD = EF = a$$

$$BC = DE = b$$

$$\therefore DS = (a + b) \sin \theta_1 = \lambda$$



( $\lambda$  爲所用單光之波長)

試察向滿足上項關係之  $\theta_1$  方向繞射而來之光，在受到此等光線之點  $P_1$  上，其徑路以  $\lambda$  之差相重，故相助而在此處發生明線。同樣

$$(a+b) \sin \theta_2 = 2\lambda$$

在滿足上項關係之  $\theta_2$  方向生第二明線上通常爲

$$(a+b) \sin \theta = m\lambda \quad (m=1, 2, 3, \dots)$$

在  $\theta$  之方向上現出明線。

設一釐米間所刻度之細線爲  $n$ ，則

$$n = \frac{1}{a+b}$$

故在第一明線，

$$\lambda = \frac{\sin \theta_1}{n}$$

在第二明線，

$$\lambda = \frac{\sin \theta_2}{2n}$$

通常爲

$$\lambda = \frac{\sin \theta}{mn}$$

觀上式，可知  $\lambda$  大時，則所示發生明線方向之角  $\theta$  亦大。從而，用如日光等之複光時，因光之色不同，繞射角亦異；故在此處即現出一種之光譜，所謂繞射光譜 (Diffraction spectrum) 矣。用分光鏡觀察此繞射光譜，測其繞射角  $\theta$ ，則任何之色之光之波長，即可用上式以計算之。

## 八 紅外線與紫外線



太陽之光譜，亦擴張自赤線至紫線間之可視部分以外，此事係赫瑟爾氏所發見。彼於 1800 年在赤線外部發見太陽之線。據彼實驗，太陽光譜中，熱之分布不等，以在赤線外方為最大。彼並說明，太陽之熱，依反射折射定律，由線而起；又輻射熱由含有折射率有不同之線而成。

列脫 (Ritter 1776—1810) 與武拉斯吞二氏，於紫線外部發見具有化學作用之線。

麥羅里 (Melloni 1798—1854) 氏於 1850 年發表關於輻射熱之研究。彼據福羅倫斯之羅比尼 (Nobili) 氏所發明之熱電溫度計，作進一步之研究，確定由赫瑟爾氏所認知之事實。彼並稱熱線之種類為熱之色。

為欲證明光與熱相伴而行，1866 年完成，捕集發自月光之熱之事。並行檢查固體及液體之透熱率。同時，丹道耳氏更從事於氣體透熱率之檢查。丹氏對於磁性體之研究亦頗有名。

## 九 輻 射

輻射 (Radiation) 能之知識，為潘雪爾凡尼亞之朗萊 (Langley 1834—1906) 氏所開發。彼於 1881 年發明測輻射熱計 (Bolometer)，此乃依據電之抵抗因溫度而異之事實用白金細線製成之溫度計也。此計可測至攝氏  $10^{-7}$  度之變化。彼應用此器，測定來自太陽之最大之熱，不在如赫瑟爾氏所主張之赤外部而為橙色部。並測知月之溫度決不在零度以上，又螢之光為冷光云。彼復探究太陽所發之赤外線，知其範圍竟擴至波長 0.003 毫米。自地球輻射之赤外線認為擴達波長 0.03 耗。

太陽所發之紫外線，係列脫及武拉斯吞二氏所發見，後由



俾奧氏作種種之研究，得知玻璃能吸收此線，而水晶則通過之。

### 一〇 天然色攝影及活動攝影

攝影術發明未久，天然色攝影術亦即從事研究。最初努力者，係化學之方法，雖能攝製，但經光即消。第二法：係採攝影物體透過三個原色器而得之光，映於三個無各別之色之陰畫上，作成三個無色之陽畫。次染以相當於攝製陰畫時所用之光之色。再將此三枚陽畫相重透過光線，即呈天然色矣。此法，在英國馬克士威氏所暗示，在法國為克羅(Cros)氏所暗示，又同時由哈龍(Hauron)氏於1869年發明。後由左尼(Joly)氏改良而成。第三法為巴黎之尼蒲曼(Lippmann 1846—1921)氏所發見，此乃應用光之干涉之理者也。

活動攝影，係先由英人格林(Greene)氏創作連續之軟片，後由美人愛迪生(Edison)氏完成者。蓋係利用眼之光感在刺激停止後仍能持續些少時間之作用也。

### —— 以太

十九世紀之物理學者，對於光之介媒質即以太(Ether)之存在，已深信其在物質之存在以上。但在說明其確實之性質時，感有種種困難。夫累涅爾氏及楊氏，於說明極化光時，決定光為橫波，因此非認為以太必係彈性之固體不可。若認為係如空氣等彈性之流體，則除縱振動外不起他種振動也。

然則對於星之運動何以無礙乎？

夫累涅爾氏研究光之行差(Aberration)問題時，謂解釋以太為絕對靜止之物，與地球之運動無關，似為適當。而1845

年英國康橋之斯托克 (Stokes 1819—1903) 氏則謂遠離地球之處以太為絕對靜止，但在地球之附近者，則附隨地球之運動而亦運動云。

1881年，邁克爾遜氏試行解決此問題之實驗。當時未能證明以太之運動，後於1887年，完成其與慕黎 (Morley 1838—1923) 氏所作之有名實驗，示明能媒伴隨地球運動之結果。此實驗也，使當時之物理學者，仰天驚嘆。從而，至二十世紀乃有愛因斯坦之相對性原理 (Theory of relativity) 之出見。

## 第三章 熱 學

### 一 熱 質 說

承打破熱質說(Caloric theory)之先陣者，美國之湯蒲遜(Thompson 1753—1814)氏，龐佛爾(Pumford)之伯父也。彼於1798年發表摩擦生熱之研究謂摩擦熱之源實無盡藏，此即熱非物質而係運動之證據也。然此說亦被埋沒半世紀以上，無人顧及。1799年，大衛氏實驗在冷至零度以下之真空容器內，摩擦二片之冰而融解之，因謂熱乃分子運動之結果。本世紀之初，熱之非物質論者，除上述二氏外，惟楊氏一人而已。

### 二 精密溫度計

1822年夫勞求古(Flaugergues)氏發表玻製水銀溫度計之零點之變化。愛拉之維伯(Wiebe)及斯可脫(Schott)二氏，從而製造零點變化較小之玻璃。其後，白金溫度計亦被改良；此計零點之變化甚小，所示之溫度，亦極為正確；故為精密測定上所推賞焉。

### 三 氣體之定律

十九世紀之初，物理學者對於氣體定律，孜孜研究。如今日所知之氣體定律，即係法人查理(Charles 1746—1823)氏所倡導。彼對於輕氣球之設計改良亦頗有名。1773年，由彼之

暗示，輕氣球製作成功；孟脫哥斐 (Montgolfier) 兄弟首先升用之。其後之 1802 年，給呂薩克 (Gay-Lussac 1778—1850) 氏亦獨立發表與查氏相同之氣體定律。

氣體之膨脹，係原子假說之創立者道爾頓氏所倡。由彼及給呂薩克氏所決定之氣體膨脹係數，為 0.375。後由確定的研究氣體膨脹之整個問題之里昂之勒勞 (Regnault 1810—1878) 及馬留司二氏決定此值係在 0.366 與 0.367 之間。勒氏並說明一切氣體並非具有完全同一之膨脹係數，又某種氣體在精密上亦有不合於波義耳定律之事云。

#### 四 氣體之液化

法拉第氏自 1823 年以後努力於氣體液化之工作，利用冷劑使  $H_2S$ ,  $HCl$ ,  $SO_2$ ,  $C_2N_2$ ,  $CH_3$ ,  $Cl_2$  等受冷而液化。

1835 年台牢尼 (Thilorier) 氏液化并固化多量之碳酸氣 ( $CO_2$ )。當時稱不能液化之氣體為永久氣體 (Permanent gases)；此永久氣體之名沿用至 1877 年。

1863 年，安德呂 (Andrews) 發見氣體之臨界點 (Critical point)。彼說明永久氣體之所以不能液化者，由於其極界點在極低之溫度也。法人凱立脫 (Caillete) 及日內瓦之畢司推 (Pictet) 二氏於 1877 年行氫，氧及空氣之液化。其方法係利用使高壓氣體膨脹時所得之低溫度以冷卻欲液化之氣體。1898 年，倫敦之杜瓦 (Dewar 1842—1923) 氏製成多量之液體氫，並行氦之液化。杜氏並與佛來銘 (Fleming) 氏共同試驗低溫度下之電阻，謂溫度低下電阻亦隨之減少；若繼續低下至絕對零度則電阻亦必為零云。

氣體在臨界溫度 (Critical temperature) 時使之液化所需

之壓力謂之臨界壓力(Critical pressure)。茲舉數種物質之臨界溫度與臨界壓力如次：

物 質	臨 界 溫 度 (C.)	臨 界 壓 力
氦	-268°.0	2.3
氫	-240°.8	14
氮	-146°.0	35
空氣	-140°.0	39
氧	-118°.0	50
二氧化碳	+ 31°.2	73
阿摩尼亞	+130°.0	115
水蒸氣	+374°.0	317.5

觀上表，可知雖如水蒸氣，苟在 374 度以上即不能液化為水。又如氫，苟不冷至零下 240 度以下，無論如何壓縮亦不能液化也。

## 五 熱 力 學

1824 年，噶爾諾氏企圖在數學上決定自蒸氣機能得若干之功(Work)，因此基礎，熱力學之學問乃與人以最初之刺激。彼初為熱質說之信者，故以熱之動力與流水之動力比較而說明之，但其後則確信熱質說之謬矣。彼亦曾發覺能之常住即能量不滅(Conservation of energy)之觀念，惟確定此大定律者，則係亥布隆之馬伊耳(Mayer 1814—1878)及焦耳(Joule 1818—1889)諸氏也。

馬氏於 1842 年發表能量不滅之論文，惜當時并未引起一般之注意。焦氏對於電學之研究亦為有名之人。1843 年，作一決定熱與功之關係之有名實驗。1847 年，彼將能量不滅予以充分之說明，願世人之不加注意，一如從前。後自湯姆孫

(William Thomson) 氏贊成其說，始漸為科學者所覺知。焦氏在四十年間不絕努力於熱與功之數量的關係，即熱功當量 (Mechanical equivalent of heat) 之實驗。

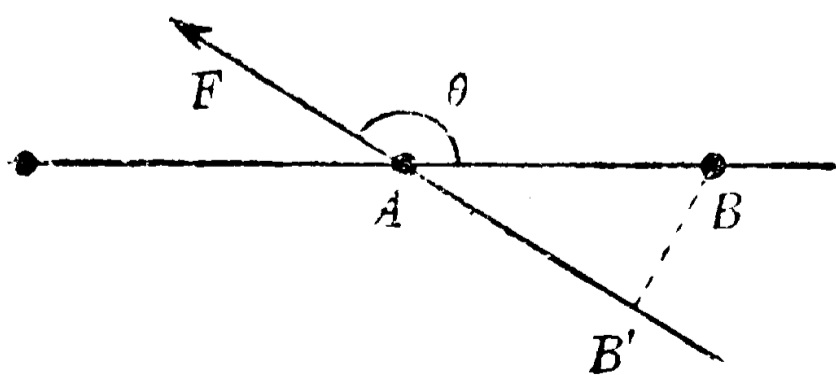
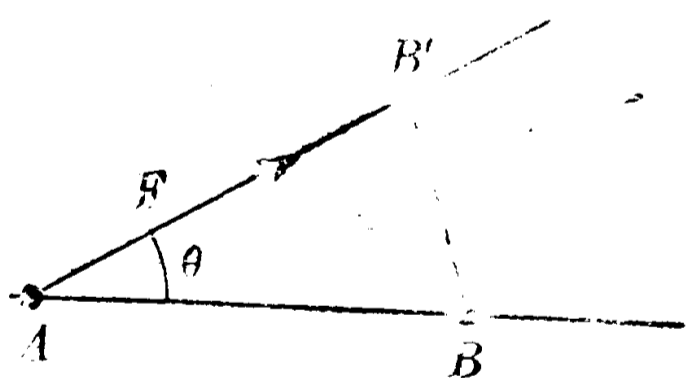
焦氏提出能量不滅定律，同 (1847) 年德國之赫爾姆霍斯 (Helmholtz 1821—1894) 氏亦發表關於同問題之論文。然最初亦無人顧及，1853 年，克勞修氏甚至為文劇烈攻擊之。至能量不滅 (Conservation of energy) 一語係郎肯 (Rankine) 氏所定。

熱力學之第二定律，係克勞修氏於 1850 年向柏林之學士院所提出。彼乃有名之理論物理學者。1851 年湯姆孫氏及其後之愷爾文 (Lord Kelvin) 氏，作成此第二定律之完全證明。彼復於 1852 年公表能之散逸 (Dissipation of energy) 之定律。熱力學遂因湯，愷及古拉司哥之蘭金 (Rankin) 諸氏而大為開發焉。以下試功，能及熱力學作簡單之說明。

## 六 功與動力

一物體受力之作用而動作時，則稱此力對於此物體作功 (Work)，或稱施力之物體對於受力動作之物體作功。今以運動於力之方向上之距離與力之乘積表功之大小。如圖，力  $F$  作用時，若物體自  $A$  移動至  $B$ ，則力  $F$  對於物體所作之功之大小  $W$ ，可如下表之：

$$W = F \cdot AB \cos \theta$$



於此有當注意者，即此係指力在作用時不絕動作而言也。故在自  $A$  至  $B$  之途程中，若力  $F$  並非以方向及大小均不變化之情形以作用，則在此場合，其功之大小，即不可用此式以表之。例如力  $F$  在  $A$  處作瞬間的動作，物體雖移動至  $B$ ，而其力所作之功即不得以  $F \cdot AB \cos \theta$  表之。

用上式以表功之大小，則功  $W$ ，當力之方向與位移 (Displacement) 之方向間所成之角  $\theta$  爲銳角時，其值爲正，鈍角時，其值爲負。如圖所示， $\theta$  爲銳角時，力之方向之分位移，持有與力之方向相同之方向； $\theta$  爲鈍角時，則其分位移持有與力之方向相反之方向。是故，在所謂對於物體作負功時，物體與力相逆，而向力之反對方向移動（如此情形，一般稱此力爲抵抗力）。在此場合，所謂力對物體作負功，亦有稱之爲物體對力作正功者。

更就上式言之。在物體雖受力之作用亦不位移時，或物體不受力之作用而以慣性運動時，則功爲零；即物體毫不作功也。又  $\theta$  爲  $90$  度時，功亦爲零。故在力之方向與運動之方向成直角，或作圓運動之場合，物體不由其力而受功。通常，物體在受力之作用而運動時，作功之力爲變化運動之速之力，至變化方向之力，與功無關。

求功之大小時，若作用之力爲一定，則無論物體運動之通路爲如何，取力之方向之位移與力之乘積即得。若力非一定，則將其通路分爲無數部分，在各部分，視力爲一定，先求各部分之功之大小，而後求其總和。

功有正負，但無方向可言。又在作同量之功時，亦有遲速。通常以在單位時間所作之功之量表之，稱爲功率 (Power)。發動機作功時，亦有稱之爲工率者。



## 七 功及功率之單位

單位之力作用時物體在力之方向上作單位距離運動所作之功，爲功之單位。故決定力及長度之單位即可決功之單位。

用力及長度之單位達因及釐米時之功之單位，曰爾格(erg)，又稱爾格之  $10^7$  倍爲焦耳(joule)，皆學術上所用也。實用單位用力之重力單位而有所謂仟克米(kilogram-metre)呎磅(foot-pound)等名者。仟米克者，相當於使一仟克之物體對重力之方向逆而上行一米時所作之功也。

功率單位，多稱每秒焦耳爲瓦特(Watt)，1 瓦特即每秒作 1 焦耳之功也。實用單位上又稱 1000 瓦特爲仟瓦特(kilowatt)，稱每秒 75 仟克米爲馬力(horse power)而廣用之。又有所謂英馬力者，即每分 33,000 呎磅。或每秒 550 呎磅，相當於 745 瓦特者也。

## 八 能

能(Energy)爲作功之要素。謂物體有作功之可能性，意即該物體具有能也。例如物體自甲狀態變化至乙狀態而能作功時，則稱物體在甲狀態時較之在乙狀態時含有作此功之量之能。故可用功之單位以測能。

## 九 動能

運動之物體能對他物以作功，迄於靜止。稱此功之量爲該物體之動能(Kinetic energy)。

今有質量  $m$  速度  $V$  之運動物體，受一定大小之抵抗力  $F$  之作用而進行，迄速度由  $V$  變爲  $v$  時；試計算該物體對於此



力或作用此力之物體所作之功：

在物體之速度自  $V$  變為  $v$  之時間內，命物體運動之距離為  $s$ ，應用前述落體運動時所得之式，則

$$v^2 = V^2 - 2as$$

$a$  係表此時之加速度之大小，在運動定律中，其相當之值為

$$F = ma \quad \therefore a = \frac{F}{m}$$

以之代入前式，則

$$v^2 = V^2 - 2\frac{F}{m}s$$

命此時物體所作之功為  $W$ ，則

$$W = Fs = \frac{m(V^2 - v^2)}{2}$$

故該物體至靜止時，即  $v = 0$  時所作之功，易言之，即該物所有之動能  $E$  可用次式表之：

$$E = \frac{1}{2}mV^2$$

例如求質量一仟克速度每秒五米之運動物體之動能，為

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 500^2 = 12.5 \times 10^8 \text{ 爾格} \\ &= 12.5 \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

上之計算，係就抵抗力為一定而言。若抵抗力為有變化者，可分之為若干小時間，視為每一小時間內之抵抗力為一定，仍用上式計算，而後求其總和。此與途中種種變化之速度無關，仍得與上相同之結果也。

## 一〇 勢 能

相互行力之作用之物體羣，當變換其相互之位置時，對他

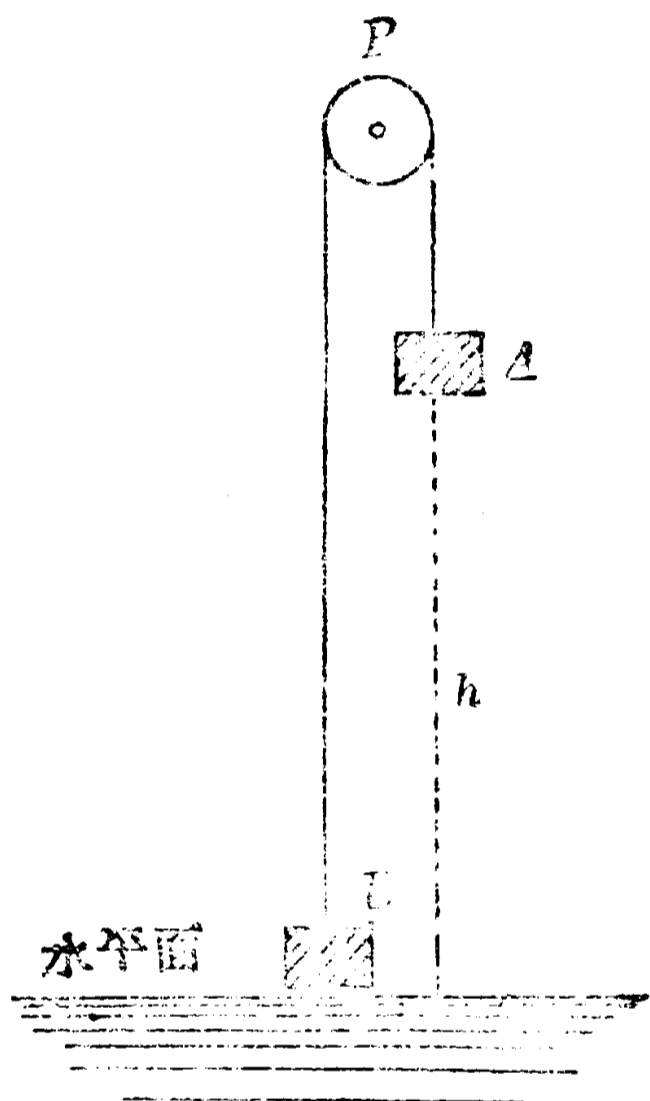
物可以作功。即相互之位置發生變化時，則物體羣具有之能之量亦即不同也。物體羣自某一相互位置迄可以作為標準之相互位置行變位時，稱其對於他物所能作功之量為在該位置之物體羣之勢能(Potential energy)。

地球上之物體皆與地球互相吸引者也，故物在高處時與在低處時所具之勢能不同。今以物體在水平面上時為標準之位置，有一質量為  $m$  之物體在水平面上  $h$  之高處，試計算此時該物體所具之勢能：

將在  $h$  高處質量  $m$  之物體  $A$  以繩結之，掛於滑輪  $P$  上，繩之他端結於在水面上質量與  $A$  相同之物體  $B$ 。於是自他方加速度  $V$  於  $A$ ，則  $A$  以繩引  $B$  而上， $A$  則向下。迄  $A$  達水平面時，即將  $B$  逆重力  $g$  引上至  $h$  之距離。故  $A$  對於所謂他物體之  $B$  作成  $mgh$  之功。至最初所加於  $A$  之速度  $V$ ，與

上述之功無關。何則？蓋  $A$  與  $B$  質量相等，故就以  $A, B$  為一體言之，因彼此之力互相平衡（繩之重量略而不計），最初加以速度  $V$ ，則  $AB$  依慣性定律以此速度作等速度運動，迄於終止。即最初加於  $AB$  之動能迄  $A$  達於水平面時係一儘保存者也。是故，距水平面高  $h$  質量  $m$  之物體，其所具之勢能為  $mgh$ 。

伸縮或彎曲彈性體時，較其原來狀態，含有關於彈性之勢能。張弓放矢，係利用弓之勢能。又如卷縮時計之彈簧條而置之，亦即貯藏此種之能於其處也。



## —— 能量不滅定律

上述之動能及勢能之能，稱爲力學能(Dynamical energy)或機械能(Mechanical energy)。

物體於發生勢能之力之外不受他力之作用而運動時，無論在何場合，動能與勢能之和皆一定不變。如上例所述，距離水平面高  $h$  質量  $m$  之物體，含有  $mgh$  之勢能。今僅以發生此勢能之重力之作用使其自由落下而向達距離水平面高  $s$  之處時，則其時之速  $v$ ，即物體自由落下之距離  $(h-s)$  也。故

$$v = \sqrt{2g(h-s)}$$

此時，物體之動能  $E$  爲

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = mg(h-s)$$

又所餘之勢能之量  $P$  爲

$$P = mgs$$

而其總和爲

$$P + E = mg(h-s) + mgs = mgh$$

結果與最初之場合同量。

又物體落至水平面時，

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = mgh = P$$

此時勢能全失而代以同量之動能矣。

若物體於發生勢能之力之外亦受力  $F$  之作用而運動時，則物體之動能與勢能之總和，即增入力  $F$  對於該物體所作功之量者也。又某物體  $A$  對於他物體  $B$  作功時，則  $A$  方減少功量之能， $B$  方增加同量之能。

以上係就力學之能而言也，他如隨熱，光，聲，電，磁諸現

象及化學變化所生之能等，皆係由自然界之種種現象，自一種變為他種，或自一物體移於他物體耳。某種類之能消失時，必有他處發生他種同量之能，宇宙間之能之總量決無變化也。此謂之能量常住定律(Law of conservation of energy)或能量不滅定律。

## 一二 機械與功

力學上所稱之機械，係指使作用於物體之力發生合於目的之適當變化之裝置也。

機械有種種之形式，其構造亦多複雜，然多種機械大抵由簡單之機械即斜面，楔，螺旋，槓桿，輪軸，滑輪等組合而成。此等原形的機械稱為簡單機械(Simple machine)，由簡單機械組合而成者謂之複合機械(Compound machine)。

機械係利用力者也，非利用功者也，機械所以傳功耳，此之謂功之原理。試將簡單機械一一研究，即可證明之。

傳功之目的，在加力  $P$  於機械一點，使之反抗另一阻力  $W$ ，而表現相當之功。 $P$  及  $W$  同屬作用於機械之外力，但其性質不同也。 $P$  係使機械作功而加之力，稱動力 (Power)； $W$  係機械反抗其作用而作功之力，稱阻力 (Resistance) 或稱重量 (Weight)。命  $p$  及  $w$  表機械因受此兩種作用而在其作用方向上所生之位移，由能量不滅定律，其關係為

$$Ww = Pp$$

阻力  $W$  對於動力  $P$  之比，稱為機械利益 (Mechanical advantage)；以  $A$  表之，

$$A = \frac{W}{P} = \frac{w}{p}$$

多數機械，利益均較 1 爲大，使用之可以小力抗大力作功。但由上式可知動力移動之距離，當較阻力移動之距離爲大。易言之，以動力點之大速度，換爲阻力點之小速度；即力及速度二者之間，有一得必有一失，不可得而兼也。

數種機械，亦可結合使用，其全體之利益即等於各部分利益之乘積。

### 一三 永久運動不能之原理

依能量不滅定律，則自外不供給以能，且自身之狀態亦不變化，而製作可以作功之機械，此事爲不可能。若可能製造此種機械，則可以永久作功矣。此事實，謂之永久運動不能之原理。於此所謂之永久運動 (Perpetual motion) 即永久作功之意也。

### 一四 熱之本性及熱力學第一定律

依熱質說之說，以爲有一種不具重量而具有反撥力之物質稱爲熱質 (Caloric) 者，物體內增加此物質則物體溫度上升，減少則溫度下降。此種假說，對於熱現象亦有相當地方可以說明。例如物體之溫度雖增而其重不變者，因熱質無重量也。物體受熱則膨脹，乃基於熱質之反撥性也。又溫體與冷體相接，因溫體所含有之熱質較多，乃互相反撥，而排入熱質較少之冷體方面，迄雙方熱質之數達於均等而止，此即熱之傳導現象也。然此說對於摩擦熱之現象，頗難解釋。何故摩擦物體則生熱乎？若謂摩擦之即於其處發生熱質則此時之熱質係從全體之何處而來乎？對之即不能與以肯定之說明矣。斯時也，有所謂熱之力學說之發表，對於此摩擦熱予以充分之說明，同時將

以前之熱質說完全打破。

摩擦物體時，係自外部作功，同時在該物體上生熱。熱之力學說者，說明此現象，謂構成物體之分子因摩擦而增加運動之勢。分子極小，故不能目擊其運動狀況，但若與之接觸，即與有一種感覺，故可斷定熱乃此物體分子運動之能也。加溫於物體，只加分子運動之速，故重量不變。又若運動活潑時，則互相反撥之性亦增，分子之間隔擴張，物體遂形膨脹矣。分子運動較大之物體（即溫體）與其較小之物體（即冷體）相接，則分子運動之能移向於冷體之分子方面，使分子運動之速相等而平衡。其他之熱現象，亦皆得以此說充分說明之。故熱之力學說已成爲一般可信之有力假說矣。

前述之焦耳氏爲使明瞭上述之功與發生熱之數量的關係，曾行精密之實驗。即盛水於適當之容器而拌攪之，測定因摩擦而使水增高之溫度，測算其發生熱；一面，又將作水之摩擦時所需之功，自攪拌裝置方面計算之，而後行比較研究。結果，發見用於使水摩擦所作之功  $W$ ，與其所發生之熱量  $Q$ ，成正比例。即

$$W \propto Q$$

$$\therefore W = JQ$$

第二式中之  $J$ ，若測定功及熱量之單位已所定，則爲一定之常數。功及熱量之單位用仟克米及仟克卡（Kilogram-calorie）時，實驗上得其值如次：

$$J = 427 \text{ 仟克米}$$

即發生一仟克卡之熱須作 427 仟克米之功也。此值稱爲相當於 1 仟克卡之熱之功當量，簡稱熱功當量（Mechanical equivalent of heat）。以 C. G. S. 系統單位換算之，則

$$J=4.19 \times 10^7 \text{ 爾格} = 4.19 \text{ 焦耳}$$

焦耳氏之實驗，單可解明由功生熱時之關係；後更由亥爾因(Hirn)氏研究由熱作功時之關係，發見用熱機關於作 427 仟克米之功時，所消費之熱為 1 仟克卡。

由此，熱與功之間之關係，乃完全明白。熱力學第一定律實即明示此間之關係者也；可如次表之：

‘為生熱而耗功時，發生熱與其功量成比例。為作功而耗熱時，所作之功，等於發生此熱所需之功’。

此定律係表示熱之與其當量之功之發生(或不消費)及消費(或不發生)者也。若視熱為能之一種狀態，即得以能之不滅表說之。

### 一五 熱力學第二定律

熱力學第一定律，不過將能量不滅定律適用於熱能耳。此之第二定律，則係熱所特有之定律，關於能之變態移動之方向之重要定律也。

熱可不受何等之助自溫體移向冷體，且時時不絕移動，此明顯之事實也。以動能勢能為始，各種之能，皆能不自他方受何等之作用，全部變化為熱。但在反面，熱自冷體移於溫體，非簡單所能行，即冷體之熱，若不受外力之作用，決不能移至溫體。此即熱力學第二定律也，據克勞修氏之說明，熱若不含有他方之何等變化，決不能單獨自冷體移至溫體。

由此定律之結果，則知將熱之全部利用於功之事，為不可能。若可以利用其全以作功者，則可將冷體之熱全部變而為功，用此功以摩擦溫體而生熱，供給於溫體；如此，則熱可以自他方受何等之變化自冷體移至溫體，而與第二定律相反矣。



利用蒸氣機關，由熱之作用使水變爲蒸氣，推動活塞(Piston)而作功。但若將水儘意變爲蒸氣，則功不能繼續進行。故非將其導入冷卻器使其冷凝不可。易言之，由熱源所供給之熱，大部分徒向冷卻而去，其用於作功者實不過一部分耳。

### 一六 能之散逸

據熱力學第二定律所示：熱不受何等變化而由溫體移至冷體；又作功所利用之能，全部皆變化爲熱。故熱不能單獨由冷體移至溫體；又熱還復其利用於作功之能，不過爲其一部分。可知用於作功之能，其量漸次減少，理至明顯。從而，宇宙間所有之能將悉變爲不能恢復而含於同溫度物體中之熱。能之全量雖不變，然不能用之以作絲毫之功，終令世界成爲不能活動之死物矣。宇宙間之能，向此方向變化之事，謂之能之散逸(Dissipation of energy)。

是故，熱乃各種能中最劣等者也。



## 第四章 原子及分子

### 一 原子說

紀元前 400 年前後，德謨克里賓斯氏已具有原子(Atom)之觀念；在羅馬時代，盧克里蕭氏亦已抱有物質為牢固不可再分之同樣部分組合而成之見解。迄十七世紀，加生狄氏推定物質之單量的運動，虎克氏宗之。十八世紀，柏勞里 (Bernoulli) 氏更進展其說，在其 1738 年之論文中，說明氣體之彈性基於原子之衝突，並謂原子係球狀剛體，用以說明氣體之關係。

次之，道爾頓氏確定原子假說，惟當時係認原子為剛體者也。一定元素之所有原子，皆有同一之重量，異元素之所有原子，其重各異。此時並有少數學者研究原子之彈性，只以此假定太為複雜，故遭排斥。然彼等以為當剛體原子衝突之際，有動能之消失；又原子羣之動能，因內部衝突而減少；此在實際上適亦相反耳。

### 二 分子

物理學者為解決剛體原子說之困難，乃謂構成物質之最小部分非為原子而為所謂分子(Molecules)之原子之結合體。

十八世紀所用之分子一語，意義頗形曖昧。1811 年，初由亞佛加德羅 (Avogadro 1776—1856) 氏區別分子與原子。1868 年，化學家羅斯皋 (Roscoe) 氏並為分子下定義曰：分子者，化

學物質之最小物即原子之羣也。馬克士威氏以爲將區別所謂物性之物(即分子)更行割分,則其部分(即原子)在分子內之情形,一部分爲迴轉,一部分爲振動。彼並謂原子固亦爲剛體,分子則不然,而係彈性體。克勞修氏宗之。

分子爲完全彈性體而互相衝突,此觀念爲氣體分子運動說之重要目的。馬克士威及克勞修二氏對於分子運動說促成急速之進步。以下就物質之構及分子運動等略爲說明之。

### 三 物 質

爲物理學研究之主體所謂物質(Matter)者係指其全體爲如何之物乎?對於此物質之定義,可言之如下:

‘物質者,佔有空間之一部,由吾人之感覺得確知其實在者也。’

此乃以物質之通性中之所謂廣延性(Extension)爲基礎所立之定義也。因有此性質,故二物質不能在同時佔有同位置,因有所謂物質之不可入性(Impenetrability)。

據此定義,即易下物質之判斷,但實際上亦有非若是容易者。例如依吾人感覺中最廣用之視覺而判斷之實在而言:若幻想中之幽靈,有時雖若見之,但不能稱其爲物質也。幽靈有無實際,即屬疑問,此外猶有例在。若沙漠或靜海上之蜃樓海市,固明明認知其存在者也,及近至其所,則又形跡全無矣。此因其並非物質,不過爲起因於光之折射之一現象耳。是故,視覺亦不可作絕對之信用也。聽覺,嗅覺,固無論已。然則,將何所據以認定物質之存在乎?是則以觸覺之判斷爲最可信也。以手觸之,知其存在,可無疑也。從而,在上述定義中,由吾人之感覺一語,寧易以由觸覺之爲當也。或者曰:空氣不能用手觸之,

可謂空氣非物質乎？曰：此因觸法之不良故不能以手答之也。試將空氣盛入袋中而觸之，則其存在乃得明認矣。只成爲困難者，即對於人間之手所不能達之天體方面是也，斯則除利用視覺外別無良策。此方面物質之判別，亦惟有委之於專門家，自種種方面檢證之，以判斷其是否。至若月之暈，彗星之尾等，是否物質，又非若是容易斷判者矣。

至於所謂物體(Body)者，則係指特別注目於物質之大小形狀而言之意也。

#### 四 物質之構造

據物體之可分性(Divisibility)，可以想像構成物質之最小質點。分子說(Molecular theory)即係以此爲根據之關於物質構造之有力的假說也。關於物理化學之諸現象，據此說甚易說明，且可使其歸於統一。

分子說之要義，即說明物質皆由所謂分子(Molecule)之微粒組織而成。就其構造言之，可以想見分子與分子之間必有相當之間隙。任何物體，加以壓力，皆可以減少其若干體積，此即減少間隔之結果也。溶解固體於液體中時，體積並不增加，此亦說明有分子間隔之一事實也。

分子之間，皆有引力，因此引力，乃有凝集力附着力等賦與物質。又化合作用亦由於分子間之引力而起。分子間雖有引力，並不互相密着，似若矛盾，但決非不可思議之事也。例如地球與太陽雖有引力作用，亦決不密着，而地球則運動於太陽之周圍。分子之間，亦係如此。分子無論爲固體，液體或氣體，皆在運動之中。

分子之間有引力，已言之矣。作用於分子間之力，非僅引

力也，亦有斥力。惟在分子非常接近之時，引力較斥力為大，故互相吸引。且此種之力因物質不同而強弱亦異。是故分子力與萬有引力不同，可謂係由電力而起。

據此假說，可知物體具有由分子與分子之間之引力所生之勢能，又由分子運動而生之動能亦有保存焉。熱，可謂為此分子之動能。實際上熱能亦有增加分子之間隔，變為勢能而貯藏之者。物體受熱時，溫度上升，表示分子運動之活潑，體積膨脹，表示勢能之增加。又物質在熔點或沸點時，吸熱而溫度不增，此即吸收之以成此勢能耳。惟在氣體，可認為熱係全部成為分子之動能也。

要之，物質具有不連續性（即多孔性 Porosity），為物質要素之分子之有運動就溶解（Dissolution）擴散（Diffusion）布朗運動（Brownian motion 即不可溶之質點在液體中因受分子之打擊而起之運動現象）及其他化學的諸種作用，皆得推定之。其在今日，對於分子之觀念，已脫出假想之範圍，亦可推知其為實在矣。分子之大小及質量，亦可推定。分子一般係由原子所構成；但在結晶體，則不認其為分子，謂由原子直接組成。又原子係由電子（Electron）構成，即物質乃係起源為電之物。凡此種種，俱俟後章詳論之。

## 五 物質之三態

物質可因分子集合之形式分為固體（Solid）液體（Liquid）氣體（Gas）三態。

固體者，分子之結合極為強固不易受外力作用而變化其形體者也。理論上之假想，對於各分子之相對的位置全然不受外力作用而變化者，特稱之曰剛體（Rigid body）。固體在多

種場合常以剛體視之。又有加以外力則變其形體除去外力復歸原樣者，特稱爲彈性體(Elastic body)。

液體者，分子之結合比較弛鬆，形狀之變化極爲自由，體積之變化則不容易。

氣體者，分子之間，毫無束縛，分子各得自由運動者也。瓶中之氣體，去瓶塞而置之，則自然擴散而去；又氣體中常有臭氣之嗅，此即證明氣體分子運動之事實也。是故，氣體之外部若不加以限制，其形狀及體積皆無一定。

## 六 質 量

質量(Mass)者，物質固有之量，亦即可以表示物質之多少之量也，質量之問題在如何以數量表示物質。是即取適當之標準量爲基礎，用其倍數以比較物質之多少耳。取何法以比較二質量乎？若爲同種物質可以其體積比較之，但在異種之物質則不能若斯簡單行之。

依吾人之經驗，加一定之力使靜止之物體運動，或使運動之物體靜止時，即一般所謂變更物體之速度時，隨物體之不同而有難易。此即所謂物質之慣性(Inertia)，得用以比較物體質量之多少。吾人通常基於此種事實而應用之質量，謂之慣性質量。其具體的比較法之改革，當於後說明之。尙有對於慣性質量而稱之電磁質量，此與本書之範圍相離過遠，姑略而不述。

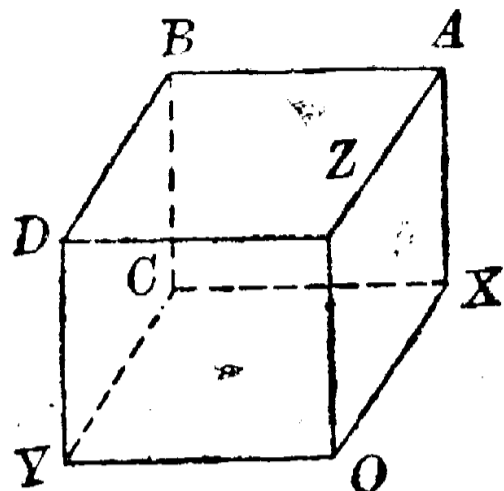
## 七 氣體之壓力

氣體分子自由向任意方向運動時，不僅分子互相衝突，其在容器中時並衝突容器之壁，而與以衝突壓；此氣體壓力

(Pressure)之起因也。

氣體之壓力為何乎？試就氣體分子運動說 (Kinetic theory of gas) 方面計算之。

設於一釐米立方之容器中，有  $N$  個相當於質量  $m$  之氣體分子在內，各分子以各種速度向各種方向運動。分子雖具有種種速度，但其方向不外空間之三要素，即前後 ( $OX$ ) 左右 ( $OY$ ) 上下 ( $OZ$ ) 三種是已。分子



之數甚多，分別向所有之方向運動；但大別之可分為  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  三方向，而各方向之運動分子亦可假定各為  $N$  之三分之一。

試研究在  $OX$  方向上運動之一個分子。設其速度為  $v$ ，又此分子與其他分子無關係，自  $O$  至  $X$ ，進行一釐米，其時間為  $\frac{1}{v}$ 。至  $X$  時，因受器壁  $XABC$  之阻當，又以同速度  $v$  歷時間  $\frac{1}{v}$  而返於  $O$ 。一來復之時間為  $\frac{2}{v}$ ，故一秒間衝突於器壁

$XABC$  之次數為  $\frac{v}{2}$ 。最初去時，分子具有之運動量為  $mv$ ，返時之運動量為  $-mv$ ；故運動量之變化為  $2mv$ 。又器壁每受分子衝突一次，得  $2mv$  之運動量，一秒間衝突  $\frac{v}{2}$  次，故一秒間器壁所得之運動量（依力學之定義，此必為器壁自一個分子所受之壓力）為，

$$2mv \times \frac{v}{2} = mv^2$$

設器壁  $XABC$ （一平方釐米）由往來於  $OX$  方向之  $\frac{N}{3}$  個分子所受之壓力為  $P$ ，分子之平均速度為  $c$ ，則

$$P = \frac{N}{3} mc^2$$

此即表示每一平方釐米所受之氣體壓力之公式也。故氣體之壓力當容器內分子之個數，各分子之質量及運動速度大時，壓力亦大。

### 八 波義耳·查理定律

體積為  $V$  一定量之氣體，含有  $n$  個分子，依上述結果，其每平方釐米之壓力  $P$  為

$$P = \frac{nm\bar{c}^2}{3V}$$

溫度一定，則分子運動之平均速度亦為一定，故

$$PV = \frac{1}{3}nm\bar{c}^2$$

即在一定溫度時，氣體之壓力與其體積成反比；此即波義耳定律 (Boyle's law) 也。

據實驗之結果，一定體積之氣體在溫度攝氏  $t$  度時之壓力  $P_t$  與零度時之壓力  $P_0$ ，其間有如次之關係：

$$P_t = P_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right)$$

從而得如次之關係（設零度時之分子速度為  $c_0$ ，又  $t$  度時之分子速度為  $c_t$ ）：即

$$P_t = \frac{mnc_t^2}{3V} = P_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right) = \frac{mnc_0^2}{3V} \left( 1 + \frac{t}{273} \right)$$

設  $a = \frac{1}{273}$ ，則

$$c_t^2 = c_0^2 a (273 + t)$$

分子所有之熱能為  $\frac{1}{2}mnc^2$ ， $C_0$  因氣體而定，故上式乃表示熱能對所謂  $(273 + t)$  之溫度之比例者也；即

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mnc^2 &\propto (273 + t) \\ &= K(273 + t) \end{aligned}$$



$K$  代表一常數。又命  $R = \frac{2}{3}K$ , 因  $PV = \frac{1}{3}mnc^2$ , 故

$$PV = R(273 + t)$$

此關係稱為波義耳查理定律 (Boyle-Charles' law)。壓力一定時，其體積與溫度  $(273 + t)$  成正比，此之謂查理定律 (Charles' law)。上述定律即係由波，查二定律組合而成者也。據上式，可知一定體積之氣體之壓力，隨溫度之上升而增加，此因增加分子運動速度之故也。又溫度降至攝氏零下 273 度時，上式之右方  $(273 + t)$  為零，若  $P$  為一定，則壓力亦必為零；即此時氣體對於器壁不呈壓力。易言之，即此時氣體分子停止運動而靜止也。分子無動能之場合，即吾人研究之終局，其下之溫度可不必研究。此時之溫度稱絕對零度，以此為基點而計算之溫度稱絕對溫度 (Absolute temperature)。故攝氏零度相當於絕對溫度 273 度。

波義耳查理定律，可以‘一定量之氣體之壓力與體積之乘積，與絕對溫度成正比’表之。

### 九 氣體分子之速度

氣體之壓力，與容器內之分子數，分子之質量及速度有關。設  $P$  表氣體之壓力， $m$  表分子之質量， $N$  表一立方釐米中之分子數， $C$  表分子之平均速度；依前節所述，則

$$P = \frac{1}{3}mNC^2$$

$mN$  之積乃氣體之密度，設氣體之密度為  $\rho$ ，則

$$P = \frac{1}{3}\rho C^2$$

由實驗以測知氣體之壓力及密度，則可由上式以計算分子之平均速度。

例如零度一氣壓時之氫，



$$\rho = 0.00009$$

$$P = 1 \text{ 氣壓} = 1.014 \times 10^6 \text{ 達因平方釐米}$$

$$\therefore C = 1840 \text{ 秒米}$$

同樣以空氣計算，得

$$C = 480 \text{ 秒米}$$

即氫在零度一氣壓時每秒之速度約爲一華里。空氣之速度亦幾與鎗彈相等。溫度增高且更加速焉。

### 一〇 氣體分子之平均自由路程

氣體分子雖若是以極大之速度運動，而吾人並不覺之者，因分子向各各之方向飛行，多數分子，互相衝突，其自由運動之距離遂減至甚小之故也。

分子一次與他分子衝突至又與另一分子衝突，其平均之距離謂之平均自由路程(Mean free path)。茲略爲研究之。

設分子之直徑(視分子爲球狀)爲  $D$ ，而以  $C$  之速度進行，則一秒間所行之空間之廣，無論其行徑如何曲折，皆爲  $\pi D^2 C$ 。在一立方釐米之體積中  $N$  個分子同樣分佈，則上述分子在一秒間行動時所遭遇之分子數，即體積  $\pi D^2 C$  中所含之分子數，亦即  $N\pi D^2 C$  也。進行  $C$  之距離時，僅有上數之分子與之發生衝突；故平均自由路程  $L$ ，以此數除  $C$  即得。即

$$L = \frac{C}{N\pi D^2 C} = \frac{1}{N\pi D^2}$$

知分子之數及直徑，即可由此式計算之。

氣體亦有黏滯性(Viscosity)。氣體之某層運動時，則其隣層被引而動。表示此種引動之程度謂之黏滯係數(Coefficient of viscosity)。在液體或氣體中，假定有二平行之平面，相隔

一釐米。一平面在其平面內對於他平面以一秒釐米之速度運動時，則作用於各平面之一平方釐米上之切線力，即黏滯係數也。此黏滯性，與氣體之分子速度  $C$ ，平均自由路程  $L$  及氣體密度  $\rho$  成比例，可以證明之。速度較大之層之分子，向較小之層進行而生黏滯性；故分子之速度大者，黏滯性亦大。又自由路程小者，因衝突之故，分子之進行速度亦隨之減少，故黏滯性亦小。又密度大者，黏滯性亦大，理亦顯然也。

據研究之結果，知黏滯係數  $\eta$  與  $\rho$ 、 $C$ 、 $L$  間，成立下列之關係：

$$\eta = \frac{\rho CL}{3}$$

依此式，如  $\eta$  為已知，則  $\rho$  及  $C$  據前述關係解之，故自由行程  $L$  可以計算。

例如就零度一氣壓時之氫計算之：

$$\eta = 0.00008$$

$$\rho = 0.00009$$

$$C = 184000 \text{ 秒釐米}$$

$$\therefore L = \frac{3\eta}{\rho C} = 147 \times 10^{-7} \text{ 釐米}$$

又空氣  $\eta = 0.00016$

同法得  $L = 82 \times 10^{-7} \text{ 釐米}$

即氣體分子僅有一釐米之十萬之一左右之空間得以自由進行耳。

### —— 氣體分子之大小數量及質量

分子之直徑為  $D$  時，其體積為  $\frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2}\right)^3 = \frac{\pi D^3}{6}$ 。

今研究一立方釐米之容器研究之，設其中有  $N$  個分子存在。若此等分子全部停止運動而沈澱於容器之底，則其體積僅爲此  $N$  個分子之體積，即  $\frac{N\pi D^3}{6}$  也。此時乃氣體液化之時，故此體積可視爲一立方釐米之氣體液化時之液體體積。無論在氣體時或在液體時，質量均無變化。氣體時之質量，爲氣體之密度  $\rho$  乘以體積之數值 1。液體時之質量，爲液體之密度  $\delta$  乘以體積之數值  $\frac{N\pi D^3}{6}$ 。故

$$\rho \times 1 = \delta \times \frac{N\pi D^3}{6}$$

如前所述，

$$L = \frac{1}{N\pi D^2}$$

以之代入上式，則

$$D = \frac{6\rho}{\delta} L$$

$\rho$  與  $\delta$  皆可由實驗求之， $L$  亦可由前述之法算得，故可由上式以計算分子之直徑  $D$ 。既知  $D$ ，即可由式  $L = \frac{1}{N\pi D^2}$  計算一立方釐米中之分子數  $N$ 。又分子之質量爲  $\frac{\rho}{N}$ ，故亦可算出。

零度一氣壓時氫之上述各值，計算之結果如次：

$$D = 5 \times 10^{-8} \text{ 釐米}$$

$$N = 19 \times 10^{18}$$

$$m = 4.5 \times 10^{-24} \text{ 克(質量)}$$

上之計算方法，雖不十分精密，然此等數值約在如何程度，大體可據此以理解之矣。

## 第五章 電磁學

此世紀可稱爲電氣時代，無論在理論上或應用上，電學之進步，皆足驚異者也。

### 一 電解

加爾凡尼電流及伏特電池之發見以後，尼可遜氏等用低壓電流以行水之電解。1800年西內西亞之列脫氏，電解硫酸銅溶液，將銅析出。倫敦之大衛氏，說明當水之電解之際，發生之氧與氫之體積之比爲一比二。1807年，彼用此方法以發見鈉，鉀二元素。自是以後，電解方法在化學上遂突飛猛進矣。

英國之大物理學者法拉第氏，研究電解，於1834年創立其以人而名之定律。

定律一 在一定時間內，各電極析出之離子量，與電流強度爲比例。

定律二 同一電流通過各種電解質，在同一時間內，各電極析出之離子量與其化學當量 (Chemical equivalent 卽原子價除其原子量所得之商) 爲比例。

利用此定律，測定電解生成物之量，即可測算一秒間平均通過之電流強度卽平均電流。此種電流計稱伏特計 (Voltmeter)。

葛羅塞茲 (Grothuss 1785—1822) 氏對於電解之說明，倡立分子鏈之說。後經種種改良，終於1857年建立克勞修氏之

分離說 (Dissociation theory); 惜此說直至 1887 年前, 迄未被重視耳。

## 二 電池與蓄電池

伏特電池之電動力之泉源, 有種種研究。接觸說 (Contact theory) 爲意人法伯勞尼 (Fabbroni), 柏克勒爾 (Becquerel 1852—1909), 英人武拉斯吞, 法拉第, 德人列脫諸氏所反對, 彼等謂電池之源係化學作用。但德人佛熙萊 (Fechner), 潘干道夫, 歐姆等不贊成之, 仍採用接觸說; 並由涅恩斯特 (Nernst) 氏之論文將接觸說予以確定。以下試將接觸說之大概說明之。

連結伏特電池之兩端於靜電計則生電勢差。夫電在靜止之時, 導體必爲等電勢, 則此時電勢差之現出爲何故乎? 蓋銅與硫酸及鋅與硫酸之各接觸面處, 有所謂接觸電動勢 (Contact electromotive force) 之作用, 陽電自一方移入他方, 陽電所入之方, 電勢增高, 所出之方, 電勢減低, 兩體之間, 遂生電勢之差; 而此電勢之差係與接觸電動勢相平衡者也。從而, 以銅絲連結兩極, 則陽電通過銅絲而流動, 高電勢方面之電勢即行下降, 而兩體之電勢差亦隨之減少; 因此破壞平衡, 接觸電動勢乃起作用將陽電向高電勢方面輸送。但所送入之陽電又通過銅絲移入低電勢方面。故電勢差決不能增至最初未用銅絲連結時以上, 於是電流乃不絕流動矣。

任何二導體接觸時, 即現接觸電勢差。將下列任意二金屬接觸之, 則前方之金屬以正, 後方之金屬以負而各帶電, 其電勢差在列中位置之距離之大者亦大。

鋅, 鉛, 錫, 鐵, 銅, 銀, 金, 炭素, 二氧化錳

接觸電動勢係二種金屬與溫度所特有之性質, 與接觸面

之大小及接觸時間無關，而化學作用與熱作用爲其起因也。是故，雖將二種金屬環結爲輪，不見電流之生；但令接觸部之溫度不同，則兩接觸部之接觸電動勢亦異；而電流亦即流動矣。此熱電流之起因也。

伏特電池，實用上并不適當。因其鋅中之不純物與鋅及硫酸，往往發生局部的小電流，使鋅消耗於無用也。此種作用謂之局部作用(Local action)。且在陽極銅之表面上，常附着氫之氣泡，此物係非導體，殊有礙於電流之通過。因有此二缺點，故使用此種電池，片刻間，電流即逐漸衰弱。實用之電池，爲避免局部作用，將鋅浸以水銀，並用硫酸銅與二氧化錳等以氧化氫之氣泡，使電流容易通過，而增加電池放出之能。

將鋅行汞齊之法 (Amalgamation) 係 1830 年 司土將 (Sturgeon 1783—1850) 氏所實行，電池術上之一進步也。次於 1866 年 倫敦之丹聶爾 (Daniell 1790—1845) 氏發明 丹聶爾電池；1841 年 本生氏 發明 本生電池；又 1867 年 巴黎之勒克蘭社 (Leclanche) 氏有一最優良之電池發明，乾電池即其變形也。

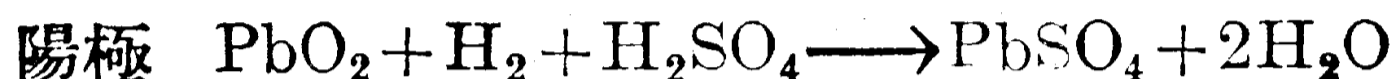
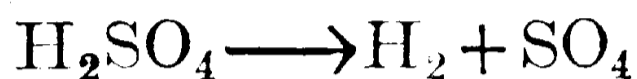
1803 年，列脫氏 說明最初之蓄電池，此即次述用作水之電解器者也。1843 年 格羅夫 (Grove) 氏復加以說明。現時廣用之鉛蓄電池，係 1859 年 柏克勒爾氏 之弟子 伯南德 (Plante 1834—1889) 氏所作。茲將蓄電池一爲說明：

在電解器中，有所謂極化(Polarization)之作用。例如稀硫酸之電解(通常稱爲水之電解)時，白金極板上有氫與氧之氣泡附着，此兩方之泡與硫酸形成一個電池，有一種相反之電動力向電解方面之電動力作用，此現象謂之極化。極化時，除去電池，以導線連結兩極，則有與前成反對方向之電流流出。

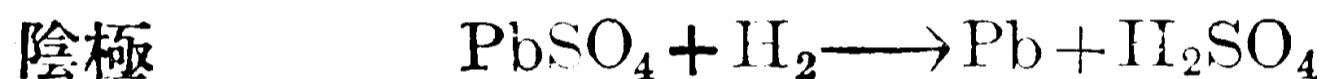
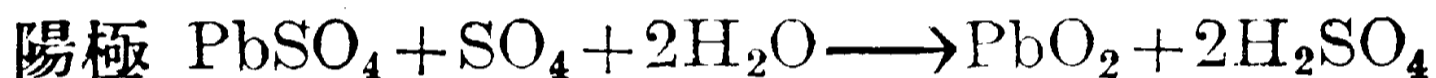
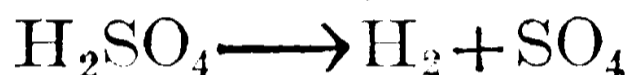
此即以極化之形態以貯蓄電流也。

應用此極化作之電池謂之蓄電池 (Accumulator) 或稱二次電池 (Secondary cell)。此乃在便宜時通以電流而貯蓄之至必要取出以供應用之裝置也。

通常之蓄電池，在稀硫酸中，陽極浸以二氧化鉛，陰極浸以還元鉛；放電 (Discharge) 時之化學變化如下：



起電 (Charge) 時之化學變化如次，成元來狀態矣：



蓄電池之電動力約為二伏特。因其中之內抵抗甚小，故適於獲得較大之電流。又使用時有使電動力不致變弱之特長。惟使用時有當注意者，若放電後即置之不問，則硫酸與鉛作用，生成過剩之硫酸鉛，而此生成物，欲使其回復原狀，殊為困難。故須不絕蓄電，使每個蓄電池之電動力不降至 1.9 伏特以下。

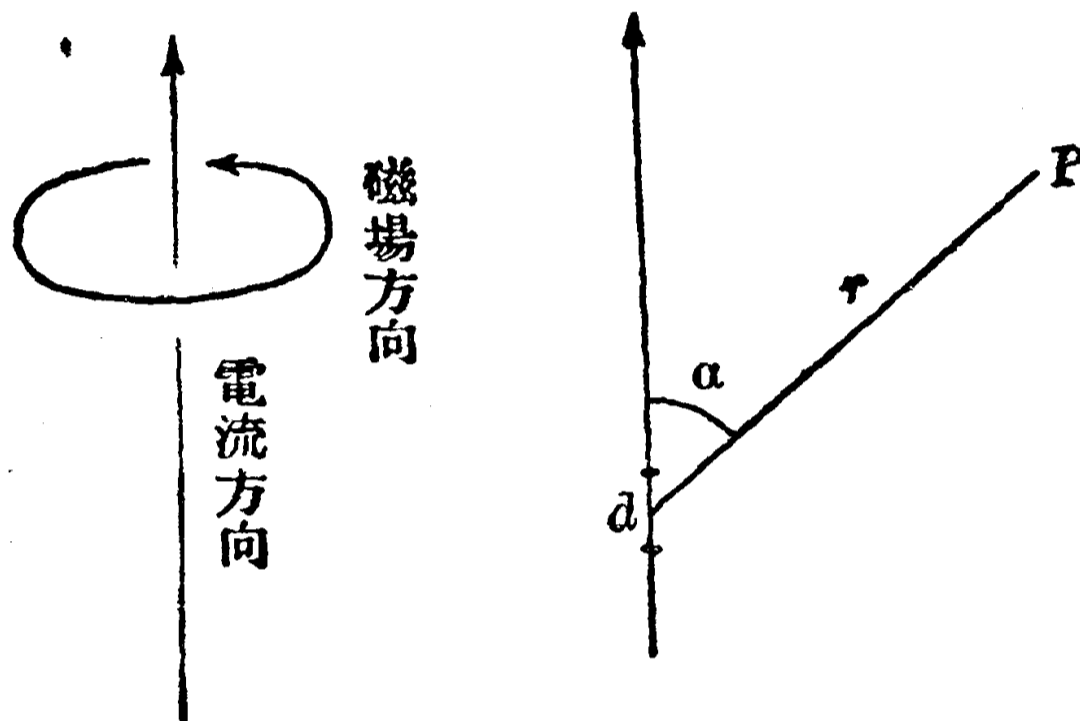
### 三 電流之磁作用

電與磁之相互關係，係 1819 年奧斯脫 (Oersted 1777—1851) 氏實驗後方為世所知。彼發見具有電流之導線能使磁針發生極大之變動。次為里昂之安培 (Ampere 1775—1836) 氏，發見將銅絲捲成螺狀之線圈 (Coil)，通以電流，可以增強磁力；彼並發見電流相互間之力。有名之安培定則 (Ampere's rule)，即關於此種電流令磁石偏向之事也。彼謂地球之磁性

係由流於地球周圍之電流而起云。

關於電流之磁效應，有所謂俾奧·薩發耳定律 (Biot-Savart's law)，述之如次：

定律一 電流之極短部分作用於某點(指極)之磁場方向(正磁極所動之方向)，與包含電流及某點之平面成垂直。如下圖左：



定律二 如上圖右，強度  $i$  之電流之極短部分  $d$ ，作用於  $P$  點之磁場之強(即作用於單位磁極之力)  $f$ ，其關係為

$$f \propto \frac{i \cdot d \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

$$\therefore f = \frac{K \cdot i \cdot d \sin \alpha}{r^2}$$

$K$  為一常數，其值由各量之單位而定。

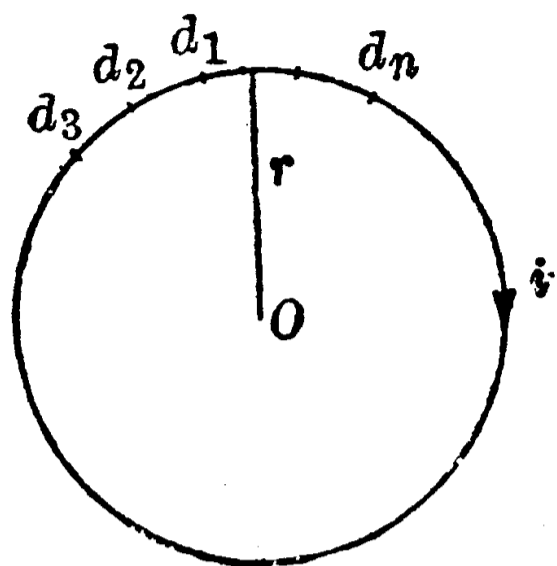
此定律雖不能由直接實驗以證明之，但依此定律之理論所得之結果則頗與實驗相適合。

試用此定律計算以圓形電流為中心之磁場：

上式之  $i$  及  $r$  為一定， $\alpha$  為  $90^\circ$ ，故  $\sin \alpha = 1$ 。分全周為極短部分之  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  各等分；設各部分對於中心  $O$



所作之磁場之相合的磁場為  $F$ ，則：



$$F = \frac{K i d_1}{r^2} + \frac{K i d_2}{r^2} + \frac{K i d_3}{r^2} + \dots + \frac{K i d_n}{r^2}$$

$$= \frac{K i}{r^2} (d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n)$$

$$= \frac{K i}{r^2} \times 2\pi r$$

$$\therefore F = \frac{2\pi K i}{r}$$

圖中之方向，在電流流動時，外方為南極，裏面為北極，所起之作用與磁石板同。若將銅絲密接捲為  $n$  圈之線圈，則其時之中心磁場  $F$ ，即為各式之  $n$  倍也。

在用銅線捲成螺旋形之線圈上，通以電流，則可視為若干磁石板之相重疊，故線圈之全體發生與一磁石相同之作用。在其外部之磁場，與之同形，故可證明磁極之強為  $\frac{A i n}{10l}$  ( $i$  為用安培測定之電流之強， $n$  為圈之捲數， $A$  為其直剖面積平方釐米， $l$  為圈之長度釐米)，而與磁石全等。

此種線圈之內部，實以軟鐵之心以增強磁力者，謂之電磁體 (Electro-magnet)。

正切電流計 (Tangent galvanometer)，安培計 (Ampere meter)，電鈴 (Electric bell)，電報 (Telegraph)，電話 (Telephon)，電動機 (Electric motor) 等，應用此種電流之磁氣作用者甚廣。此等電器械之發明，容後述之。

電流通過之導體，能以力對磁石作用；故其反作用，磁石亦必以力對導體作用。由磁場作用於導體之力，依次述之二定律而作用，可由俾奧·薩發耳定律證明之。

定律一 力之方向與電流之方向及磁場之方向相垂直。

以左手之拇指，食指及中指互伸垂直，若以食指為磁場之方向，中指為電流之方向，則拇指之方向即力之方向也。

定律二  $i$  安培之電流之極短部分  $d$  所受之力之大小  $F$  (設磁場之強為  $H$ ，磁場方向與電流方向所夾之角為  $\alpha$ ) 為：

$$F = \frac{Hid \sin \alpha}{10}$$

電流計中，有所謂達松發爾電流計(D'Arsonval's galvanometer)者。其裝置，係於固定磁石之兩極間懸以線圈。圈於電流通過時，則圈面與磁場之方向成直角而旋轉。另有金屬絲或彈機所生之彈力，與之反對，旋轉達於兩力平衡時而停止。用此旋轉角可以測電流之強，故行精密之測定時，即用此種電流計。

電流有磁力作用，故在一電流之附近置以他電流時，則相互受磁力之作用而生相互作用之力。互相平行之二電流，同方向時，兩相吸引，反方向時，兩相反撥；此容易證明者也。

#### 四 歐姆定律與電阻

歐姆 (Ohm 1789—1854) 氏於 1826 年至 27 年間，完成其有名之歐姆定律。彼變更種種用作電路之導體(即導線)實驗電動力與電流之關係，得其結果如次：

‘流於電路中之電流之強，與作用於其電路之電動力  $V$  成比例。’

即

$$V \propto i$$

或

$$V = Ri$$

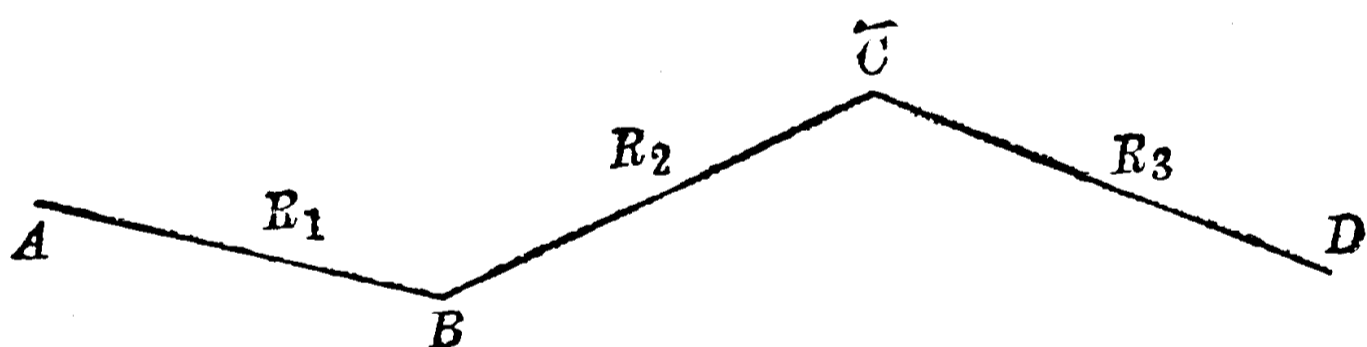
$R$  爲一常數，其值依電路（導線）而定；稱此常數爲其電路之電阻（Electric resistance）。

歐氏乃倡導電動勢（Electromotive force），電流之強及電阻之精確的觀念之第一人也。

顧彼之大發見見知於世人者爲時甚晚，蓋當時對於彼實驗之結果多未深信耳。際此時會，彼乃爲電動勢及電流之強等確立定義。

所謂二點間之電動勢（亦稱電壓 Voltage）者，即在其二點間運行單位正電時由電力所作之功之量也。所謂電流之強者，即每單位時間通過電路（導線）斷面之電量也；實際上，因電流之強與所作之磁場之強成比例，故可用此所作磁場之強弱以決定電流之強。

以下試說明電阻之連結法及其性質。



將具有  $R_1 R_2 R_3$  等之電阻之導線連結爲一系列者，謂之電阻之直列連結（亦稱順結法 Series connection）。此場合之全阻力  $R$  可以各阻力之和表之。何則？試思自  $A$  向  $C$  通以電流  $i$  時，其電勢依  $AB$  之點順次降低；故

$$V_A - V_D = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D)$$

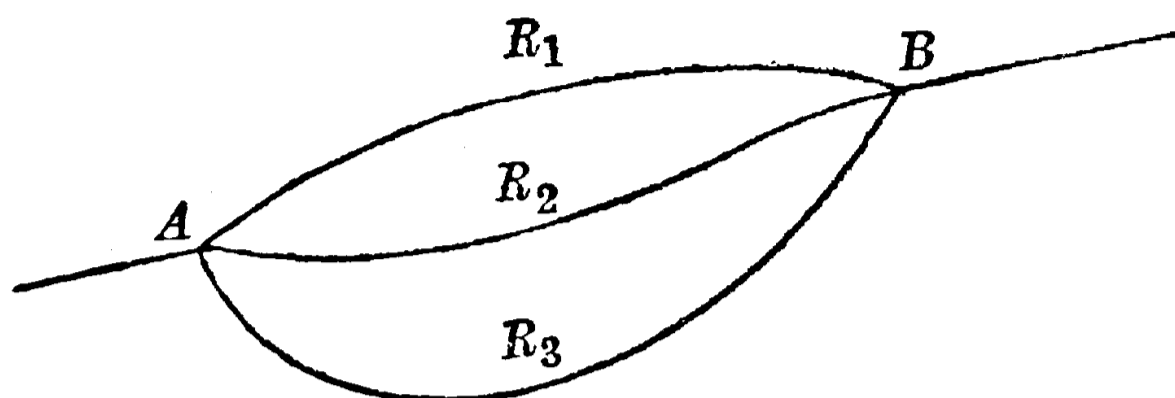
$$\therefore Ri = R_1 i + R_2 i + R_3 i$$

$$\therefore R = R_1 + R_2 + R_3$$

其在將阻力  $r$  連結於  $n$  個直列時，則

$$R = nr$$

斯阻力與電路之長成正比，於此可得而明也。



次法，將  $R_1 R_2 R_3$  等之阻力，一端集於  $A$ ，他端集於  $B$ 。自  $A$  向  $B$ ，通以電流。則此時可視為合若干而為一時之阻力  $R$  將何以表之乎？因電流  $i$  分為  $i_1 i_2 i_3$  等而流動，故設  $AB$  間之電勢差為  $V$ ，則

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$i = \frac{V}{R}$$

$$i_1 = \frac{V}{R_1}, \quad i_2 = \frac{V}{R_2}, \quad i_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

在此種連結，所謂並列連結（亦稱平行法 Parallel connection），其所具之電阻，可視為具有此電阻  $R$  之一條電路也。

其在將阻力  $r$  並列連結為  $n$  條時，則

$$R = \frac{r}{n}$$

斯阻力與電路之廣狹成反比，於此亦可得而明也。

長 1 釐米廣 1 平方釐米之電路之電阻即導線之傳導度 (Consactance), 謂之電阻係數 (Specific resistance)。若以  $\delta$  表此係數, 則長  $l$  釐米廣  $S$  平方釐米之電路之電阻可以  $\frac{l\delta}{S}$  表之, 故物質之電阻種度可用電阻係數以比較之。

電阻復因溫度而異,  $t$  度時之電阻  $R_t$  與零度時之電阻  $R_0$ , 其間有如次之關係:

$$R_t = R_0(1 + \beta t)$$

$\beta$  爲電阻之溫度係數 (Temperature coefficient), 此數在用炭素時爲負值 (溫度上升則阻力減少), 但在金屬則均爲正值 (溫度上升則阻力增加)。茲列舉數種物質  $\beta$  之數值如次:

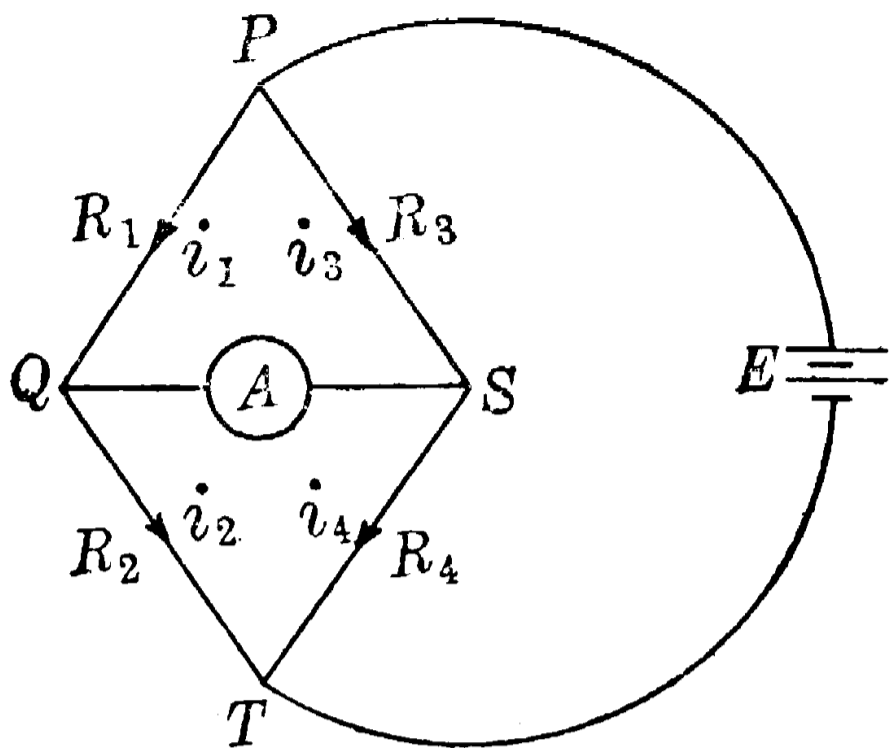
白金	0.0038
銀	0.00400
銅	0.00428
鐵	0.00925
水銀	0.00072
洋銀	0.000273
二氧化錳	0.000000
炭素	0.00052

利用阻力因溫度而變之事實, 可作溫度計。此乃測其電阻以決定溫度者也。如電阻溫度計 (Resistance thermometer) 及白金溫度計 (Platinum thermometer) 等, 用於測定普通溫度計所不能測之高溫度或低溫度。

倫敦之惠斯登氏, 應用在某種範圍內行適當增減電路中之電阻之裝置, 而發明變阻器 (Rheostat)。此乃利用電阻與長度成比例之作用者也。彼 1843 年依所謂惠斯登電橋 (Wheatstone's bridge) 之原理, 發表其精密測定電阻之方法。其原理

如次：

將電阻  $R_1 R_2 R_3 R_4$  之導線如圖連結之，用電池  $E$  向自  $P$  向  $T$ ，通以電流。 $QS$  間置入電流計  $A$ 。若  $QS$  間無電流通時，即可行各種電力之增減矣。



因

$$V_Q = V_S \quad i_1 = i_2 \quad i_3 = i_4$$

依歐姆定律，

$$i_1 = \frac{V_P - V_Q}{R_1} \quad i_2 = \frac{V_Q - V_T}{R_2} \quad \therefore \frac{R_2}{R_1} = \frac{V_Q - V_T}{V_P - V_Q}$$

$$i_3 = \frac{V_P - V_S}{R_3} \quad i_4 = \frac{V_S - V_T}{R_4} \quad \therefore \frac{R_4}{R_3} = \frac{V_S - V_T}{V_P - V_S}$$

$$\therefore \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

四電阻之間有如斯之關係，故  $R_4$  若為未知之電阻，則可用適當增減而得之已知電阻  $R_1 R_2 R_3$  使  $QS$  間之電流恰在停止狀態，則行此等增減時，

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

### 五 感應電流

法拉第氏在實驗物理學上貢獻甚大。1821年，彼與武拉斯吞氏均獨立說明磁針迴轉於電流之周圍之作用。在電解氣體之液化及其他方面，所留之功績亦多。而其最大之發見，則為1831年關於感應電流(Induced current)之現象。

是年八月，彼初次認知：捲於軟鐵上之二線圈，若斷續一

圈之電流，則有瞬息間之電流通過於他圈。因得知電流係由磁石而得之端緒。彼續知令磁石在圈內出入，亦得同樣之電流。1824年阿刺各氏知在磁石之近傍旋轉銅板時，磁石亦生動象，此實驗實亦法拉第之感應電流之發見也。至此，其中神祕乃大白矣。

當英國作成此大發見時，美國之亨利(Henry 1799-1878)氏亦正從事對於電磁學之同樣努力與發見。亨氏乃美國富蘭克林氏以後物理界之大偉人也。

亨氏最初將電磁石加以改良。1820年阿刺各與安培二氏在通以電流之線圈內以磁化鋼針；1825年南加西亞之司土將氏應用之作成電磁體。但亨氏根本改良之，於1829年作成用絹布包裹之銅絲捲於軟鐵心上四百迴而成之電磁體。同年，彼并發見由自感作用(Self-induction)而起之外電流(External current)，此事法拉第氏至1834年始知之也。又感應電流之發見，亦先於法氏一年，即1830年八月時彼已發見矣。彼自1831年以來苦心研求，欲由感應電流以作發電機(Dynamo)。1838年，卒能由感應而得大電壓。1842年研究來頓瓶放電係振動的一事，惟此事實實在1827年時塞凡萊(Savary)氏即已知之矣。而1853年湯姆孫氏不知彼等之早有研究，猶在理論上推論之焉。

1851年，德國之魯謨可夫(Ruhmkoff 1803-1877)氏製作所謂魯謨可夫感應圈，用之在空氣放發二吋之火花，因而有名。但在此以前，美國之培奇(Page 1812-1868)氏於1838年已有同樣物之創製，並於1850年已作成在空氣中發放8吋之火花之圈矣。工業上廣用之變壓器(Transformer)即其後由多數人之改良而成者。

法亨二氏之研究，實造成現代物質文明之基礎，與人類之安樂以莫大之貢獻者也。

## 六 介質作用說

庫侖及其他學者，皆假定電力對於中介物不生影響，而係成遠距離作用者，但法拉第氏則於 1837 年倡立介質作用說 (Medium theory)。彼據電容量之實驗，得知電力因中間物質而異之事，決斷其作用係由於介質之媒介。電及磁之力線 (Lines of force) 一語，即由彼所始用也。於是彼又謂絕緣體 (Insulator) 係感應電氣之作用者，故絕緣體亦可稱感應體或介體 (Dielectric body)；據彼之說，則帶電現象並非起於導體之變化，而為在周圍之絕緣體所起之變化，從而電能乃係含於周圍之絕緣體中者矣。

## 七 光之電磁說

法拉第氏深信光與電磁之間有直接之關係，經數多實驗之結果，遂於 1845 年明瞭偏極化光 (亦稱偏光 Polarized light) 對於通過磁場時使極化面發生變化之事。並預想光譜亦必因磁場而變化。惜當時缺乏精密之器械裝置，故未得實證。其後，始由最曼氏發見之。法氏又於 1846 年得知一切物質皆得成為磁石。同時，知對於鐵，鎳，鈷等順磁體 (Paramagnetic body) 有銻，磷，硫條，人體等之所謂反磁體 (Diamagnetic body)。反磁體之磁化方向與鐵相反，置於強磁石之附近則由之而起反撥。

安培氏以降，關於電之研究，學說蠡起，然對於所有周圍之絕緣體均未之注意也。自法氏倡說以來，始一反前習。更由



倫敦之馬克士威氏，以其特出之天才，對法氏之觀念，在數學上予以開拓，遂有光之電磁波說 (Electromagnetic waves theory of light) 之確立。彼之有名之論文‘力線’，先後於1861及1862年提出，由之以闡論介質中之電之位移。彼並論斷此位移 (Displacement) 係作波動的傳播者也。因此說明此電磁波在真空中之速度與光之速度一致，而建立光為電磁波所成之有名假說。

## 八 電磁波之發見

馬克士威氏解說光之電磁波時，實驗而得之電波尚未發見也。其後，因彼之暗示，德之赫芝 (Hertz 1857—1894) 氏，於1888年由來頓瓶之振動放電，發見電磁波之輻射，實驗反射，折射，干涉，極化，繞射等現象，並測知其速度與光速一致。彼之實驗之目的，實欲確定法馬二氏之根本的假設耳，而在其成功之後，光學及輻射熱之科學竟完全依電氣學而被統一矣。

以下試將電磁波略為說明。

## 九 電 振 動

電燈用或動力用之交流 (Alternating current)，其頻率 (Frequency) 在25至120之間；較此更大之頻率之交流，特稱電振動 (Electric oscillation)。何種程度以上之頻率即可稱為電振動？并無一定。通常為一千以上，亦有多至數十萬數百萬者。

現時發生電振動之主要方法：1. 用一種多極式之交流發電機之方法。2. 用真空球或三極管 (Vacuum bulb or Audion) 之方法。3. 由於蓄電器之放電法等。今將此第三法發生電振

動之理說明之。

### —○ 振動放電

令蓄電器起電，通以阻力較小而有相當自感之導線，則破壞電花隙 (Spark gap) 之空氣而行放電。見其度度發放電花，陰陽兩電中和而終。此種在一瞬間反覆多數之放電之現象，得由實驗知之。例如在電花隙中挾以厚紙，急速旋轉使行放電，則見厚紙上有多數之穴，此乃放電之機械作用所穿鑿也；可知電花為頻頻往復者。

發生如斯之振動放電 (Oscillating discharge) 有如下之必要條件，此理論及實驗之所示也。

$$R^2 < \frac{4L}{C}$$

$R$  為導線之電阻

$L$  為自感係數

$C$  為蓄電器之容量

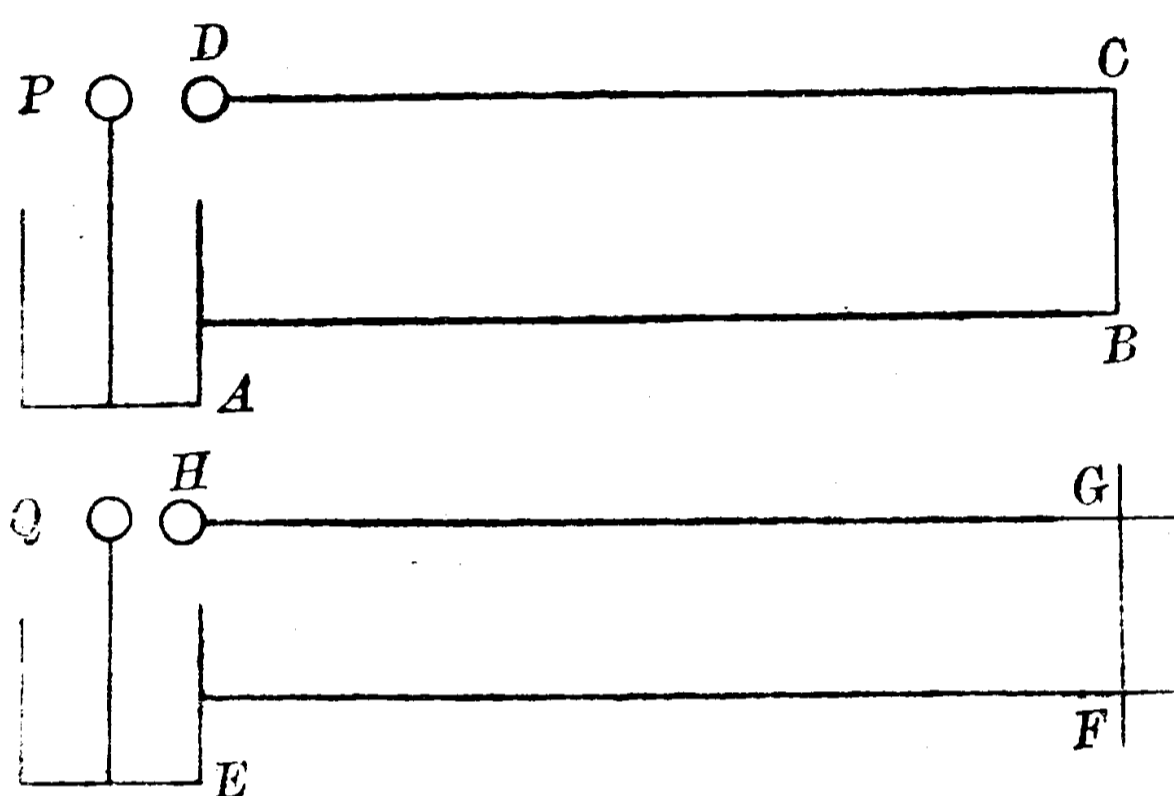
今試將振動放電之理由略為研究之。蓄電器行放電時，因通過有自感之導線，一次放電後，由此種自感而生之電流即起流動，此電流與先前成反對方向而令蓄電池起電。此電動勢雖較先前為少，但空氣於一度放電後，使電流之通過格外容易，故此處又行與前為反對方向之第二次放電。同理，第三次，第四次繼續而起，反覆放電。此處之能，變為熱而消失，遂逐漸衰弱，而至終止放電。據上理，可知增加自感之大乃振動放電之條件。至所以用電阻較小之導線者，因阻力大時，則變熱而消失之能亦多。

振動放電之際，流於導線之電流，為周波數極大 (有時至數百萬以上) 之交流，是即電氣振動也。據研究之結果，此振動數  $n$  在電阻小時，得以次式表之：

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{CL}}$$

### —— 電 共 振

洛奇 (Lodge) 氏以如次圖樣之裝置使來頓瓶  $P$  放電時，



實驗在同樣來頓瓶  $Q$  之電花隙  $H$  處發生電花之現象。即將導線  $FG$  左右移動時，即矩形  $ABCD$  與  $EFGH$  相一致時，得見  $H$  處有電花誘發。此即  $P$  處之電振動向  $Q$  方共振者也。

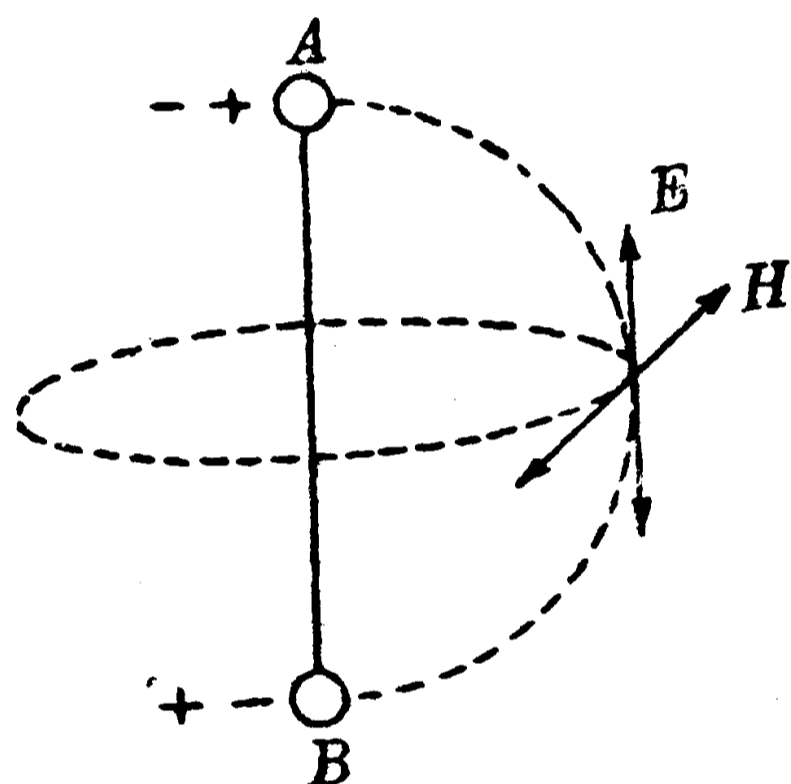
電共振 (Electric resonance) 與音之共振同，係在兩方之固有振動數相一致時而起。在上之實驗中，移動導線  $FG$ ，使導線成兩方全同之狀態者，即所以一致兩方之固有振動數也。若形狀大小不全相同，則增減自感及電容 (Electric capacity)，使  $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  一致，亦可行電共振也。電報之受報機，用種種方法以增減此等狀況，即所以令發電機方面之電振動向受電機之天線共振也。

### 一二 電 磁 波

赫芝氏據電共振之事實，想像電磁波 (Electromagnetic wave) 之存在；以為音之共振既係由音波而起，同樣，電之共

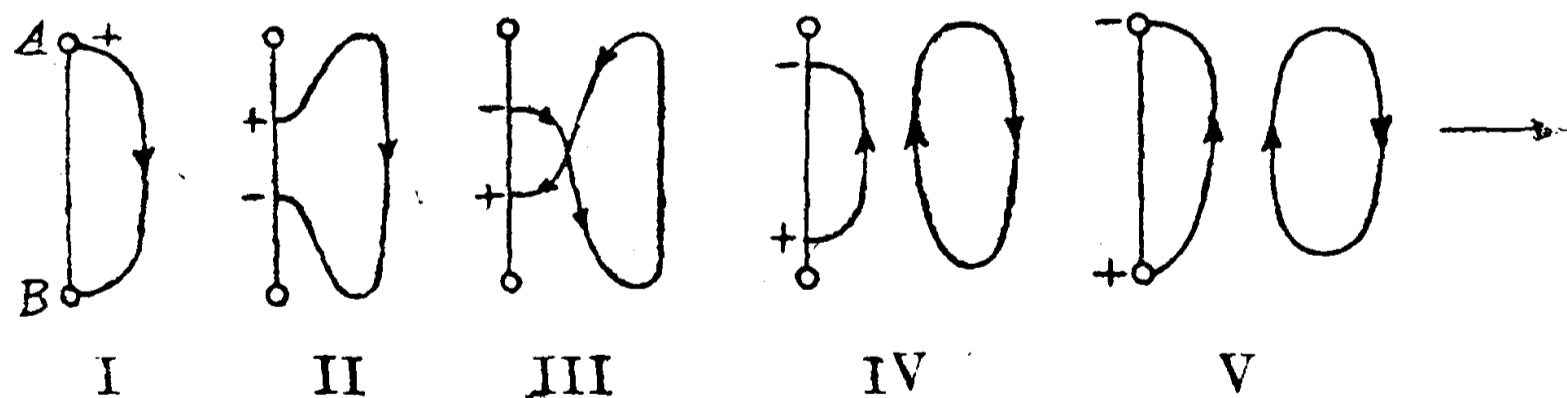
振，中間亦必有電磁的波動之介質在也。彼行種種實驗，遂決定波動之反射，折射，干涉，定常波，波長，傳播速度等事項，以明電磁波之存在。

然則電磁波究爲何物乎？當某導體發生電振動時，其導體中之電量及電流之配布，作週期的變化，其生於附近之電場及磁場之模樣亦成週期的變化，此變化以波動向各方面傳播。此中電力之波，在含有振動機之平面內，又磁力之波在與之垂直之平面內，各自進行振動。前者稱電波 (Electric wave)；後者稱磁波 (Magnetic wave)。此兩波常相伴而生，故合稱電磁波，或簡稱電波。



關於振動之傳播情形，因電場及磁場之指力線，有相互向橫押合之性質，故得以說明之。

如圖，即係依導線 AB 中電量之週期的變化，由電場指力線之變化情形及指力線相互之作用，以表示此變化向介質中傳播之狀況者也。



此電波在空氣中之速度，實爲每秒三十萬仟米，與光之速度同，理論上及實驗上均可得證明之。

### 一三 檢波器

赫芝氏於發見彼之所謂赫芝電波時所用之檢波器 (Detector), 係一種有細微空氣間隙之金屬線輪。其後, 由巴黎之布郎勒 (Branly) 及巴蒲爾之洛奇二氏作成一種粉末檢波器 (Coherer)。此乃在含有電池之輪道中置入鐵屑之管也。電波來着時電的與鐵屑接觸, 使電阻減少而電流增強。至現時所用之檢波器, 則係次世紀所發明者。

發振器亦係由赫氏之檢波器經種種改良而成。現時無線電報上所用者, 亦係將李海 (Righi) 氏所改良者更為改良而成也。

#### 一四 磁之理論

安培氏據螺線管 (Solenoid) 之磁性謂所有磁石不過為電流之結合。彼復認為分子之周圍皆有微弱之電流在動。又怕松氏假定分子受磁場之作用則帶磁性。維伯爾氏以為磁石之分子係永久磁石。康橋之攸英 (Ewing) 氏與維氏之說稍有不同。攸氏之說, 謂鐵之分子皆為具有一定強度之極之磁石, 此分子互相作用, 則構成對外部不現磁性之分子羣; 但置入磁場時, 則各分子受磁場之作用各向磁場方向整列而現磁性。根據此說, 則各分子以某種磁場之強度於其方向整列後, 無論若何增強磁場亦不能增強磁化之程度也。此事與實驗頗相一致。試就一磁石論之, 因各部分皆為磁石, 故在隣接之處, 異極互相抵消作用, 僅在其兩端表現作用, 實際上亦如此也。至鐵在高溫度時之所以不能成磁石者, 因此時分子之振動甚烈, 不易使之迴轉也。

哈萊氏以來, 地磁之偏角圖, 於 1794 年之際, 作有多種。關於地球磁極之數, 據克里斯大尼亞之胡斯頓 (Hausteen

1784—1873) 氏推論，謂有偏向西方而動之二北極與向西方而動之二南極存在。1828 年，出發實地檢驗，結果確定一在英領亞美利加之磁極之副，即在西比利亞之磁極。

德人高斯氏，與漢保特(Humboldt 1769—1859) 氏協力，自 1834 年至 1842 年間從事地磁三要素即傾角，偏角及水平磁力之實測。高氏並與蓋京根人維伯爾氏協同設計上項測定上之必要器械。

### 一五 電磁之單位

1832 年，高斯氏提出絕對單位之一系，以長度，質量及時間之三單位為基本，而後由之誘導。力之單位達因(Dyne)，亦彼所定也。又磁之強度即磁量之單位，以在單位距離內，同量之磁量作單位之力作用時，即以此量為單位；亦彼所定也。磁場強度高斯(Gauss)，亦彼所定，此即單位正磁極作單位之力作用時之磁場之強也。

維伯爾氏於 1846 至 1856 之十年間，在電學上倡導絕對單位。高氏及維氏係依毫米，秒及毫克誘為單位者。其後 1881 年在巴黎召開之萬國電學大會，決定以釐米，秒，克為基本，建立所謂 C. G. S. 系統。並對電阻之單位歐姆(Ohm)，電動勢之單位伏特(Volt)，電流之單位安培(Ampere)，電量之單位庫侖(Coulomb)等，確立定義。1892 年，各國物理學者相集，議論電之單位；其時提倡電阻之單位歐姆為長 106.3 釐米斷面一致，質量 14.4521 克之水銀柱在攝氏零度時之電阻。後經 1993 年芝加哥之萬國大會確定之為萬國通用之歐姆。此時并決定功之單位焦耳(joule)，工率之單位瓦特(Watt)，自感之單位亨利(Henry)等。茲將此等實用單位一一說明之。

電流之單位，安培係由電流之磁力作用而定。即將半徑一釐米之圓形電路上對於中心所作之磁場之強為  $\frac{2\pi}{10}$  高斯時之電流，名爲一安培；相當於 C. G. S. 絕對單位之電流之強之十分之一；相當於流入硝酸銀溶液一秒間析出 0.001118 克之銀之電流；法令上即以此電解量而定也。

電量之單位庫侖，即一安培之電流在一秒間通過導體斷面之電量爲單位也。

電動勢之單位。爲伏特二點間運行一庫侖之電量，電力所作之功爲一焦耳時，則其二點間之電動勢爲一伏特。

法拉 (Farad) 爲電容之單位。爲欲增高某導體之電位一伏特而需要一庫侖之電量時，此導體之電容稱爲一法拉。

動力之單位瓦特，如前所述，即每秒作功一焦耳時之動力也。其在電流，直流時以安培數與伏特數之積以表瓦特之值，交流時，若在瞬時間，此關係，亦可成立，但不能用於電壓電流之實效值也。

自感之單位亨利，即輪道中之電流每秒有一安培之增減，在其輪道上發生一伏特之自感電動力時，此輪道上之自感即爲一單位。其在互感，亦適用與此相同之單位。

## 一六 真空放電

1853年，巴黎之瑪蓀氏最初在托里柝利真空中以行放電。二三年後波昂之科學機械商人蓋斯勒 (Geissler 1814—1879) 氏，作成真空管內之壓力在 0.5 毫米內外之蓋斯勒管。

此種真空管放電時所現極美之光色，隨其中之氣體而異。現時用於裝飾光，又氣體分析時亦利用之。



1878年，倫敦之克魯克斯(Crookes 1832—1918)氏減低管內氣壓至 $\frac{1}{100}$ 毫米內外而行放電，發見有一種目不能見之輻射線自陰極發出。哥德斯丹(Goldstein)氏名之曰陰極射線(Cathod ray)，從而此管名曰克魯克斯管。此線具有下列之性質：

1. 直進；
2. 熱作用；
3. 機械的作用；
4. 磷光螢光作用；
5. 反撥作用；
6. 在電場及磁場時，進路發生偏向。

此現象，無論用何種氣體皆相同，克氏稱此狀態為第四狀態，以為由於在與氣體不同之狀態所起之一現象。

康橋大學教授湯姆孫(J. J. Thomson 1856—)氏，研究陰極射線，1897年，實測其對於電場磁場之偏向，斷定陰極射線並非如光之波動，乃係一種荷電質點之飛行作用；並測定此質點之速度及荷電量與質量之比 $\frac{e}{m}$ 。結果，謂此質點乃係質量當氫原子之 $\frac{1}{1800}$ ，大小約當半徑 $\frac{1}{50000}$ 而帶有陰電之微粒子。湯氏稱此微粒子曰陰粒子(Negative corpuscle)，至又名為電子(Electron)者，則係司東萊(Stoney 1826—1911)氏於1891年對於電之基礎單位即氫離子之荷電量稱謂而來也。

### 一七 X 線

1895年，倫琴(Röntgen 1845—1923)氏又發見珍希之輻



射線。即陰極射線與克魯克斯管之管壁玻璃衝突時，發生螢光，於此通過眼不能見之暗黑體發見令螢光板生輝之另一副射線。其通過度僅因密度而異，並不見反射，折射，極化，干涉等現象。此線又具有使帶電體放電而攝影及破壞生活細胞之性質。至次世紀，知此線係一種波長極短之電磁波。

### 一八 放射能

陰極射線與玻璃衝突，發生螢光，且有 X 線之輻射；然則自然界之螢光體不亦可預想其能放出何種輻射線乎？1896 年柏克勒爾氏在巴黎發見自鈾之化合物中一種輻射線放出，名柏克勒爾線。

居利(S. Curie 1867—) 夫人於 1898 年發見與鈾有同樣性質之釷及針，同年又發見鐳。惟放射線之研究，迄二十世紀始見成就也。

### 一九 熱電流

1821 年，席貝克(Seebeck 1780—1831) 氏發見連結銅與銻之線作一輪道(即閉電路)，以手觸其一結頭(Junction)即生電流；又知將結頭之一冷卻之亦生電流。如此連結兩種不同之金屬線之輪道，其二結頭溫度不同時即生電流，溫度相差之程度大時電流亦大。席氏稱此電流為熱電流(Thermo-electric current)。

熱電流發見後之十三年，即 1834 年，巴黎之時計製造者拍爾提(Peltier) 氏發見電不僅生熱，亦有冷卻之作用。銅與銻作成之結頭，自銻向銅通過電流時，結頭處約增高溫度十度；而逆流時則冷卻五度。

此種現象謂拍爾提效應 (Peltier effect)。楞次 (Lenz 1804—1865) 氏發明據此效應得以凍水成冰。

## 二〇 發電機之發達

電磁學之原理，自法拉第及赫芝諾氏確立以來，對於原理之應用，研究日廣。第一爲努力於發電機(Dynamo)之設計。初期之發電機，磁力強度並不適當，故有發出之電流亦不整齊之缺點。柏林之西門子(Siemens)氏，於1856年加以改良，作成磁力線之集中。又十年後，孟却斯太之維爾德(Henry Wilde)氏，試用電磁體(Electromagnet)作場磁鐵(Field magnet)，卒見成功。彼用彼所改良之發電機所生之電流，作成一種電燈所謂弧光燈(Arc lamp)者，爲世人所驚異。此弧光燈係六十六年前即1800年大衛氏所創，而彼係用2000個電池所生之電流也。發電機自席氏兄弟及愛迪生氏等多人，先後改良，漸臻完備。

## 二一 電 燈

發電機之發達，使電力發光有實行之可能。弧光燈之技術，經1847年司太特(Staite)及其後之西門子諸氏，發明自動調節裝置，遂入於實用之途。但因其光輝過強發熱太高，不適於室內之用。後於1877至1880年間，數多發明家有白熱電燈之製造，其中以愛迪生氏爲最有名。1879年英國之司望(Swan)氏研究用炭素纖維條作電泡之心線；西氏遂棄其以前所用之鉑銻合金線，於1880年採用竹纖維之炭素絲(Carbon filament)現時復改用效率更佳之鎢線。

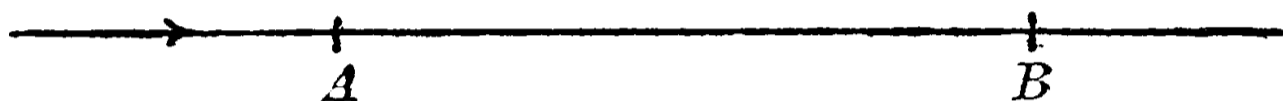
今且將電流與熱之相互關係一爲說明之。

在通有電流之導體上，不斷有熱發生。焦耳氏從實驗上發見關於此發生熱之定律；即

‘電流流過電路時所生之熱量，與通過電路之電流強度之平方，電路之阻力及通過電流之時間之乘積為正比。’

$i$  安培之電流通過  $R$  歐姆之電阻之電路  $t$  秒時之發生熱  $H$ ，得以次式表之：

$$H = 0.24 i^2 R t \text{ 克卡}$$



試言其理： $i$  安培之電流自  $A$  向  $B$  通過時，則在一秒間內， $i$  庫侖之電量自高電勢之點  $A$  入向低電勢之點  $B$  而出。設  $AB$  間之電壓為  $V$  伏特，則依電壓之定義， $AB$  間一庫侖之電量流行時所作之功為  $V$  焦耳。今為  $i$  庫侖之電量在一秒間流行，故每秒在  $AB$  間作  $iV$  焦耳之功。易言之，即  $AB$  間每秒有  $iV$  焦耳之能留下也。故可由此能在此間作種種之功。此時之動力為  $iV$  瓦特，至為明顯。即電氣之動力或簡稱電力 (Electric power) 在  $i$  安培之電流流於電壓  $V$  伏特間之場合，得以  $iV$  瓦特表之也。

在  $AB$  間毫不作功時，依能量不滅定律，此能完全變熱而出現。試由此關係以研究發生熱（設  $W$  表功， $J$  表熱之功當量即 4.2 焦耳），則：

$$H = \frac{W}{J} = \frac{iVt \text{ 焦耳}}{J \text{ 焦耳}} = \frac{i^2 R t}{4.2} = 0.24 i^2 R t \text{ 克卡}$$

此焦耳熱之應用，見諸白熱電燈（即熾燈 Incandescent lamp）及電熱器 (Electric heater) 等。依焦耳定律，同一電流於電路各部分所發生之熱量與各部分之抵抗電阻為正比。是

故，若將電路之一部例如電泡內或電熱器內特別增大其電阻，則以較他部分特強之熱足令此部分成白熱或赤熱。

通常之電泡，係於真空之玻璃球內封入鎢絲而成。其光度對一燭光所需要之電力約為自 1.2 瓦特至 1 瓦特。此電力不能使電絲久持於高熱之程度。若電泡內入以特種氣體以代真空，則雖熱至高溫，亦不致昇華或損毀電絲。極適於製作高支燭光之電泡，且一燭光所需之電力亦更少也。

電泡上常記有 100—16 等字樣，即表示此泡在電壓 100 伏特時使用即生十六支燭光之意也。若在電壓 90 伏特以下，則光較十六支燭光為弱矣。又有以若干瓦特之電泡代呼若干燭光者，例如 60 瓦之電泡，即電泡內每秒消費 60 焦耳之電能也，若一支燭光所需要之電力為一瓦特，即約相當於六十支燭光。

又有所謂弧光燈 (Arc lamp) 者。此雖非利用如普通電泡內所發生之焦耳熱者，但亦係使電流強熱炭素令發強光者也。其構造：連接二炭素棒之端，通以電流；則因接觸部電阻甚大而生熱；此時將棒稍稍離開，則生弧狀之焰，通過電流，棒部更受高熱而發強光。此乃帶有如後所述電子之微粒，通過弧光，以非常之勢向炭素棒衝突而生熱者也。棒端之溫度約為三千度。炭素經氧化後，棒端之間隔漸大，漸使電流不能通過，故須以手或自動裝置將此間隔為適當之調節。

白熾燈，雖 2 伏特 3 伏特亦可點火，而弧光燈在 40 伏特以下常不能發出弧狀焰。惟弧光燈需要之電力較少，每一燭光約 0.6 乃至 1.2 瓦特耳。

利用弧光燈之高熱者為電爐 (Electric furnace)，能得三千度以上之高熱，通常物體，遇之即熔，故在冶金方面頗為重要。

與焦耳熱全然不同者，爲拍爾提效應熱 (Peltier effect heat) 及湯姆孫效應熱 (Thomson effect heat)。前者爲電流通過於二種金屬之接觸點 (即結頭) 時，在其接觸點處有熱之發生或吸收；其熱量與電流之強爲正比，故因電流方向之不同，或成爲發生熱而現出，或變爲吸收熱而消失。理論上及實驗上，拍爾提效應之熱量  $H$ ，在接觸點之電勢差爲  $V$  伏特處， $i$  安培之電流通過  $t$  秒間時，

$$H = 0.24 i V t \text{ 克卡}$$

(此處之接觸電勢差  $V$ ，不得以  $iR$  表之)

次言湯姆孫效應：彼謂在雖係同一金屬，各部分之溫度亦不一致時，有或處生熱，或處吸熱之現象。

以上所述，係由電流而起之生熱及吸熱現象；反之，亦有用熱以生電流之現象。

二種金屬，例如銅與鐵，連結之以作輪道，平時不見電流；若高低二結頭之溫度使其



不同，則有電流發生。其方向，在  $t_2 > t_1$  時，電流依圖中矢之方向而流。通常以下列金屬中之二種金屬連結之以作輪道時，則在高溫度之結口，電流由上位之金屬向下位者流去。

鉍 鉑 銅 鉛 錫 金 銀 鋅 鐵 銻

發生此種電流時，在高溫度之結頭常有熱之吸收，低溫度之結頭常有熱之發生。吸收之熱量與發生之熱量並不相等，而前者較大；故兩者所差之熱量遂變爲電能。依熱學第二定律之結果，供給之熱量，並非全部變爲電能，大部分係向低溫度之結頭移去爲熱也。

總之，熱能有發生電流之作用，故稱此種電流爲熱電流

(Thermoelectric current)。發生熱電流之理，由於二金屬之接觸電勢差因溫度不同而起。從而熱電流之電動力亦因溫度而異；故測知熱電流之強即可決定切頭之溫度。用鉑與鉑銻合金作成者，用於高溫度計(Pyrometer)；又由數個用鉍銻作成者組合而成之熱電堆(Thermopile)，用於測算輻射熱。

## 二二 交流之性質

直流發電機 (Direct current dynamo) 及交流發電機 (Alternating current dynamo)，係由電之感應而得直流或交流之裝置。茲將交流之性質略言之。

交流者，方向成週期的反對之電流也。發生交流之電動力稱爲交壓。在交流或交壓，其電流或電壓自成爲一方向至又成同方向時所歷之時間，謂之週期(Period)。一秒間所含之週期數謂之頻率 (Frequency)。使用於動力或電燈之交流頻率約爲 25 乃至 120。交流不僅時時變更其方向，電流之強度亦不絕變化；故其強度以各瞬時之值平方平均之平方根表之，稱之爲交流之有效值 (Effective value)；此值相當於發生此交流之平均焦耳熱之直流之強。交壓之有效值亦與此同義。其在直流，電壓得以電流與電阻之積表之，但交壓之有效值并非交流之有效值與電阻之積也。以交流之有效值除交壓之有效值，所得之商，謂之阻抗 (Impedance)；此數不僅與電路之電阻有關，且與電路之自感程度及電路含有蓄電器時之電量有關，更因頻率之大小而異其值，實一極煩累之值也。測示交流及交壓之有效值之電流計及電壓計，係應用電流之熱作用而作，亦有用吸引軟鐵之電流計及電壓計者，惟此時之刻度與直流時之刻度不同。



在理論上及實驗上，當自感大時，交流之通過甚難，若代以含有蓄電器之電路，即得自由流通。交流固與電阻之小大有關，自感之大小亦須注意。將電阻雖小而自感甚大之電路與電阻大而自感小之電路并列連結，通以電流，則常有電流之大部分通於後者而沒焉。

交流之中，有所謂三相交流(Three phase current)者，係自水力發電所向都市送電時，使用三條導線傳導者也。此之三線並非如電話或電燈用作往復輪道者，乃係頻率，電流，電壓皆相等惟方向變換之時間每一週期之三分之一而一變之三交流於其上通流者也。

### 二三 電 動 機

1850年雅科俾 (Jacobi) 氏發見將發電機反轉使用，可以作為電動機(Electric motor)而用之。將得自發電機之電力輸入他機即電動機之原理，係1873年馮丹 (Fontaine) 及格刺謨 (Gramme) 二氏所提出，並由烏衣恩博覽會加以實證。自此以後，電動機之進步甚大。

1879年，柏林博覽會中，有最初之電車，係西門子 (Siemens) 及哈司開 (Halske) 公司以手運轉者。

迄1883年，德國之電車已見進步，但其後，美國之進步尤為可觀。

多相交流電動機，係1879年倍雷 (Baily) 氏在倫敦之皇家學會 (Royal Society) 供出展覽者。1885年，羅林之富爾拉尼 (Ferraris 1847—1897) 氏作成二相電動機，但未公表。其後忒斯拉 (Tesla) 氏，亦曾獨立製造之。此等交流電動機組合二相或三相交流而用時，則以一定之角之速度以旋轉磁石，

故可作成同樣旋轉之磁場；使由此旋轉磁場在適當形式之導體中發生佛科電流(Foucault current)；復由此電流與磁場之相互作用以旋轉其導體。此乃交流電動機之最初形式，後經逐漸改良，而有現時廣用之感應電動機 (Induction motor) 之作成。

## 二四 電 報

使用電磁器械可以送達信號即電報 (Electric telegraph) 之事，係 1821 年安培氏所暗示。蓋琴根之高斯氏與維伯爾氏，於 1833 年在 2000 尺之距離間，試架最初簡陋之電報線。前此 1831 年時，亨利氏曾利用電磁石之引力在阿爾凡里地方送達遠距離之電報。1837 年，紐約之模斯 (Morse 1791—1872) 氏發明自記信號法。米奧立西之司丹亥耳 (Steinheil) 氏發見用地球作電報之歸路。美國商用電報之發達，乃模氏努力之功也。

海底電報 (Submarine telegraphy) 之實驗，始於 1837 年。自短距離通報成功後，於 1858 年八月，有英美間橫貫大西洋初次通報之舉。1866 年由湯姆孫氏之研究而完成之。

## 二五 電 話

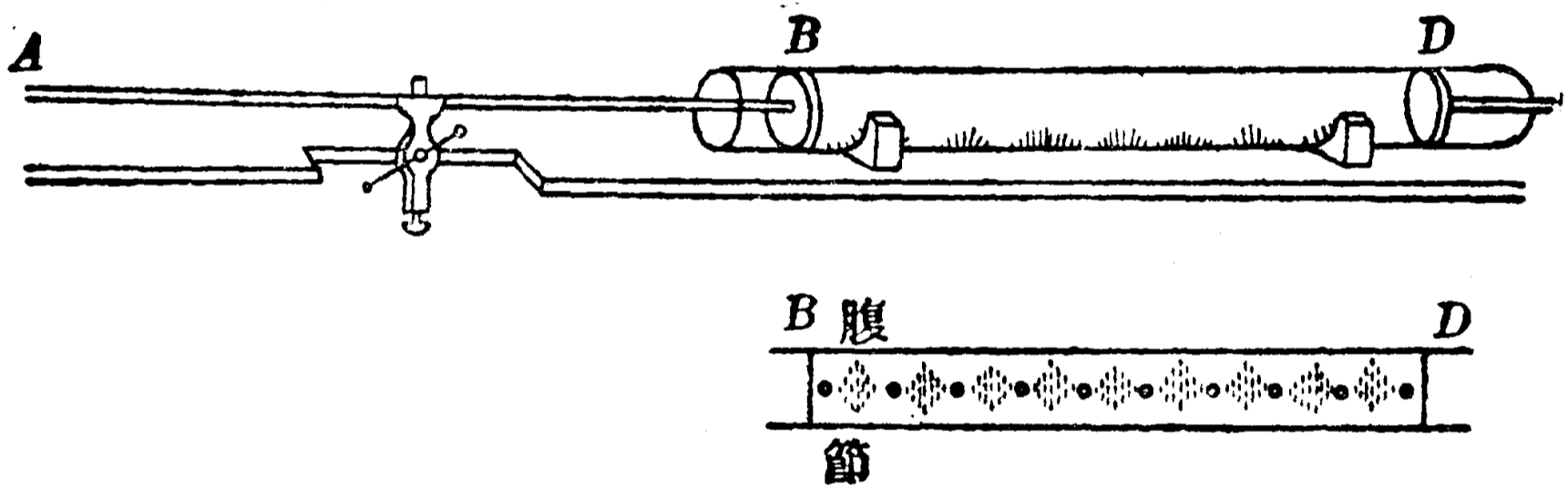
最初研究電話機 (Telephon) 者，為 1854 年法人波爾塞 (Bourseul) 氏，但彼並未完成之。次之，1861 年，尼斯 (Reis) 氏於不意中成功用電送話。1876 年斯哥特蘭之貝爾 (Graham Bell 1847—1922) 氏發明現今所用之受話機；彼之受話機，因送話器方面有種種缺點，故愛迪生氏於 1877 年介紹炭素送話器；更經白拉開 (Blake)，伯林勒 (Berliner)，亨林 (Hunnings)



諸氏加以改良，乃成今器。1879年，霍斯 (Hughes) 氏亦發明一種微音機。

## 第六章 聲 學

十八世紀之聲學，係音樂家及數學家所研究，然在本世紀則成爲物理學者之研究科目矣。生於維頓佛爾克之克那德尼 (Chladni 1756—1827) 氏，世稱爲聲學之父。彼發明一種喇叭類之樂器名約烏奧林者，研究弦，棒，板之振動；由棒之振動以計算傳播固體之音之速度。1866年，昆忒 (Kundt) 氏發明測定氣體或固體中音速之方法，其裝置如次：



如圖，固定以金屬，玻璃或木製長一米左右之棒  $AB$  之中央。在  $B$  端附以圓軟木塞圓板，插入管中，但不與管相觸。管之他端裝置得以自由移動之活栓  $D$ 。

縱擦  $AB$  棒而生縱振動時，將玻璃管內之空氣適當加減爲  $BD$  之長，則因共振而生縱振動。管內預撒軟木屑少許，則木屑因氣柱之振動而密集於節點。故可知此縱振動之節之位置，從而得以測定此時之波之波長。命  $\lambda$  表此波長， $l$  表棒長， $n$  表振數，則傳棒之音波之長爲  $2l$ ；故

$$\frac{\text{音在空氣中之速度}}{\text{音在棒中之速度}} = \frac{n\lambda}{n2l} = \frac{\lambda}{2l}$$

依此實驗，可以測求造成此棒之種種固體中之音速。又將棒之中央固定於管內，管內入以種種氣體，則求各種氣體中之音速亦得測定之。

波之干涉之理論，初爲楊氏所公表。次爲維伯爾氏兄弟所倡之波動論。惟是彼等謂縱波不能在液體中進行之說，曾取信一時。及至 1822 年，由奧斯脫氏證知水有壓縮性，并測定水中之音速爲 1435 每秒米。又巴黎之薩發耳(Savart 1791—1841)氏亦於 1826 年說明水中音之傳播之事。拉陶(Latour)氏改良驗音器(Siren)，用於振動數之測定。薩氏並用驗音器決定音之界限爲振動數最低 14 每秒至最高 48000 每秒。

德國之赫爾姆霍斯氏在聲學之歷史上，劃分一新時代。彼之著述，係 1863 年公表者。彼謂樂音由於空氣中之週期的運動；並區別其音長，音強，音色等。彼又作共振器以事音之分析，復將音之調和加以說明。

當時，巴黎之哥尼(König 1832—1901)氏亦從事於音之研究。彼於音之分析，使用 1859 年司可特(Scott)氏所發明之靈焰(Manometric flame)；1877 年愛迪生發明之蓄音器，彼亦於同上目的上使用之。

## 第九篇 二十世紀

時至二十世紀，物理學及化學，入於確立真正基礎之時代。若物質之構造，元素之變成，新力學之基礎定律等，莫不從新着眼，推本考察，劃分過去之時代，向前進展。以下試述其大略。

### 第一章 放射性

#### 一 放射體

放射性(Radioactivity)之研究，不僅在醫學上得有廣大之應用，其於物質之構造，亦因之漸獲暗示；古代變金術之夢想，或即於此實現之也。

1895年倫琴氏發見X射線，次之1896年，巴黎之柏克勒爾氏，考慮存在於自然界之螢光體不知其亦能放射如X射線之放射線否？遂發見自鈾化合物中有一種放射線即所謂柏克勒爾射線(Becquerel ray)放出。自是而後，此等物質即放射體(Radioactive body)之研究，乃與時俱進矣。

1867年生於瓦梭(Warsaw)之居利夫人，於1893年赴巴黎協助柏氏之研究。夫人初發見釷與釷，1898年復發見鐳。此等元素，析出極為困難；但1910年，卒發明令其純粹分離之法，而獲得諾貝爾獎金。

## 二 鐳放射線之性質

1899年，柏克勒爾，居利 (P. Curie 1859—1906)，馬伊耳及其他多人，發見放射線亦如陰極射線有受磁場作用使進路偏向之性。其實際情形，據詳細研究之結果，居利氏發見相當於 $\alpha$ 線及 $\beta$ 線之線。緯刺德 (Villard) 氏復發現透過能較 $X$ 線更大之 $\gamma$ 線。至 $\alpha$ ， $\beta$ ， $\gamma$ 線之名稱則係1903年時所定也。

刺得福氏研究此等放射線，解說 $\alpha$ 線， $\beta$ 線及 $\gamma$ 線之性狀如次：

(1)  $\alpha$ 線——此為飛行之陽粒子之流，荷電量為電子荷電量之二倍，質量為氫原子之四倍，可視之為氦原子之陽核。

此線以大速度飛行，質量亦大，故動能亦大，從而極易使氣體電離，惟貫通物質之能不大。亦有螢光作用及熱作用，攝影作用則不甚強。

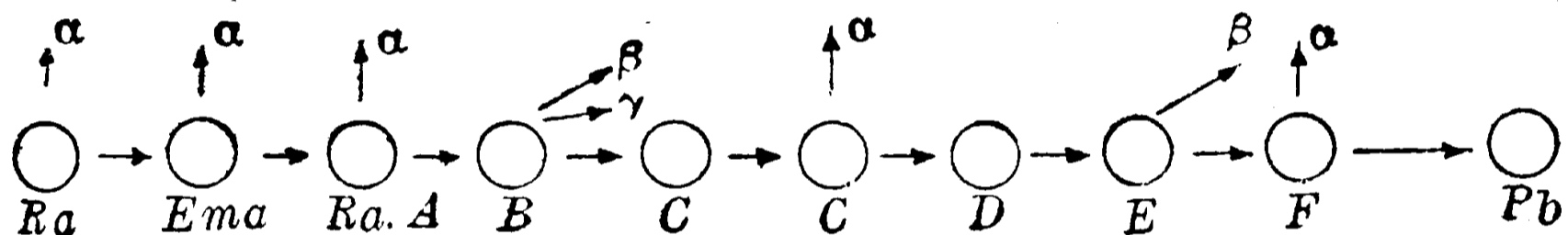
(2)  $\beta$ 線——此乃飛行之電子之流，電離作用不強，但電離距離甚大；攝影作用及螢光作用亦大。

(3)  $\gamma$ 線——此為相當於 $X$ 線之射線，乃電子自鐳急速脫出時所生之一種電磁波也。透過能極強，通過鐵板，猶能感光。

## 三 原子之蛻變

氦元素係蔣蓀 (Janssen 1824—1907) 及駱克易耳 (Lochyer 1836—1920) 諸氏從太陽中發見者；但駱氏及蘭社 (Ramsay 1852—1916) 氏自礦坑游離之氣體中亦發見之。蘭氏與蘇岱 (Soddy) 氏實驗說明鐳蛻變為氦之事實。刺得福氏於1900年發見自鈾化合物放出之放射性氣體所謂射氣 (Emanation)。

1901年，居利夫人自鐳中亦發見之。拉氏謂此氣并非鐳蒸氣，決定其為較鐳為輕之他種元素。蘭氏及蘇氏在1903年所作之實驗中，用分光器檢驗此射氣，經歷數日，發現有氦線之現出，因謂氦由射氣蛻變而生。同年，刺氏發表放射性物質之原子係蛻變者，此即發生放射之原因云。並謂電性中和之放射性物質，放出 $\alpha$ 粒子後，剩餘之原子即成射氣；射氣再放出 $\alpha$ 粒子；順次蛻變，至最後放五個 $\alpha$ 粒子，則成爲鉛。刺氏最初以爲鐳係鉛與氦之化合物，後於1908年始確定原子之蛻變說 (Disintegration theory)，并據以作成下圖之變化 (Transformation)：



鐳在如上之蛻變中，失去五個 $\alpha$ 粒子，故最終之原子爲自鐳之原子量減去氦之原子量之五倍者；即：

$$226.5 - 5 \times 4 = 206.5$$

此值殆爲鉛之原子量，故可謂鐳之蛻變最後變化爲鉛也。

自一克之鐳每秒所放出之 $\alpha$ 粒子之數，據測算爲 $6.2 \times 10^{10}$ ，故每秒間生成之射氣（即氦）原子之數亦爲 $6.2 \times 10^{10}$ 。原子蛻變之程度爲如何之大，於此可知矣。

放射體之能，與其物自身之現量爲比例，故隨原子之蛻變而能衰退。

次將鐳之平均壽命與半減期列表如下：

原 素	平 均 壽 命	半 減 期
<i>Ra</i>	2440 年	1690 年
<i>Em<math>\alpha</math></i>	5.5 日	3.9 日
<i>A</i>	4.3 分	3.0 分
<i>B</i>	38.7 分	26.3 分
<i>C</i>	28.1 分	19.5 分
<i>C'</i>	10 <sup>-6</sup> 秒	10 <sup>-6</sup> 秒
<i>D</i>	23.8 年	16.5 年
<i>E</i>	7.2 日	5.0 日
<i>F</i>	196 日	136 日

#### 四 原子之人工變成

鐳係在自然界中行原子之蛻變者也，最近之科學，欲由人工方法，令原子蛻變，將一元素直接物理的變為他元素，此種程度，漸見進步。昔日以為堅不可分之原子，至是亦失其永久性矣。

此種使安定元素蛻變之大事業，最初於 1912 年由刺得福及卡德維克 (Chardwick) 氏試驗成功。彼等利用自鐳放出之  $\alpha$  粒子之強大之能，使其破壞一種安定元素即氮素之核之堅強結合力，而得氫原子之核即質子 (Proton)。除氮外，由氦，氫等，凡原子量在 40 以下者，均經試驗；氟，鈉，鋁，磷等凡具有奇數原子量者，皆得分離氫原子。1926 年，柏林之巴勒特 (Paneth) 及彼德司 (Walter Peters) 二氏宣告變氫為氮之實驗；又芝加哥大學之哈金 (Harkins) 氏報告：將氫原子合併入內，可變氮為氟，變氫為氧云。

## 第二章 熱 學

### 一 黑體之輻射熱

吸收他物體放出之輻射能之全部化而爲熱之物體，謂之黑體(Black body)。一切物體皆得將吸收而得之輻射線輻射之，是故黑體乃具有最大之輻射能者也。茲先將輻射略爲說明之。

輻射(Radiation)者，振動之能，以非常大之速度自源點向四方移動之現象也。輻射之強度依理應與其至源點之距離之平方成反比，而實測之結果，則小此遠甚。此由於途中之介質將輻射線吸收之故也。吸收之結果，助成分子之運動而變化爲熱能。於茲有當注意者，所謂將熱輻射將熱吸收云云，並非熱自身向外輻射，亦非熱之自身被吸收也。輻射而來之物，如爲光線，則由暗線吸收之，結果變而爲熱。至言輻射熱線之源體，是卽所謂熱體；故熱線之前身係在於源體之熱也。

發生輻射熱之根本，多數場合係由於分子之運動。分子運動比較的緩慢時，卽物體在低溫度時，發出之輻射波動之週期較大，從而波長亦大，故輻射眼所不見之熱線。物體之溫度上升時，分子運動隨之增加，乃發出週期較速之輻射線，最先發出紅光。溫度再高時，則橙，黃，青，紫等波長甚小之輻射線亦並而放射，而成白光。如斯物體所發之光色，由其物體之溫度而異，故觀察此光色卽可推定發光體之溫度。由此作成之裝



置，稱爲光測高溫計(Optical pyrometer)。

黑體之研究，自司特華 (Steward) 及克希荷夫二氏倡導，以來，於1895迄1901之五六年間，并未得何等實驗之結果。但至本世紀，由魯麥 (Lummer 1860—1925)，蒲寧相 (Pringsheim 1859—1917)，高爾本 (Kurlbaum 1857—1927) 諸氏，着手實驗。彼等用圖表表示波長因溫度而異之輻射之強度。依據該圖表則知某一波長之輻射可由所與之溫度而放射較其他波長更強之輻射。維恩 (Wien 1864—1928) 氏基於此事實，由理論的基礎上建立所謂位移定律 (Displacement law)。依此定律，在物體所輻射之輻射線中，具有最大之能之波長 $\lambda_m$  (秒micron 單位) 與其物體之絕對溫度  $T$  之間，有如次之關係：

$$\lambda_m T = 2940$$

太陽光線中，具最大輻射能者爲黃色部， $\lambda_m = 0.532$  秒，故推定太陽之溫度如次：

$$T = \frac{2490}{0.532} = 5530^\circ (= 5257^\circ \text{C.})$$

關於黑體輻射之理論，原理甚高，用此不易說明。但自蕾 (Lord Rayleigh 1842—1919) 氏及多數學者，以麥氏之實驗爲基礎，在理論上攻究以來，創立關於輻射之理論式；並爲說明此理論計，由蒲郎克 (Planck) 氏倡立使當時學者驚異不置之新假說，即所謂量子論。

## 二 量 子 論

1858年，生於凱爾 (Kiel) 之蒲朗克氏，赴柏林師事克希荷夫氏，繼承其業。在其1896至1900年間之關於輻射之著作中，尙未見量子(Quanta)之研究也。

至 1900 年，彼始提倡量子論(Quantum theory)，由是開前人未踏之境地而進於底定物理學新基礎之第一步。此理論亦頗難解，以下試言其概要。

物質為不連續的，此第一在化學變化之實驗上所示之事實也。即化合之物質間，其質量與體積之間，有簡單一定之比例。說明此等事實，無論如何，必須認為此等物質皆得分割為所謂原子或分子之一粒子。較此粒子更小之部分，亦必須假定其為不得參與化學作用者也。

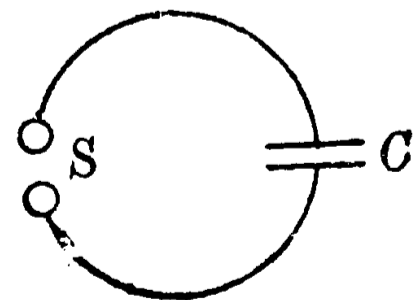
物質既非連續的，由個個分子集合而成，故氣體之各種性質及熱之本質等，皆得明白解釋，如前所說。

近世以來，隨科學之進步，認為不僅物質為如上所述之不連續的；據電子說，認為電亦為不連續的，若電子或陽電子，亦係成粒子狀者；又磁性亦有其所謂磁石分子之最小部分。

量子論更進一步，謂能或光等，當其在二物體間授受之際，其量亦有一定之最小限度，主張此亦係帶有不連續性者也。茲就此等理論將量子論之概念簡單述之。

據蒲氏之說，能非連續的，於此有其最小量即所謂能量子(Energy quantum)。

試研究如下圖之電振動器。當變更導線之形或伸縮電花間隙  $S$ ，令感應(Inductance)及電容(Capacity)適當加減，充電於蓄電器，而於  $S$  處行火花放電時；則發生相應於感應及電容之振動數之電振動。從而，一定波長之電磁波由此而向各方面傳播。此種裝置，自一方面視之，可視為電共振機，故電磁波自他方至此，則吸收其能之一部，而電振動即於此間誘起。



蒲氏以爲物質之內，存在此種電振動器甚多。當其發生電振動時，則放出輻射線(電磁波)。又接受輻射線時，則吸收能而起電振動。且振動器放射或吸收能時，必以一定量 $\varepsilon$ 之整數倍而行，決不能以任意之量放射或吸收也。此 $\varepsilon$ 即稱爲能量子。此能量子 $\varepsilon$ 與振動器之振動數即其所生之輻射線之振動數 $\nu$ 成正比。振動數大時能量子亦大。故能量子可以次式表之：

$$\varepsilon \propto \nu$$

$$\varepsilon = h\nu$$

此 $h$ 稱爲蒲郎克之常數(Planck's universal constants)。用爾格(erg)爲能之單位，秒爲時間之單位時，則此常數具有下式之值：

$$h = 6.55 \times 10^{-27}$$

蒲氏謂據此假說得以充分說明熱之輻射現象。由此觀之，能最先即非連續的，而係能量子之結合，恰與物質係分子之集合成同樣之關係也。

只在此假說中有一難題，即究係何物負此振動器之職責乎？依電子說，則負此職責者，除原子內之電子外別無他物。物體被熱於高溫度時，則分子作不規則之活潑運動，故原子內之電子亦隨之而運動。此即一種電振動也，乃由此發出種種之振動數，易言之，即種種波長之輻射線。又此輻射線接觸某物質時，則此物質原子內之電子，受電力之作用，乃發生電振動，而將能吸收，喚起分子運動而生熱焉。然而，此電子當將能放出或吸收之際，何故以一定量 $\varepsilon$ 爲基礎量乎？此點實苦於說明者也。若能量子說適合於實驗事實而爲真確者，則電子之振動惟有如此以能之一定量爲基礎，而僅作如放出吸收之振動耳；苟

易以他種理由，則任意之振動不可能矣。舍此解釋，別無他法。波耳(Bohr)氏并另立假說以解決此事，俟及後說明之。

### 三 低溫度及氦之液化與固化

低溫度時之物性，倫敦之杜瓦氏曾作種種研究。彼於1893年液化氫素，并於1899年固化之。更進其研究，從事低溫度時金屬之電抵抗及化學的攝影作用之實驗。彼并察知細菌在極低溫度下亦能生息之事。

1908年，在荷蘭之來頓地方，翁內(Onnes 1850—1926)氏以絕對溫度 $4.3^{\circ}$ 使氦液化。其後用低壓使氦沸騰而更得低溫度。彼復知在低溫度時，有某種金屬具有非常之傳導性。彼據此推想，在絕對零度時，原子靜止於某種狀態，使電子之運動得以極端自由云。1923年，彼欲使氦固化而未果。其後，在一氣壓之六萬五千分之一幾為完全之真空中，令氦蒸發，而得絕對溫度達 $0.82^{\circ}$ ，1926年，翁氏逝後四月，開桑(Keesom)氏用低溫高壓(86氣壓 $3.2^{\circ}$ 或50氣壓 $2.2^{\circ}$ )卒能使氦固化。在所有氣體中，氦為最後液化固化者也。

## 第三章 光 學

### 一 極 光

極光 (Aurora) 初爲富蘭克林氏所注意，彼以爲此乃一種電的現象。其後，1872年富羅倫斯之唐岱里 (Dontani) 氏謂此係由於自太陽發出之電的輻射線而起。柏林之哥德斯丹氏謂係太陽發出之陰極線。克尼斯他利亞之伯克南 (Birkeland) 氏據此見解，製一小地球，置之於真空中，以陰極線衝突之，則見極之附近，生有螺旋形之光。由此可知，自太陽射出之電子，達於地球，在極之近處，因地球磁極之作用，以致進路複雜，當此之際，空氣被其電離（由電子之作用將氣體子分離爲陰陽之二種離子），與之相伴而生之輝光，遂成極光焉。

### 二 星之直徑

十八世紀時，對於某行星之直徑雖曾試行觀測，但一般之星之直徑用十八世紀之機械測定者則甚少。1890年，邁克爾孫氏說明利用干涉之天體觀測法，惟當時之器械尙未能用以決定星之大小也。

1920年，大望遠鏡及干涉儀 (Interferometer) 造成，拜司 (Pease) 氏用之依邁氏之方法在威爾遜山上觀測 Betelgeuse 星 (Orion 座之  $\alpha$  星) 之直徑。此觀測，恰如在前方十七哩處，視察一直徑一吋之球，困難概可想見；測定之結果，推定當太

陽直徑之三百倍。

### 三 紅外線光譜

十九世紀赫瑟爾，麥羅里，羅比尼，郎萊諸氏對於太陽光譜之紅外部 (Infrared) 之輻射熱及光線之研究，後由丘本根之巴申 (Paschen) 氏繼承之。彼於 1897 年研究紅外線之最極限進至 23 秒。彼與加利佛尼亞大學之柳維司 (Lewis 1863—1926) 氏研究紅外部方面各元素之輻射線，並精密決定鈉，鈣，銀及其他各元素之特有線。帕氏之研究并導成後述之黎茲 (Ritz 1878—1909) 原理之結果。

紅外線之應用，有所謂紅外線攝影；依行此法，則能通過若干之霧煙塵埃等，攝其背後之影。又遠距離攝影上，亦稱適當。

### 四 紫外線

玻璃吸收紫外線 (Ultra violet ray) 之作用甚著，故在此實驗上，使用由水晶，巖鹽，螢石等製成之稜鏡。加利佛尼亞大學之柳維司氏，定氮及氦之紫外線光譜，并發見氫素之紫外線光譜。

1906 年，來曼 (Lyman) 氏發見 0.1 秒之紫外線。此乃紫外線之極限。在紫外線與 X 線之間，尚存有未知之部分。

紫外線又為易使氣體電離之物，此事容後述之。

### 五 宇宙射線

據英，德，美之物理學者之研究知尚有波長較 X 線更小之輻射線所謂宇宙射線 (Cosmic ray) 存在。1903 年，刺得福

及麥克倫蘭 (McLennan) 二氏，發見入於厚金屬箱中之驗電器之電有逃逸之事，乃推想其必為具有極強透過力之輻射線者也。1910年，德國之哥克 (Gockel) 氏用氣球升高至一千三百尺以上實驗，依然有此強性之輻射線存在，且決定其並非由放射能物體所出。霍斯 (Hess) 與高哈司特 (Kolhörster) 二氏，升空至 5.6 哩以上，發現此輻射較在地球表面時強至八倍。1922年，密爾根 (Millikan) 等後升高至 10 哩以上，決定此輻射隨高度而增強。又為避免放射能物體之作用起見，自加利佛尼亞之湖水水面四十五尺之下部研究之，知仍有輻射作用。彼等據此計算，謂此線可透過水六十八尺或鉛六尺。密氏猜想此線之振動數或將較 X 線大至千倍云。

論此宇宙射線之起因者，謂當某種新元素之組成進行時，有如鐳之蛻變時放出  $\gamma$  線之情形，而由之放出宇宙射線云。

## 六 光 子

愛因斯坦氏將量子論適用於熱以外之現象即光，謂之為光子 (Light quanta)。若某物體射出  $h\nu$  之量子，更為他物體所吸收時，則在二物體間之空間，傳播此量子之狀態為何如乎？愛氏以為，通過二物體間之能，係成自量子形態之微粒，以光之速度而飛行，即可視與不可視之光線，各無關係而相互通過空間者也。此說與牛頓之微粒說相似，所不同者，在光子論，謂此等微粒，振動數大者，微粒亦大；在微粒說，則謂紅色粒子較紫色粒子為大也。愛氏用光子以說明波動說所不能說明之種種問題，量子論之價值因之提高。

## 七 X 線之本質



X 線亦如陰極線，不因電場磁場而生偏向作用，故非荷電粒子之飛行物，亦不見反射，折射，干涉等現象，1896 年康橋之斯托克氏等認爲此乃電波的振動。倫琴氏以爲此線係縱波，但至 1905 年，巴克拉(Barkla)氏發見 X 線之極化現象，遂打破其說。1912 年繆立次之勞厄(Laue)氏，通過特種之結晶體，實驗 X 線之繞射，因決定其爲波長極短之電磁波。依此所測定之 X 線之波長，知爲  $1-5 \times 10^{-9}$  釐米。

現時研究光線或 X 線者，或採波動說，或採量子論，研究入於變則狀態。波動說對於干涉之說明較易；但哈佛大學之杜勒(Duane)氏及加利佛尼亞大學之柳維司氏等，則用量子論說明干涉，惟此等見解恐仍屬想像之詞耳。

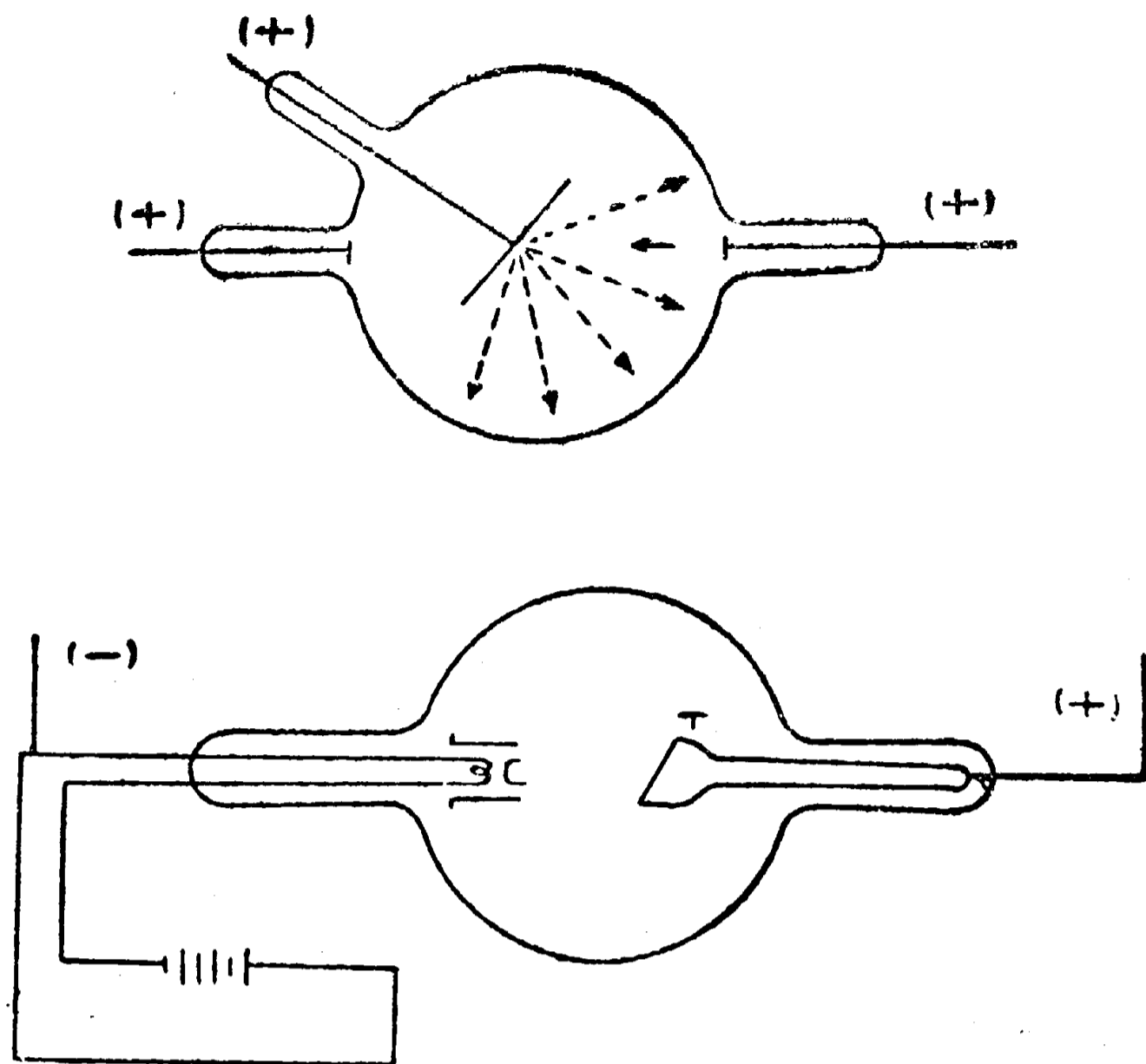
欲得優勢之 X 線，宜增大電子衝突之際之速度，又宜減小電子之停止時間。因此須增大真空管之真空度，並增加放電之電勢差，同時，陽極板宜用硬質之白金板或鎢板。

爲推定結晶體內部之原子配列而用之 X 線，必須用極度強性者；此種 X 線可使用古力琪管(Coolidge tube)。此係利用熱金屬放出電子之理者也。用電池熾熱真空管內之鎢線 C，使其發生電子；如圖，連結感應圈之兩極，加以高度之電勢差，則電子以非常之勢向 T 之鎢面衝突，而發出極強之 X 線。

將帶電體置於絕緣之空氣中，以 X 線衝突之，電即自物體逃去。此乃以 X 線之電力及磁力之作用將空氣分子分爲帶有正電及負電之離子，故電帶有傳導性，從而帶電體之電逃向空中逃以去也。又在空氣中之帶電體之電，若任其放置，則亦暫時逃去，蓋因空氣常有多少分爲離子之故也。

此種氣體分子分爲離子之現象，謂之氣體之游離 (Ionization)。令氣體游離者，有下列之諸種作用：





- (1) 飛行之荷電粒子；
- (2) 火花放電；
- (3) X 線；
- (4) 紫外線；
- (5) 放射體；
- (6) 火焰。

據電子說，分子係陰陽粒子之結合，故受有強大之電力或其他作用，則有時使其放出一個或數個電子。如是，則母體分子變為陽性而成陽離子；脫出之電子附着於他分子而成陰離子。此即游離之起因也。

游離時，常隨之發生輝光；此光係起源於原子，故與分子運動毫無影響；亦不隨之發生比較的高熱又將水蒸氣送於游離之氣體中，則離子成為核心，而使水蒸氣凝結；此雷雨相伴之理也。

紫外線亦具游離作用，其游離易行於稀薄之氣體，故地球上層之空氣，係受日光之紫外線作用而行游離者也。電波來此，一若與導體相遇而行反射。此即電波傳於空氣層內而得迴轉於地球之理也。又夜間輻射之波，較日間能達遠方者，由於不受日光之紫外線之影響，電波被吸收之事較少之故也。

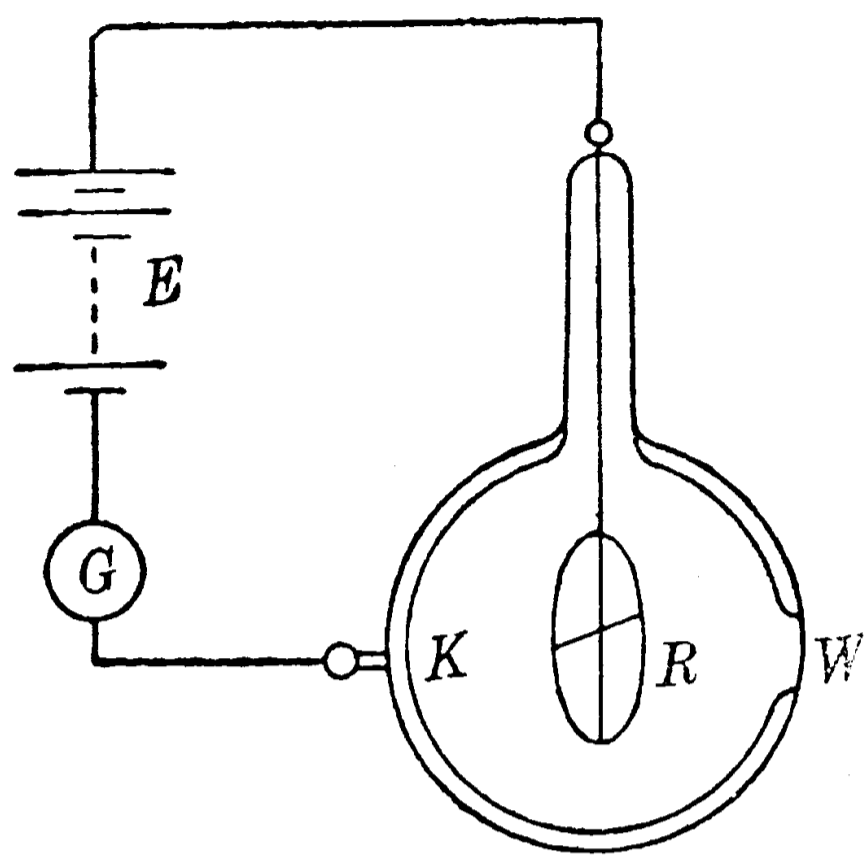
## 八 光電效應

1887年赫芝氏行火花放電之際，證知將紫外線遇於陰極則可使放電容易。1888年多內斯坦之哈爾瓦茲 (Hallwachs 1859—1922) 氏，發見受光之影響而從物體發出陰電氣之現象。勒納爾 (Lenard) 氏發見將紫外線或 X 線遇於某種物體則有電子射出之事。發出之電子之速度，波長小者則速度大，但在紅光或紅外線則無此作用。此事用波動說無從說明，愛因斯坦氏用量子論說明之。即物體之表面由量子之作用以吸收輻射能，各吸收量子  $h\nu$  使電子自物體分離，其能之一部分用於自物體放出電子，他部分給與該電子以  $\frac{1}{2}mv^2$  之運動能。紅外線振動數甚小，故令電子放出之作用亦弱。

如斯金屬或其他物質由光之作用而將電子逸出之現象謂之光電效應 (Photo-electric effect)。此電子係自原子中分離者，稱之為光電子 (Photo-electron)。要之，此現象即輻射能令電子分離也，據量子論得以說明之。

對於可視光線，光電效應之顯著者，為金屬鉀。利用鉀之此種性質而發明之事，為近來廣用於電送攝影，有聲電影及電視 (Television) 等之光電池 (Photocell)。其裝置，如圖，在高度之真空球內，除窗  $W$  之部分外，表面悉塗以純粹之鉀  $K$ 。以此鉀為陰極，管內中央所懸之金屬輪  $R$  為陽極。由電池  $E$

使  $RK$  間成適當之電壓，自窗  $W$  將光線送於  $K$  上，此時則有



電子自  $K$  放出，而與用於輻射之真空球之電子之流，同樣在  $KRGK$  之方向上，發生電子之流。其反對方向所流之電流，得由電流計  $G$  測知之。此作用非常敏銳，雖二哩外之燭光亦得檢出其感度。故可用以測定天體發出之光強與其變化以及微生物之光度等。與鉀相遇之光

之強度有變化時，則光電池之電流亦應之而生敏銳之變化；故可將光之強弱之情況由有線或無線送達遠方。此種光電池之應用，想爾後必將擴大其範圍也。

### 九 光譜線研究之進展

在最近之五十年間，關於發光氣體之光譜線，研究甚詳，已作成光線及紫外線波長之表。

1884年，巴爾麥 (Balmer 1825—1898) 氏關於氫之光譜線之配列，發表一定律，即發見氫光譜線之各振動數  $n$ ，得以次式表之：

$$n = N \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$N$  係一常數，以  $3.291 \times 10^{15}$  計算之。設  $m$  為自 3 至 31 之整數，則可由之以算出氫光譜各線之波長。

又 1908 巴申 氏於紅外線中發見有氫線之一組，知彼等之間亦有如次之關係：

$$n = N \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 4.5 \dots$$

又來曼氏與密爾根氏發見紫外線之氫線中有次之一組：

$$n = N \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 2 \cdot 3 \cdot 4 \dots$$

又瑞士之黎茲氏發表適合於此等之間之一原理，此實新線發見上有用之成就也。

其次，對於 X 線，亦可研究其光譜。當陰極線衝突於對陰極板時，知有二種之 X 線放射：其一為顯示電子因急止而起之連續光譜之 X 線；他一為因對陰極板之種類而異其之特性 X 線。特性 X 線可以整理為 K, L, M 三型之配列。此乃以飛行電子之能，自構成對陰極板之物質之原子之內部，將電子放逐之結果而起之 X 線也。

以上關於光譜之研究，實為光譜理論之基礎，亦波爾麥氏之原子模型之基礎也。

### 一〇 磁場對於光之影響

法拉第氏於 1845 年發見光之極化面之轉動，即所謂法拉第效應。

1896 年最曼氏發見光之光譜線因磁場而分離之現象，即所謂最曼效應。迄乎本世紀，多數學者，對於此等之研究，多依電子論而解說之；最曼效應，對於光之根源係基於構成原子之電子之振動，可謂已證明其事實矣。

## 第四章 力 學

### 一 以太之考察

1887年所行之邁克爾孫及慕黎之實驗，指示以太(Ether)附隨地球運動之關係。前此學者，皆以爲以太爲絕對靜止者，故對於此實驗不禁驚愕。英國之費茲介拉德(Fitzgerald 1851—1901)氏及荷蘭之羅倫徹(Lorentz)氏，於1895年說明物體在其進行之方向上發生收縮，而保持以太靜止說。至二十世紀，米勒與慕黎二氏以比較1887年所作之實驗敏銳四倍之裝置更行實驗，研究各種物質是否有羅倫徹收縮，結果知其不謬。因此愛因斯坦氏遂於1905年發表狹義相對論，1915年發表廣義相對論。其後，關於以太之運動亦有研究，但據米勒氏1921年以來加利佛尼亞之威爾遜山上所作之實驗，可想像地球在空間之運動，爲每秒二百仟米以上。若據威爾遜山上之干涉儀測定之結果，則地球與以太之相對運動，每秒約減少十仟米，惟此等猶未可謂爲確定之論也。一面對於否定以太之附隨運動，亦作種種實驗。以下試將上述之結果略述之。

### 二 邁克爾孫及慕黎之實驗

充滿宇宙間關於光及電磁之介質所謂以太(Ether)者，自種種方面考察之結果，係屬絕對靜止者也。試舉認以太爲絕對靜止之一例言之。

音者，空氣之波也。空氣因風而動時，音波亦隨之而動；故音之進路，實際上趨於曲折。以太若亦係運動者，或係被引於物體之運動抑其他情形而行動者，則此時傳於以太中而來之光之進路亦必曲折。然而，自恆星發來之光，自以甚大速度運動於太陽之周圍之我地球上某處觀測之，則可證明光之進行與地球之運動無關。證明此事之事實，即恆星發來之光行差 (Aberration) 現象也。此即吾人於春季或秋季觀測某一恆星，每在與理論上所決定之方向稍有差異之方向上見之之現象也。在春秋二季，地球與恆星相對，以相互反對之方向而運動。貿然思之，此事或係因以太隨地球而動故光之方向隨之變更，亦未可知；但決非如此也，此卻為光之進行與地球無關係之證據耳。譬如直下之雨，自向東而行之火車中視之，雨線為斜向；又自向西而行之火車中視之，則雨線又為與前反對之斜向；此種在行動之火車中所見之雨之斜向，正可證明雨線為垂直下降者也。與此同理，在春秋時觀測恆星之方向所以不同者，實際即光係直向而來之證據耳。夫累涅爾氏實地研究此光行差，結果確證以太與地球運動無關係。

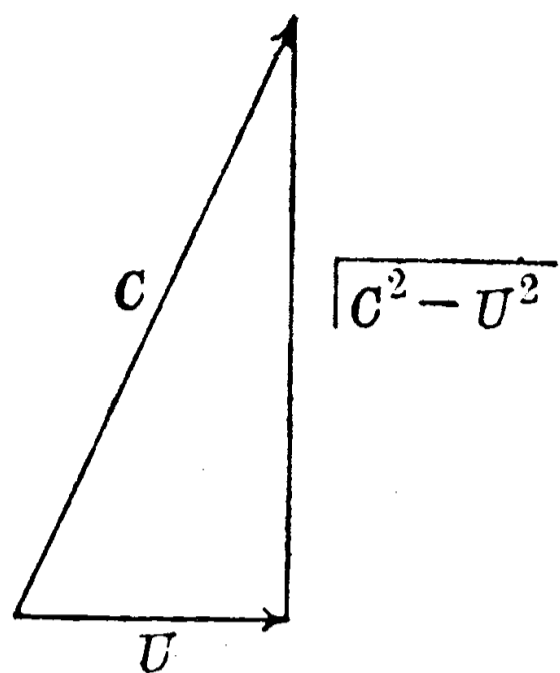
是故，以太係在絕對靜止狀態，地球則在此以太中急速運動。若以地球為標準考之，則謂為地球係靜止於與地球運動方向相反對而流動之以太大川中，其理亦正相同。是故，自地球上之某處發光，往復於地球之運動方向上之某距離  $l$  間，設其所需之時間為  $t$ ，則與船隻上下於川中之情形同理；命  $c$  為光之速度， $v$  為地球運動之速度，則

$$t = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2cl}{c^2 - v^2}$$

又光在與地球之運動方向成直角之方向，往復於距離  $l$  間

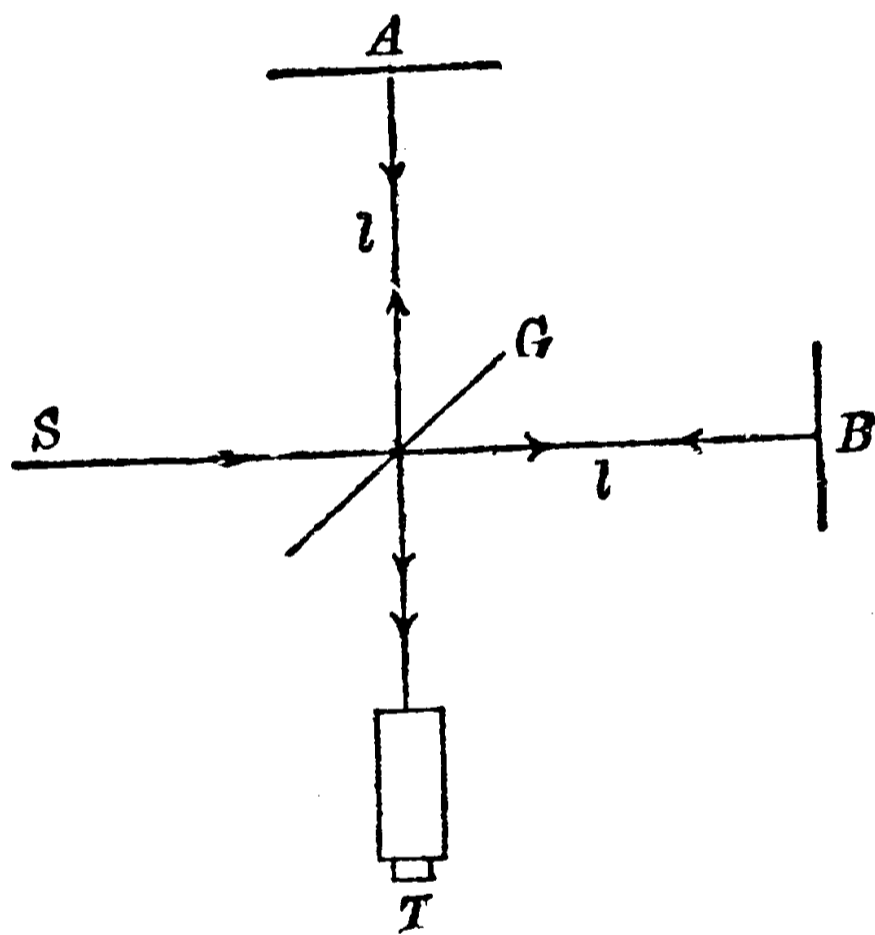
所需之時間  $t'$ ，等於以  $\sqrt{c^2 - v^2}$  之速度往復於  $l$  之距離，故

$$t' = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$



上之二式， $t$  與  $t'$  之值顯然不同。故任以何種方法使往復於上述二徑路之光重合時，則必因二光之位相之不同而生干涉現象。

邁慕二氏研究之，以大規模之裝置，從事實驗。其裝置，如圖，自一光源  $S$  發出之光，由與光之進路成 45 度之角之玻璃板  $G$ ，分而為二：其一即於此處反射，進行  $l$  而達固定鏡  $A$ ，後反射而還於  $G$ ，乃透過鏡  $G$  而來，以望遠鏡  $T$  觀之；同時另一之光通透鏡  $G$ ，進行  $l$  而達固定鏡  $B$ ，由  $B$  反射而來之光，又於  $G$  處反射，亦以望遠鏡  $T$  與前一光一併觀之。此裝置載於石臺，浮於全體為水銀之池上，使得自由旋轉。



用此裝置，令  $SB$  之方向或  $TA$  之方向與地球之運動方向相合，而行精密測驗，不料其結果適與預期相反，即對於能媒與地球運動關係上所可決定之干涉現象，實驗上全不發見。此乃令當時學者驚奇之有名實驗也。

### 三 羅倫徹收縮



羅倫徹氏爲說明邁慕二氏實驗之結果，根據電子論作大膽之假定。即長度  $l$  之物體在長度  $c$  之方向上以速度  $v$  運動時，必在其方向上收縮爲  $l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ 。若是，則前述光在地球之運動方向上，往復於距離  $l$  間所需之時間  $t$ ，作爲  $l$  時，必起  $l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$  之收縮。故

$$t = \frac{2cl\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{c^2-v^2} = \frac{2l}{\sqrt{c^2-v^2}} = t'$$

而與光在與地球運動成直角之方向上往復於距離  $l$  之時間相等。從而此二光亦相合成同位相而來，斯當然不起干涉之現象矣。

據此假定，則物體若以與光速相等之速度運動時，則必在運動方向上收縮而其長爲零，況以較光速更大之速度而運動者乎？從而吾人對於較物理學上之光速更大之速度，可謂毋庸再論矣。

然而，羅倫徹收縮係就靜止之以太所見之收縮，在地球上，吾人對於此種收縮縱曰有之亦不能見之也。例如用尺度測量，因與運動物體在同一運動方上，亦以同一之比例而收縮也。行其他種種實驗時，遂亦不能測知由於地球運動而起之羅倫徹收縮，理亦明矣。然則研究此種對於以太之收縮者，其可謂爲無價值乎？愛因斯坦氏遂注意此點，將自來固執之以太問題，一律推翻，全由新的立場，以說明邁慕二氏實驗之結果，進而有新力學之建設。

#### 四 相對性原理之二前提



因如上所述，對於以太之地球運動，無法測知，亦無何種手段足以認知以太之存在，故 1905 年，愛因斯坦氏認為以太在物質學上毫無價值而否定之，以太所具之性質係保持於物理的空間之中，於是從新建設其對於空間及時間之相對性原理(Principle of relativity)。此原理係根據下述二前提而立者：

(1) 支配一靜止體系之物理現象之定律，對於相對以等速度而運動之運動體系，同樣適用。

(2) 光之速度，一定不變，與光源及觀測者之運動速度無關。

上之二假定，由幾多實驗之結果，證知其為必然而生之假定，亦可謂為公理焉。驟然視之，似為不可思議之假定。例如火車行動時，觀測者與火車同方向運動以觀測火車之速度，則見其較在靜止時觀測者為慢；若與火車成反對方向行動時觀測之，則又若較速；此吾人日常所經歷之實驗也。此並非光之速度如此，無論觀測者如何行動時，光速皆一定不變也。或以為此係矛盾現象，然邁慕二氏之實驗及其他，對於光之部分，已知其必然如此矣。

## 五 時間及空間之相對性

愛因斯坦氏基於上述假定，對於所謂時間及空間二點間之距離，建立其相對的定義。

在牛頓力學，時間及長度并不因物體之運動而有影響。但依相對性原理，則認為對於此等作絕對的定義為不可能。

如圖，設  $S$  與  $M$  為二觀察者， $S$  與  $M$  以相對的速度  $v$  運動。先簡單研究之，假定  $M$  靜止， $S$  以速度  $v$  向矢之方向運

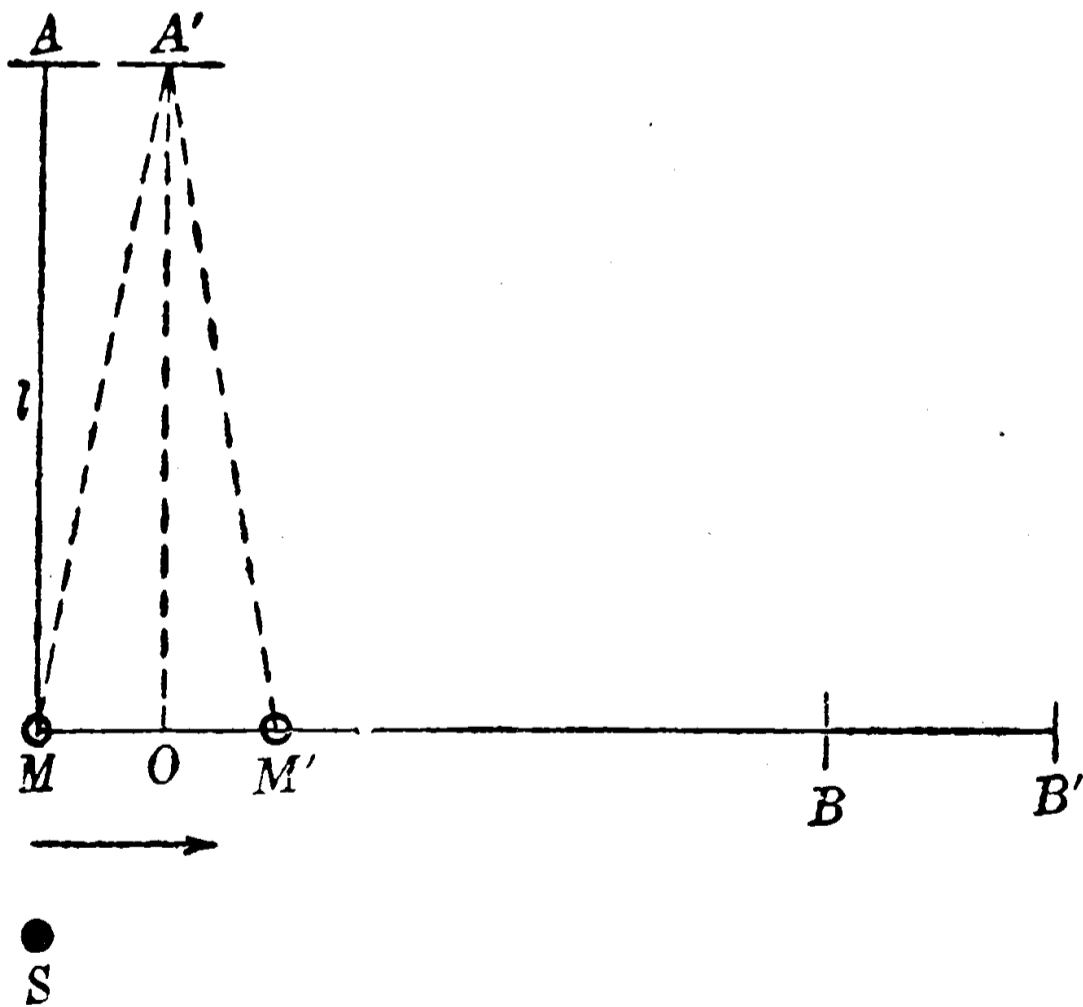
動；稱  $S$  方面為運動體系，稱  $M$  方面為靜止體系。 $M$  觀察者用  $AB$  之鏡行與邁慕二氏之實驗相同之實驗。設光之速度為  $c$ ，光自  $M$  發出，在  $A$  及  $B$  處反射，同時回歸於  $M$ ，此來復之時間，以在靜止體系之正確時計測之，設其為  $2t$ 。此時間  $t$ ，應為

$$t = \frac{l}{c}$$

此理至為明顯，即光往於  $MA$  間之時間與往復於  $MB$  間之時間為相等。

次之，若  $S$  以居運動體系而傍觀此實驗；則因  $S$  無由知悉

自身之運動，以為  $M$  並其實驗裝置以  $v$  之速度向右運動，故如左圖所示而觀察之焉。即光由鏡反射而回歸於  $M$  時，對於  $S$ ， $M$  已移至  $M'$ ， $B$  亦移至  $B'$ 。故進行於  $MA$  方向之光之進路，自  $S$  之運動體系觀之，則為  $MA'M'$ 。以在運動體系之正確時計測其時間，設其值為  $2t'$ ，則因光之速度與運動無關即為與前同等之  $c$ ，故



間，設其值為  $2t'$ ，則因光之速度與運動無關即為與前同等之  $c$ ，故

$$t' = \frac{MA'}{c} = \frac{MO}{v}$$

但

$$\overline{MA'}^2 = \overline{MO}^2 + \overline{OA'}^2$$

$$c^2 t'^2 = v^2 t'^2 + l^2$$

$$t'^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = \frac{l^2}{c^2}$$

$$t' = \frac{\frac{l}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

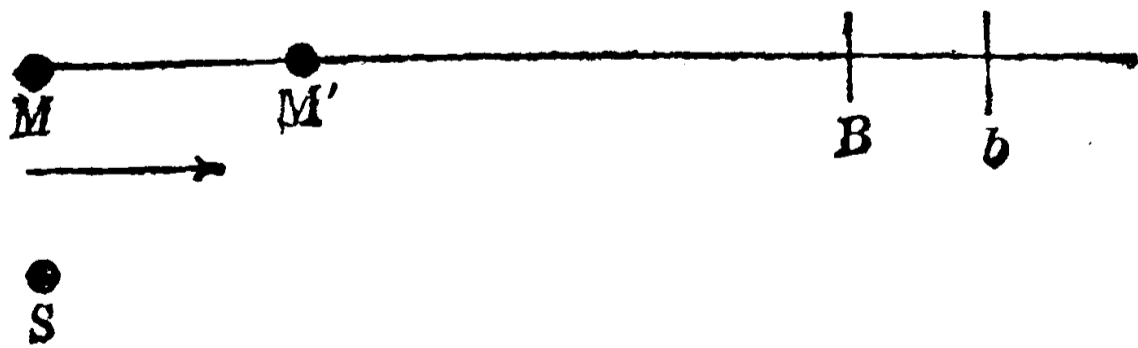
$\frac{l}{c}$  乃靜止體系中行此實驗所需之時間之半，亦即  $t$  也；故

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{或} \quad t' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t$$

$$t' > t$$

此實不可思議之事。同一現象所行之時間，由運動體系之時計測之竟較用靜止體系所測者為長；易言之，即運動體系之時計之一秒較靜止體系之時計之一秒為大。此又可謂為運動體系之時計較靜止體系之時計為慢。是則，時間之觀念，係因運動而異矣。夫運動為相對的，故時間亦非絕對一定而必為相對的也。

茲再將對於長度之相對性說明之。仍用前例。在靜止體系，光進行  $MAM$  之進路，需要  $2t$  之時間；而在運動體系  $S$  視



之，如左圖自  $M$  發出之光，達於鏡時； $B$  已至  $B'$ ；其在回歸時， $M$  已至  $M'$ ，故光之進

路為  $MB'M'$ 。光在此進路上進行所需之時間即前述之  $2t'$ 。從而，此進路有如下之關係：

$$MB'M' = MBM + 2BB' - MM'$$

光以  $c$  之速度進行於  $MB'$  之時間，與鏡以  $v$  之速度進行於  $BB'$  之時間相等；又光進行於  $MB'M'$  之時間與鏡進行  $MM'$  之時間亦相等。故

$$\frac{MB'}{c} = \frac{BB'}{v} \quad \text{又} \quad \frac{MB'M'}{c} = \frac{MM'}{v}$$

$$\begin{aligned} \therefore MB'M' &= MBM + 2\frac{v}{c}MB' - \frac{v}{c}MB'M' \\ &= MBM + \frac{v}{c}(MB'M' + MM') - \frac{v}{c}MB'M' \\ &= MBM + \frac{v^2}{c^2}MB'M' \end{aligned}$$

$$MB'M' \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = MBM$$

$$\therefore MB'M' = \frac{MBM}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

如斯，其進路乃較長焉。

又光進行此進路之時間，在運動體系  $S$  為  $2t'$ ；故光之速度  $c$  為

$$c = \frac{MB'M'}{2t'} = \frac{MBM}{2t' \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$t'$  為靜止體系之時間，相當於  $\frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ，

$$\text{故} \quad c = \frac{MBM}{\frac{2t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{MBM}{2t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

在靜止體系，光之速度  $c$  為

$$c = \frac{MBM}{2t}$$

依相對性原理之第二假定，光之速度，無論在靜止體系或運動體系皆為一定不變者也，故上之二式必相等。即

$$\frac{(MBM)}{2t} = \frac{(MBM)'}{2t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$(MBM) = \frac{(MBM)'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$(MBM)$  表示在靜止體系測驗之實驗者  $M$  與鏡  $B$  之間之距離之二倍，今以  $2l$  代之。又  $(MBM)'$  為同上距離在運動體系  $S$  所觀察之長，以  $2l'$  代之。但，

$$l = \frac{l'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

或 
$$l' = l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

是故，在靜止體系所得之長度  $l$ ，自運動體系見之，則短縮為  $l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  也。即  $S$  當  $M$  為靜止時所觀測之長度  $l$ ，較在  $M$  為運動時則有如此之短縮。亦即靜止時之一米短縮為運動時之  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  米也。此結果與前述之羅倫徹收縮相一致，但此斷定係據相對性之光之速度不變之假定而下者也。

是故，時間空間之判斷，因運動靜止之狀態而異。而所謂運動靜止，亦不能絕對的決定之；故以相對的立場以視時間空

間必人各有殊。是即所謂時間或空間之長，在觀測者亦僅有相對的意味而已。

且時間如此受運動之影響，故時間未可離開空間而單獨論之。是物理之世界無疑為時空結合之世界焉。

閔可夫斯奇(Minkowski)氏，從幾何學上想像，於空間之  $x, y, z$  三軸外，復加入時間  $t$  之一軸，而成時空結合之所謂四次元 (Four-dimension) 之空間，稱之為非猶克立丹空間 (Non-Euclidean space)，而以數學的構成此宇宙。據此，相對性原理之結果乃得以數學的公式整然表明之矣。

## 六 質量之相對性

依光速度不變之原理，可以推論以較光速為小之任何速度相加，必仍較光之速度為小；從而可以結論，決無較光速更速之速度存在也。

設此所在靜止狀態，於此有一質量為  $m$  之物體。假定此物體以與光速相等之速度而運動，此時見有力作用於此物體，物體因不能運動至光速以上，故此力不能給與物體以加速度。易言之，即此物體之質量必增至無限大也。於此，據相對性原理，同一物體之質量亦隨運動之速度而增加，此又為相對的之一定義也。此處不能詳加論述，惟提示凡靜止時之質量  $m$  至運動時必增至次式之  $m'$  耳；即

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

## 七 舊力學之修正

舊力學之基礎，係牛頓之運動定律。其運動之方程式  $f=ma$  係決定對於絕對靜止之基準體之運動者也，今已認為此絕對靜止之基準體之存在為不可能矣。在舊力學，長度，時間，質量均為一定不變者；今則認為其亦隨運動而變化，且須相對的決定之矣。是則欲調和此種情形，對於舊力學之需要修正，亦至顯然矣。以此，乃有在完全之基礎上建設新力學之必要。但若因此而斷定舊力學為全然無價值者，則屬大謬。蓋在通常之運動，固不必以基準體之絕對靜止為必要，故將彼公式略而用之，亦屬可能。又長度，時間，質量之變化初亦就近於光速之大速度而言；在與之相較為極小之速度，其支配吾人日常觀察之種種運動者，牛頓定律固仍得充分應用也。是故，舊力學雖未必為絕對完全之真理，然論其簡單一點，實較新力學具有實際上之價值焉。

## 八 力之相對性

自來之力學，係假想基準體為絕對靜止者，以此，對於有加速度之物體認為係受力之作用。今知此種基準體已為不可能，故於自然現象必須以觀察者為標準而後考察之。從而自來之力之觀念必須加以修改。

電梯上之乘客，在下降之始時，自身之重量似覺減少。若電梯以重力之加速度即所謂  $g$  之加速度下降時，則乘客將覺其自身之重量完全消失。若自電梯以外之標準體視之，則乘客係以  $g$  之加速運動同時受有重力之作用者也。但以乘客自身為標準體時，且此人全不見及其外，則其自身之運動亦將不知，並自身之重量即自身之重力作用，亦不感覺矣。

由此論之，力之觀念亦非絕對的，係因標準體如何而異之

相對的也。

### 九 萬有引力之新理論

地球因太陽之引力而公轉於太陽之周圍。若自地球除去此引力，則地球將因慣性而飛去，此舊力學之所教也。

愛因斯坦氏謂地球與太陽吸引而平衡時，則在地球方面，謂其為無力之作用，亦無不可。無力作用之物體，係依慣性而作直線運動者也。然地球之所以作圓運動者，究竟如何？舊力學論者必將起而相問也。愛氏對此問題，以由於空間為非猶克立丹空間答之。在猶克立丹空間，空間二點之最短距離為連結此二點之直線；但在非猶克立丹空間，普通皆為曲線也。太陽周圍之空間，乃非猶克立丹空間，故地球在其間之運動，自然有應變(Strain)之作用也。

物體周圍之空間，何故如此應變乎？據彼說明，謂萬有引力并非物體間之直接作用，乃由於以太之助；換言之，萬有引力之場亦如電場磁場之在應變狀態，而萬有引力之作用，係以與光速相同之速度而傳來者也，故其與光速有密切之關係，亦屬當然。從而，新力學固不得謂為與光速無關係矣。

#### 一〇 相對論之結論

愛氏主張所有等速度或不等速度運動之相對性，謂無論以何種之運動物體為基準，對之皆能保證運動定律之成立；從而，認為無自來之絕對靜止之基準體之必要，亦得以考察一切運動。此實科學上之一大進步也。

愛氏自等速度運動系之狹義相對性原理(Special theory of relativity)出發，進而說及有加速之普通運動系，將力之普

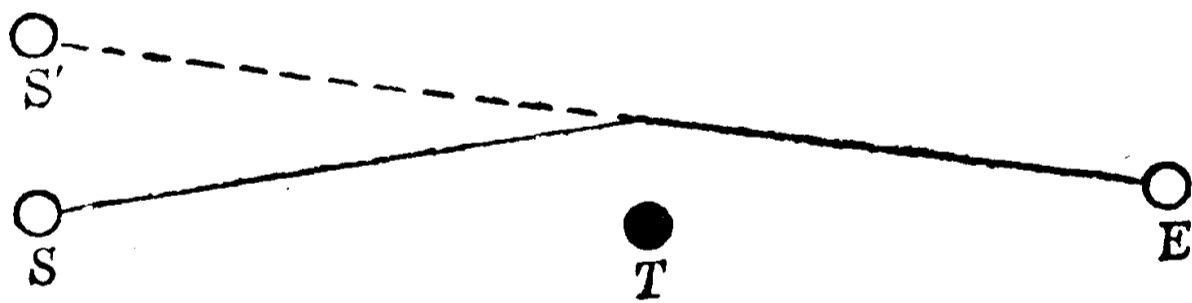


通定律，用高等數學組織為六項方程式。稱之為廣義相對性原理(General theory of relativity)。

### 一一 廣義相對原理之驗證

(1) 水星近日點之移動 行星在太陽周圍公轉之軌道為橢圓形，但其長軸方向則次第變化，從而行星之近日點(即與太陽最近之時)亦係有移動性者也。此種現象，在舊力學上，謂係由於其他天體之引力作用；此說在多數場合，計算與實驗之結果均稱一致，獨水星之近日點，其計算之值與觀測之結果不同，即每百年有 42 秒之差。此現象若自相對論方面就空間之應變論之，則計算之結果與前此所觀測之結果即相一致。此認識廣義相對性之一驗證也。

(2) 光線之屈曲 1911 年，愛氏預言，謂光係通過空間之最短距離者，太陽附近之空間，因太陽之大引力而顯著生應變，故通過此邊之光，必行曲進。



1919 年五月二十九日之日蝕時，曾將現於太陽附近之星體之外觀實行攝影，由攝影結果算出之值，與愛氏之預言甚相一致。此事實就另一方面言之，光亦如能之具有重量而被太陽吸引也。

### 一二 愛因斯坦之宇宙觀

依相對論，物體周圍之空間，係成為力場而生應變，即所

謂非猶克立丹空間也。從而，在相當離放之處，此空間爲球形。如前所述，吾人所研究之宇宙，乃有物體之宇宙也。在有物體存在之範圍之空間，因有其物體，故得生應變，而作成非猶克立丹空間。此空間並非無限乃係有限者也。從而，所謂宇宙之大，乃係以現今已得認知之天體爲基準而言之有限的非猶克立丹空間也。此論爲愛氏所述者。由此，宇宙之廣狹，以物體之多寡而定，亦可得而明矣。

### 一三 航空力學

十九世紀末年之學者，對於並不使用輕於空氣之氣體得以航空而用金屬及木材製造之飛機，懷疑其可能性。

華盛頓之郎萊氏，首先打破此疑點。彼於1891年說明航空力學之實驗，1893年說明風所作之功。在彼之自信之下，於1896年試用其最初之飛行機；更於1903年正式製造，不幸未見成功，即於1906年逝世。

1914年，郎氏之機，裝置新發動機，完成飛行之美事，實驗的證示其航空之原理，郎氏而後，由英國之蘭卡斯脫 (Lanchester) 氏等，進說其理論。當英國飛船發達之時，美國之賴特 (Wright) 兄弟於1903年作初次之飛行。自此以降，航空力學之理論與實驗，着着進步，迄於今日。

## 第五章 物質之構造

### 一 小於原子之物體

依物質之可分性，可想像分子之存在；更由化學的化合及分解之作用，可知分子係由原子構成；此原子說之根據也。而在近代之科學，認為分子原子已超越假想之域作為實在物而論之矣。在此以前，皆認為原子係物質之最終要素，無論以物理的化學的何等方法皆不能使其破壞之有永久生命之微粒者也。然而，康橋大學之湯姆孫氏，於1897年實驗陰極線在電場磁場之曲進時，知此線係由於較原子更小之微粒子之飛行物而成。並知此粒子帶有陰電，其質量約為氫原子之 $\frac{1}{1800}$ ，半徑約為 $\frac{1}{5000}$ 。其為陰極線時，以光速之 $\frac{1}{10}$ 乃至 $\frac{1}{3}$ 之速度而飛行云。

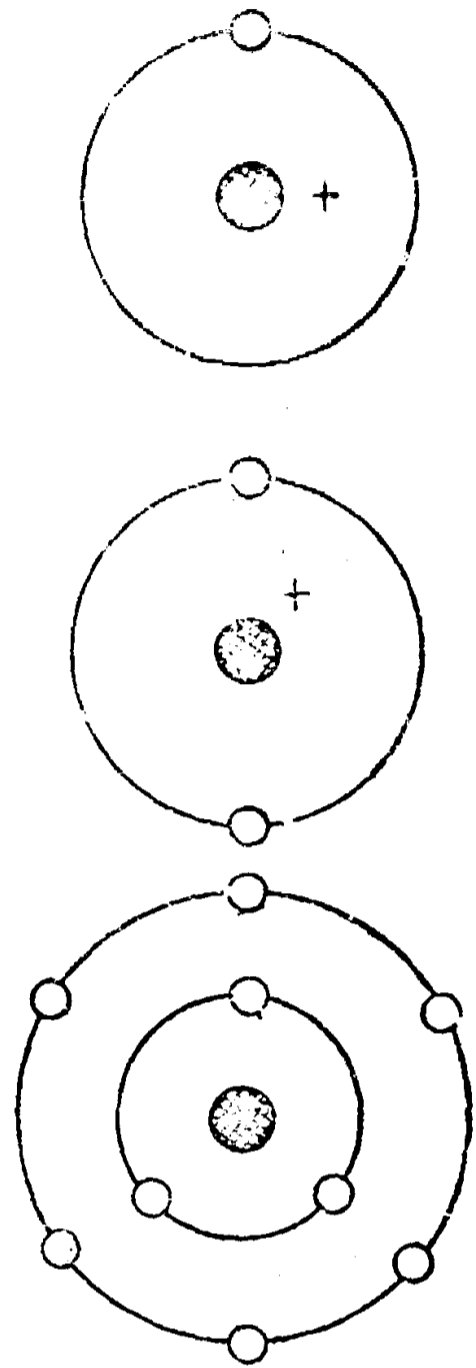
湯氏稱之為微粒子(Corpuscles)。其後，司東萊(Stoney)氏又襲用以前對於氫離子之荷電而稱之電子(Electron)之名。

### 二 原子之構造

由電子之發見，湯姆孫氏及其弟子刺得福氏進而說明此電子必為一切原子之要素，並謂光之光譜即係基於此電子之振動而成。一面復進行放射能之研究，認為放射性物質之原子有時時刻刻崩壞之事實，因是將原子之永久性完全否定。又謂原子崩壞之際，不絕有陰陽電之微粒子放射，故可斷定原子實

爲電的組織。從而宇宙間之多種現象咸歸本於電的作用。

然則此原子成如何之電的組織乎？關於此點，湯姆孫，刺得福等亦曾加以研究；愷爾文并於1901年提出一種原子模型，更由湯氏改良之；但現時爲一般所信者，則係刺得福之模型。據彼之原子模型，則原子之構造如圖，以帶有適當陽電之粒子爲核心，數多之電子恰如行星圍繞太陽而旋轉者，作輪狀而運行。而電子之數及電子輪之數又其配置狀態，係由各種元素而異。



在普通狀態，原子之陽核(Atomnucleus)所具之電量，與所有電子所具之電量相等，成爲電性中和之狀態，故對外殆可視爲不顯電性之作用。但某元素當其放出一個或數個之電子時，則呈陽性；又某元素取得電子時則呈陰性。此陽性原子與陰性原子接近時，則互相授受電子，結果，由其電力之吸引，成爲一體，而起所謂化合之現象。又所謂一價元素二價元素者，可謂指此放出或取得之電子之數而言也。是則所謂化合者，亦不過一種物理的現象耳。

氫可作爲最簡單之原子，在其稱爲質子(Proton)之陽核之周圍，只有一個電子迴轉。原子內之電子數，與元素之原子量共增，同時電子運行輪之數亦相當增加。原子量大者，具有甚多之電子。依理，若能以何等作用能自大原子量元素之原子中除去適當數之陰陽電子，則可由之變爲原子量較小之元素之原子。惟是構成原子之陰陽電子，結合極爲強固，在電場中或可使其成相當之變位，若謂以人工除去之則有所難也。但最近由

刺得福氏等企圖原子之人工變成，其所得之成功前已述及矣。

### 三 原子之陽核

電子之質量，約當氫原子之質量之 $\frac{1}{1800}$ ，故迴轉於原子內之電子之多少，對於原子質量之變化，可不必計；從而，決定原子質量之主體係在其陽核矣。氫為最簡單之原子，其陽核亦最簡單；故此陽核質子不妨視為陽電之素量也。

是故，由陽核之質量以決定各元素之質量時，則氫之原子量為 1，故他元素之陽核，可視為由其原子量之整倍數之質子集合而成者也。

次就其荷電量研究之。試察鐳之蛻變，放出  $\alpha$  線，蛻變為鐳射氣 (Radium emanation)。今已知  $\alpha$  線為失去二個電子之氦原子之陽核；故放出  $\alpha$  線即失去相當於二個電子之電荷。鐳之原子序為 88，鐳射氣為 86。可知元素每原子序減 1，其電荷亦減少相當於電子之電荷。此不過一例耳，據其他種種考察之結果，知陽核之荷電量與原子序成比例。氦之原子量為 4，故其陽核含有四個質子；又其原子序為 2，故其荷電量必為電子之電荷之二倍；故可斷定氦之陽核為四個質及二個電子集合而成。一般言之，各元素之陽核，為其原子量之數之陽核與自原子量減去原子序之差數之電子所構成。陽核亦極小，直徑約為  $10^{-15}$  釐米云。

### 四 核外電子之配布

迴轉於原子核周圍之電子數，當各元素在中性狀態時，等於其元素之原子序；否則，陽核與電子即不行電量之中和矣。是故，氫之原子，陽核質子之周圍，僅有一個電子旋轉；氦之原

子，陽核之周圍有二個電子旋轉。此電子之數依原子序而增加時，則電子因電力之關係，運行一個輪道，使適配布於二個，三個以至多個之輪道上，而成安定。

門特雷業夫(Mendelijeff)週期表之一部分

屬 電子軌數	I	II	III	IV	V	VI	VII	O
1	1 H 1.008 (1)							2 He 3.99 (2)
2	3 Li 6.94 (2,1)	4 Be 9.1 (2,2)	5 B 11.0 (2,3)	6 C 12.00 (2,4)	7 N 14.01 (2,5)	8 O 16.00 (2,6)	9 F 19.0 (2,7)	10 Ne 20.2 (2,8)
3	11 Na 23.00 (2,8,1)	12 Mg 24.32 (2,8,2)	13 Al 27.1 (2,8,3)	14 Si 28.2 (2,8,4)	15 P 31.40 (2,8,5)	16 S 32.07 (2,8,6)	17 Cl 35.46 (2,8,7)	18 Ar 39.88 (2,8,8)
4	19 K 39.10 (2,8,8,1)	20 Ca 40.09 (2,8,8,2)	21 Sc 44.1 (2,8,8,3)	22 Ti 48.1 (2,8,8,4)	23 V 51.06 (2,8,8,5)	24 Cr 52.0 (2,8,8,6)	25 Mn 54.93 (2,8,8,7)	

上方所示之表，表示門特雷業夫週期表中原子序自 1 至 25 比較簡單之元素之週期律。元素符號下之數字示原子量；括號內之數字，係據波爾氏之研究，示最安定之電子配列，即自內部起順次之電子軌道上之電子數也。據此以觀，可知此週期律在物理學上亦頗重要。所謂週期律者，依原子量之次序將各元素配列如上表，在 O I II III 等之同屬元素，表示原子量為週期的迴轉。此規則對於核外電子之配列情形，亦可由上表括號內所示，說明其週期的相似之關係。例如在第一屬鹼金屬，Na 具有(2,8,1)之電子，K 具有(2,8,8,1)之電子，所異者即增加一輪具有 8 個電子之軌道耳。原子之構造上有如是之相似點，故其性質上有相似點，亦當然矣。第二屬鹼土金屬，第 0 屬稀有元素，以及其他同屬元素之相似，可以同樣說明之。

## 五 同位元素

據前述之原子構造觀，各原素之原子量應皆為整數，顧實際則不然；此問題因同位元素(Isotopes)之發見而獲解決。

同位元素之存在，係蘇岱氏等於 1912 年放射能之研究中所預想者；其後，哈佛大學之李卡德(Richards 1868—1928)氏遂發見異源而成之鉛之原子量之不同。蘇氏解決之，謂此等實係同一物質，化學上亦無區別，且發出相同之光譜線，只原子量有差異所謂同位元素是也。1919 年發見此同位元素在較輕之元素中亦有存在。康橋大學之亞司東(Aston)氏確立氖(Neon)之原子量有 20 與 22 之二種同位元素。氖之原子量成 20.2 者，係以上二種同位元素適當混合之故也。彼又決定氯元素之所以具 35.45 之原子量者，乃由具 35 與 37 之二種同



位元素以 3 與 1 之比混合而成。至 1920 年，彼就九種元素決定其同位元素。

因同位元素之發見，自來化學上之認為原子量為元素之特有性云云之見解，乃無意義。雖同一物質原子量亦有不同，一面，同一原子量而為異性質之元素者亦有之。例如 RaD 與針，其原子量皆為 210。是故，原子之主要性質不在原子量而在原子序也。

## 六 波爾之原子模型說

光之光譜線既為基於電子振動之輻射而起，則原子之模型亦必能說明光譜線之現象矣。惟採用刺得福氏之模型即難以說明。波爾氏於 1913 年根據量子論說明彼之原子模型。

據波氏之說，以為原子內之電子決不能在任意之軌道上運行，必在其數個一定之軌道運行方為可能。故電子因某種作用自一軌道移向他軌道時，必發生能之輻射或吸收之作用。

例如，就最簡單之氫素論之，其原子，在荷電與電子相等之陽核之周圍，僅有一個電子旋轉；其軌道若為圓形，則電子於作圓運動時所需要之向心力，必為電子與陽核間之吸引力也。是故，設軌道半徑為  $r$ ，電子之速為  $v$ ，質量為  $m$ ，荷電為  $e$ ，則

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$$

滿足此式，則電子即係在軌道上運行之物。若電子之速度有種種，則軌道亦隨之而有種種，而不具一定之軌道。波爾氏據此研究之，假定在此無數之軌道中，惟有對於軌道中心之電子運動量之能率即  $mvv$  之值等於  $\frac{h}{2\pi}$  之整數倍之軌道為安



定；即

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad \begin{array}{l} n \text{ 爲任意數} \\ h \text{ 爲蒲郎克 (Planck) 常數} \end{array}$$

設以  $n=1$  而計算之，則  $r=0.53 \times 10^{-8}$  釐米。 $n$  爲 2, 3, 4……時，則半徑爲其數之 4, 9, 16……倍。惟此等軌道爲安定；而電子在此等軌道之中，亦以在內側之軌道上運動者爲安定也。最屬安定狀態之氫原子，電子迴轉於  $n=1$  之軌道上，是故，設其半徑爲  $R$ ，速度爲  $V$ ，則依上述之二式，

$$R = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} = 0.53 \times 10^{-8} \text{ 釐米}$$

$$V = \frac{2\pi e^2}{h} = 2.19 \times 10^9 \text{ 秒釐米}$$

命電子在第  $n$  號之軌道上迴轉時對於陽核之勢能爲  $P$ ，則

$$P = \frac{-e^2}{r} = -\frac{4\pi^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

此時電子之動能  $K$  爲

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

$$\therefore P + K = -\frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

即電子在外方之軌道上迴轉時，原子內之能較多。是故，以某種作用使電子自一軌道移向他軌道時，則該處必有能之放射或吸收也。且自某一定軌道移於他一定軌道時，放出或吸收之能，根據上式，必爲一定；設此數爲  $\varepsilon$ ，則輻射之能必爲  $\varepsilon$  之倍數。就此  $\varepsilon$  言之，有如下之關係，

$$\varepsilon = h\nu$$

即放出一定之能  $\varepsilon$  時，則放出由此式所決定之  $\nu$  之振動

數之輻射波；又振動數  $\nu$  之輻射波，僅為以  $h\nu$  所表之能被吸收，此事波耳氏就氫素加以研究，比較理論所得之  $\varepsilon$  之值，與實驗上所得氫原子所發輻射線之振動數，知其頗相一致「彼計算氫原子輻射線之振動數時係採用來曼，巴爾麥，卜爾生 (Pershon) 諸氏之式」。

## 七 結晶體之構造

伯刺各 (Bragg) 父子研究結晶體之原子之配列，據謂，在結晶體，其原子配列整齊，恰可作為較普通之光所使用之繞射光柵細至一萬倍之格子云。1912年，勞厄氏令  $X$  線通過於薄結晶板，攝成由  $X$  線之繞射而生之斑點之影像。又伯氏令  $X$  線自結晶體面反射，亦得同樣之結果，而用以測定  $X$  線之波長。

使用已知波長之  $X$  線，以明結晶體中原子之配列，繼續研究結晶體之構造者，為達爾文 (Darwin) 及昆普吞 (Compton) 諸氏。

令強度之  $X$  線衝擊結晶體之薄板而通過之，攝製此通過之  $X$  線之影，則得與光之干涉條線相似之條線。研究其理，則知  $X$  線等波長極短之波，對於普通障礙物並不因起迂回而生所謂繞射現象，但在極小如原子之障礙物，則迂回之而生繞射。 $X$  線通過結晶時，在直進之線以外，並於其周圍作成整然之干涉條線者，乃因結晶體之原子與其間隙形成一種繞射光柵之故耳。更就其干涉條線研究之，推定原子與原子空隙作成何種之繞射光柵，若是即可推定原子配列之模樣矣，亦即可以想像各種結晶體之原子配列矣。例如巖鹽，可認為在立方體之各角，氯與鈉之原子係成交互存在之構造而配列者。如斯，各

種原子皆成均勢之配列，故欲謂以某原子與某原子形成分子，則有所不能矣。從而，有主張在結晶不得以分子論之之說者。

光之波長，得由繞射之現象計算之。故由以結晶體之原子配列作為繞射光柵所得之 X 線之條線，亦得測定 X 線之波長。其結果，此波長有種種，最長約為光之波長之三百分之一，最短約為三萬分之一。

## 第六章 電磁學

### 一 光之電磁說之發展

馬克士威氏之光之電磁說，在前世紀時，更由赫芝及赫維賽德 (Heaviside) 諸氏加以發展；惟此說之主要點仍限於電場磁場之一般定律；並未想及起於物質之內之情形也。及電子論出，乃不得不建立適合於此情形之電磁說；來頓之羅倫徹氏，即由此而作成其有權威之研究。

在電子說，以爲謂電現象由於以太中之電子振動而起，寧謂爲由於物質中之電子振動而起。電之傳導可用導體中之自由電子之運動說明之；至非導體之變化則係因電力使電子變位而起。又磁性可視爲起因於電子之圓動云。

如斯，電磁說與電子說之間，乃具有適當之關係足供研究者。

### 二 無線電報

電磁說之偉大應用，即利用電波以通信之事，入本世紀而見完成。無線電報之非常發達，由於檢波器之改良。

赫芝氏受馬克士威氏之光之電磁說之暗示，爲明瞭電磁波之實在，乃對檢出此波之檢波器作種種之研究。粉末檢波器 (Coherer) 由布藍勒 (Branly)，洛奇及意大利之馬可尼 (Marconi) 諸氏之研究而進展；尤以馬氏用鎳片與銀片作成之

粉末檢波器，使無線電報得見成功；無線電報之最初五年間即係使用此種粉末檢波器者也。1906年，礦石檢波器 (Crystal detector) 因美國之唐武台 (Dunwoody)，波士頓之畢卡德，哈佛大學之皮爾司 (Pierce) 諸氏之研究而發展。至真空球檢波器 (Vacuum valve detector) 即熱電管之發明，則係湯姆孫氏多年研究之所賜也。湯氏之弟子李卡生 (Richardson) 氏稱由熱金屬射出之電子為熱游子 (Thermo-ions)。此作用係1883年愛迪生氏所發現。1904年，倫敦之佛來銘氏，利用真空球內金屬或炭素極所發出之熱游子作成所謂佛來銘真空球。又德國之愛斯台 (Elster) 及季特 (Geital) 等亦曾作成同樣之真空球。用此球使電振動有整流之可能，此可用電流計或受話計檢知之。真空球之擴大作用，係1906年美國之佛萊斯特 (Forest) 氏所發明，雖極微弱之電振動亦得感知。彼復將真空球加以改良，造成如現時之三極真空管 (Three electrode vacuum tube) 即所謂三極管 (Audion)。因此發見，無線電報及電話乃成非常之發達。

以下試將檢波器之作用予以簡略之說明。

### 三 檢波器之作用

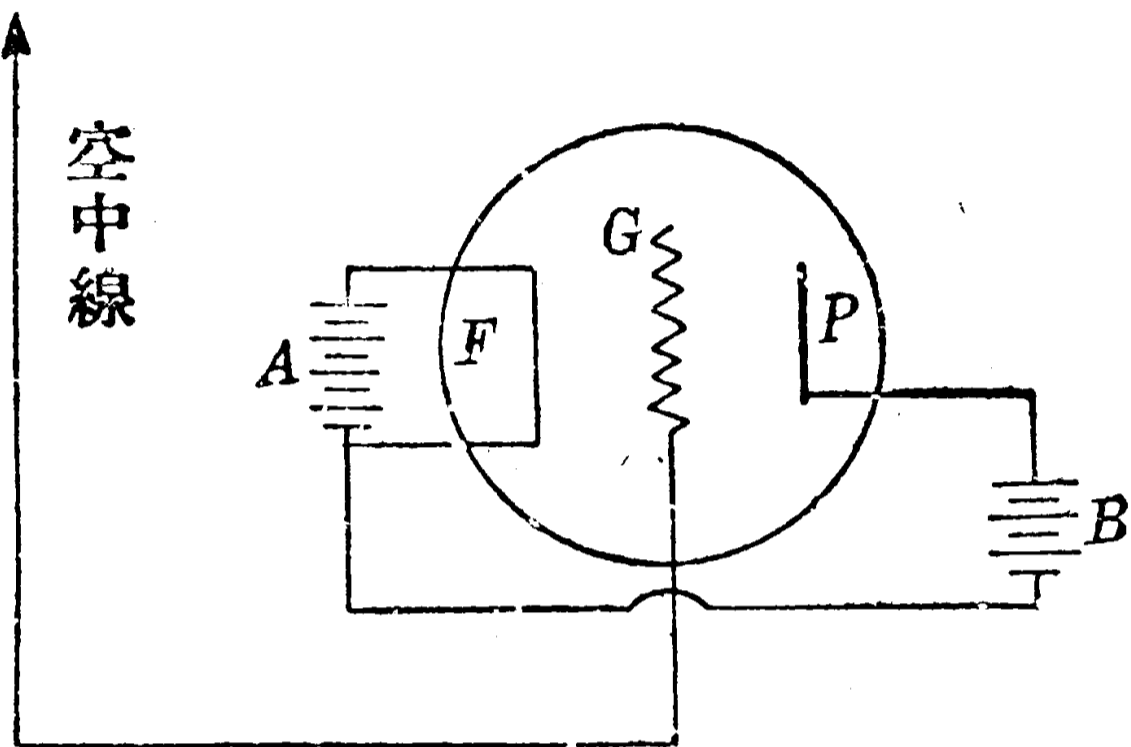
檢定電波之存在之裝置謂之檢波器 (Wave detector) 現時用於無線電報之檢波器為礦石檢波器及真空球檢波器。接受電報時，最適合者為收話器 (Receiver)，亦稱收報器。此器雖通以數萬數百萬之振動數之電振動亦決不起震動使與耳以音之感覺；故欲使收話機震動，須使電振動整流為一定方向之電流，而後由之通於收話器。

礦石檢波器或真空球檢波器均係完成此整流作用 (Recti-

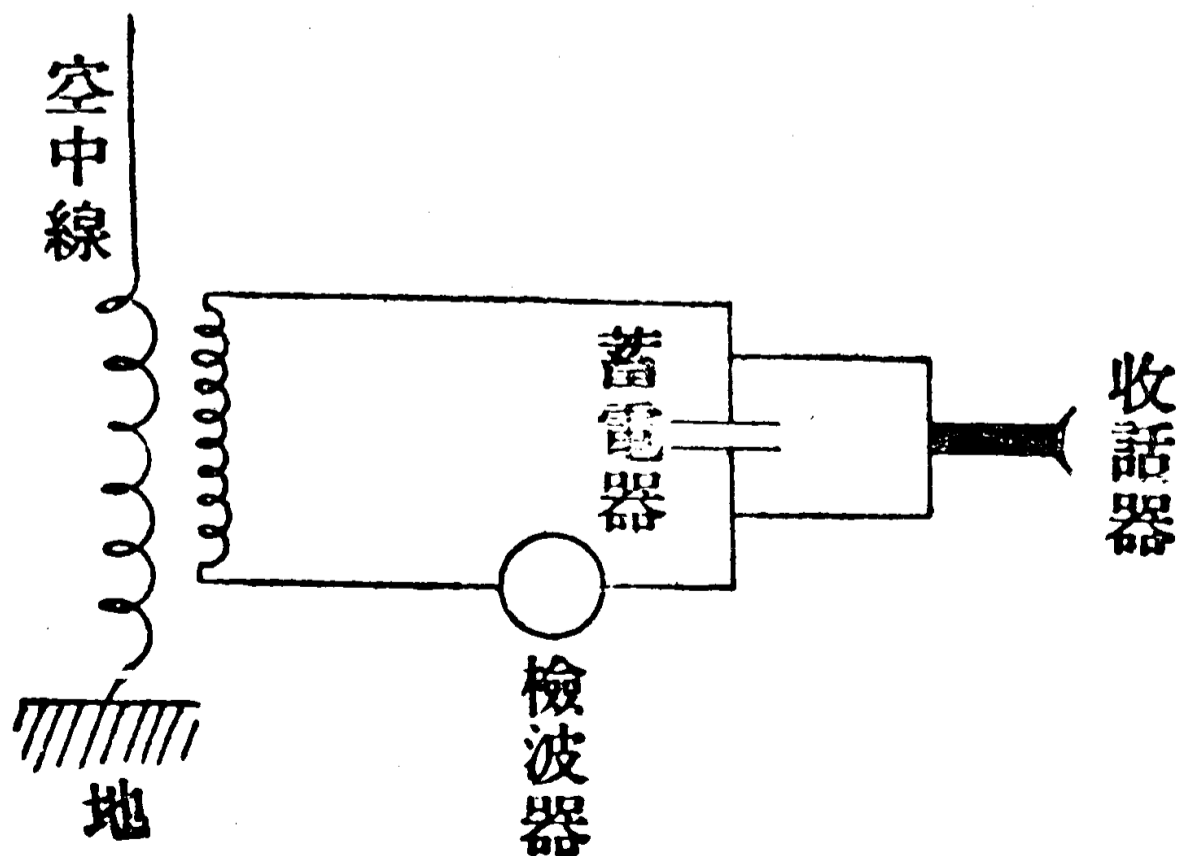
fication) 者也。前者係利用接觸於紅鋅礦或黃銅礦等之某種礦石後僅通過一定方向之電流之性質；後者係利用熱金屬放出電子之性質也。

真空球檢波器之構造，如下圖，燈絲 (Filament)  $F$ ，極板 (Plate)  $P$ ，及柵極 (Grid)  $G$ ，封入真空球內。由電池  $A$  赤熱  $F$ ，則自  $F$  放出電子。

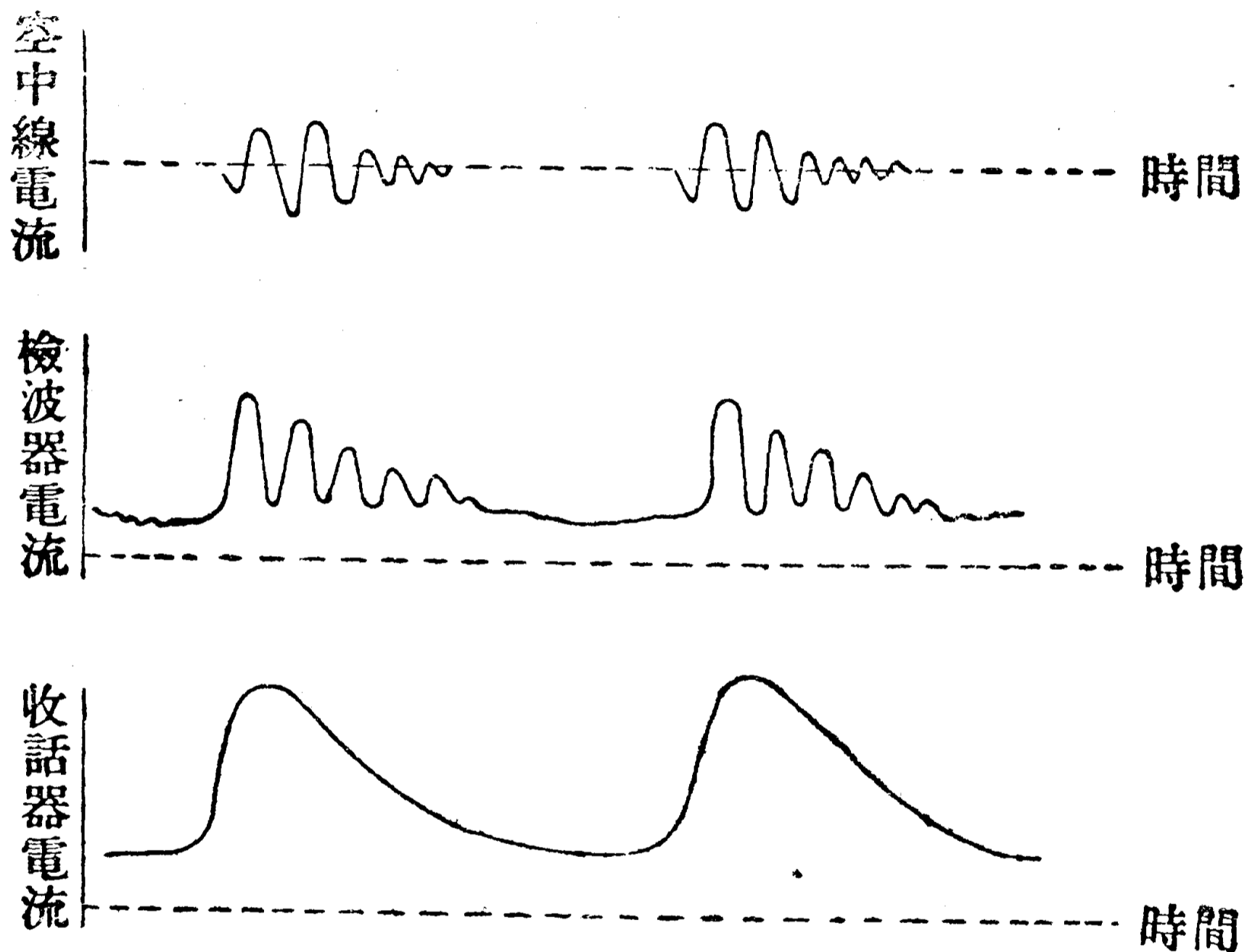
$P$  因電池  $B$  而帶陽電，故此帶陰電之電子乃吸引於  $P$ ；在  $F$  赤熱之時，向  $P$  發生電子之流，電子即以  $FPBF$  之方向流動。易言之，即在  $PFBP$



之方向上發生一定強度之電流也。此時若有電波到來，則空中線中發生電振動， $G$  乃正負交互而帶電。從而，自  $F$  向  $P$  流動之電子，忽而被吸引，忽而被反撥；故  $PFBP$  方向上之電流應電波之振動數而消長。於是，電振動乃在真空球回路上整流為應其振動數而消長之一定方向之電流矣。



收話器之組織，如上圖。係於檢波器回路中與一蓄電器並列插入而成，故已經整流之電流，一旦充電於蓄電器，則由之通於收話器而放電。故在由火花放電而生之衰減波之收話時，其空中線電流，檢波器電流及收話器電流，乃成下圖所示之情形：



故當收話器極板之振動數一致於火花之次數（數十乃至數百）而火花連續發生時，則聞得應此振動數而生之音。是故，加減火花之發生時間，則發出長短之音，故可用以傳送電報符號。

其在無線電話 (Radio-telephony)，則係用持續波，由應音而變化之送話器內之抵抗，在空中線中，使發出相應之電振動；而將此持續波之變化感應於收話器。



#### 四 種種之電磁波

電及磁之現象，係基於周圍以太之應變，從而電磁之能亦係存在以太中，已如上述。所謂以太作用說之必然的結果云者，即在發生電振動之場合，此應變之狀態以波動之形式向四方傳播而生所謂電磁波也。

如前所述，波動之速度  $V$ ，得以次式表之：

$$V = K \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \begin{array}{l} E \text{ 爲介質之彈性率} \\ \rho \text{ 爲介質之密度} \end{array}$$

馬克士威氏，比較此式，證明理論上電波之速度得用次式表之：

$$V = \frac{v}{\sqrt{K\mu}} \quad \begin{array}{l} K \text{ 爲感應電率(靜電單位)} \\ \mu \text{ 爲透磁率(電磁單位)} \end{array}$$

此式中之  $v$ ，係真空中光之速度之值。據此觀之，電波之速度，在真空中(或空氣中)時，因真空中之  $K=1$ ， $\mu=1$ ，故與光之速度一致，實驗之結果亦相一致。

電波係通過於真空中者，故可想及電波之介質即光之介質所謂以太其物也。通常，一定之波動，係以一定速度進行於一定之介質中者也。苟電波光波若均以同一速度進行於相同之以太中，則吾人即將想像彼等或即爲同種類之波也；因是馬克士威氏遂論定光爲電磁波矣。而其性質之不同，一以波長之大小而定云。雖在波長相差并不甚大之熱線化學線，其性質與光線即大不相同，是則波長極大之電波其性質與光之有所不同，亦自當然矣。



茲將現時稱爲電磁波之諸波動之波長，比較如次：

電 波	——	{ 最長—— $10^9$ 米 最短——0.02 釐米
紅 外 線	——	最長——0.0342 釐米
光 線	——	{ 赤端——0.0000810 釐米 紫端——0.0000360 釐米
紫 外 線	——	最短——0.00000136 釐米
X 線	——	{ 最長——0.00000012 釐米 最短—— $10^{-9}$ 釐米
RaB所放 之 $\gamma$ 線	——	{ 最長—— $13 \times 10^{-9}$ 釐米 最短—— $7 \times 10^{-10}$ 釐米

(紫外線與 X 線之間，尚有未知之部分)

## 回 顧

古代之科學者，惟憑思索冥想，而不重視事實之觀察，故不能捉握真正之原理。至十七世紀，漸知破棄自來之習慣而踏上實驗物理之第一步。思想家對於不具理性之自然界之事實，多已具有真實的智慧態度矣。此世紀之主要先導人物，爲伽利略，刻卜勒，惠更斯及牛頓諸氏。在此世紀，已能行科學之一大普遍化。萬有引力定律之建立，知運動於地球上之物體之重力，亦得適用於太陽系之一切天體；而古代以神祕之說所附會之事象，已至觸諸人間之手矣。

十八世紀，重力定律向天體力學之精細的應用，已從事於數量的研究；惟其他方面之數量關係之研究，則尙未及也。當時有所謂熱素質(Caloric)燃素(Phlogiston)者，可謂爲此時代之紀念物。

至十九世紀，種種方面，新定律與新假說層見疊出；且於此等定律與假說之間，研究其相互之關係，確立明白之秩序，並統一之；謂本世紀爲相互關係之世紀；誠屬適當。前此紀之各種個別之形式，俱已聯係爲“物質”及“能”二種新穎觀念。

十九世紀之物理學者，自信已捉握自然現象之偉大面目，可謂已達自足之頂點。然至二十世紀之學者，但更欲進於神祕之域，今日且已入於困於整理之狀態。其獲得物理事實之大知識固不必論，惟就此等事實之合理的一致一點言之，實較前世紀爲非常不完全；此點毋寧有逆行之觀歟？不可解之假說相繼

---

發見，而其間未能見其統一；結果知何，誠難預測。據此意味，今日之物理界，實所謂入於新進之昏迷時代。

# 人名索引 (一)

## A

Al-Hazen	965—1038	阿爾哈臣	13
Amontons	1663—1705	亞孟東	58
Ampere	1775—1836	安培	122
Andrews		安德呂	95
Ångström	1814—1874	埃斯特稜	88
Arago		阿刺各	68
Archimedes B. C.	287?—212	阿基米得	6
Aristotle		亞里斯多德	5
Aston	1877—	亞司東	186
Atwood	1746—1807	阿特武德	55
Avogadro	1776—1856	亞佛加德羅	108

## B

Babinet	1794—1872	巴俾內	70
Bacon	1214—1294	培根	17
Baily	1864—	倍雷	146
Balmer	1825—1898	巴爾麥	166
Barkla	1877—	巴克拉	163
Bartholinus		巴陶林	48
Becquerel	1852—1909	柏克勒爾	120
Bell (Graham)	1847—1922	貝爾	147
Berliner		伯林勒	147
Bernoulli		柏勞里	108
Biot		俾奧	68
Birkeland		伯克南	160
Black		伯那克	60

Blake		白拉開	147
Boethius	480—524	波休	11
Bohr	1885—	波耳	159
Boulliau		保魯	51
Bourseul		波爾塞	147
Boyle	1627—1691	波義耳	25
Bradley	1693—1762	伯拉德雷	42
Bragg	1862—	伯刺各	189
Branly		布郎勒	136
Breuster		柏盧斯脫	67
Bunsen	1811—1899	本生	85
<b>C</b>			
Caillete		凱立脫	95
Cardano	1501—1576	卡丹奴	16
Carlisle		卡里斯婁	64
Carnot	1796—1832	噶爾諾	68
Cavendish	1731—1810	加文狄西	32
Celsius	1701—1744	攝休	59
Chardwick		卡德維克	154
Charles	1746—1823	查理	94
Chladni	1756—1827	克那德尼	149
Clausius	1822—1888	克勞修	67
Cleomedes		克勞米德	11
Compton	1892—	昆普吞	189
Coolidge		古力琪	163
Copernicus	1473—1543	哥伯尼	19
Cotes	1682—1716	哥台	32
Coulomb	1736—1806	庫倫	55
Crookes	1832—1918	克魯克斯	139
Cros		克羅	92

Ctesibius		台雪比	6
Curie (P.)	1859—1906	居利	152
Curie (S.)	1867—	居利夫人	140

## D

Daguerre	1789—1851	大格尼	85
Dalence		岱南斯	51
Dalton	1766—1844	道爾頓	10
Daniell	1790—1845	丹聶爾	121
D'Arsonval	1851—	達松發爾	125
Darwin		達爾文	189
Davy	1778—1829	大衛	67
Delamber		德蘭培	69
Democritus	B. C. 460—370	德謨克里賓斯	7
Desaguliers		岱沙勾萊	59
Descartes		達斯卡德	25
Dewar	1842—1923	杜瓦	95
Divisch		代維許	62
Dontani		唐岱里	160
Doppler	1803—1853	都卜勒	86
Draper	1811—1882	德雷柏	85
Duane		杜勒	163
Du Fay	1698—1739	杜飛	61
Dunwoody		唐武台	192

## E

Edison	1847—1931	愛迪生	92
Einstein	1879—	愛因斯坦	27
Elster	1858—	愛斯台	192
Empedocles	B. C. 440	安帕多克勒斯	7
Epicurus	B. C. 310—270	歐比古拉斯	10

Erg		爾格	99
Euclide	B. C. 300	歐基里德	7
Eudxus		歐德克休	19
Euler	1707—1783	歐拉	53
Ewing	1855—	攸英	136

## F

Fabroni		法伯勞尼	120
Fahrenheit	1686—1736	華倫埃	58
Faraday	1791—1868	法拉第	62
Fechner		佛熙萊	120
Ferraris	1847—1897	富爾拉尼	146
Fitzgerald	1851—1901	費茲介拉德	168
Fizeau	1819—1896	菲左	82
Flaugergues		夫勞才古	94
Fleming	1849—	佛來銘	95
Fontaine		馮丹	146
Fontana		馮旦那	13
Forest		佛萊斯特	192
Foucault	1819—1868	佛科	82
Fourier		傅立葉	68
Franklin	1706—1790	富蘭克林	55
Fraunhofer	1787—1826	夫牢因和斐	84
Fresnel	1788—1827	夫累涅爾	68

## G

Galileo	1564—1642	伽利略	11
Galvani	1737—1798	加爾凡尼	63
Gassendi	1592—1655	加生狄	54
Gauss	1777—1855	高斯	67
Gay-Lussac	1778—1850	給呂薩克	95

Geissler	1814—1879	蓋斯勒	138
Geital		季特	192
Gellibrand	1597—1637	蓋里伯南	53
Gilbert	1540—1603	吉柏	19
Gockel		哥克	162
Goldstein		哥德斯丹	139
Graecus		格那寇司	15
Gramme		格刺謨	146
Gray	?—1736	葛雷	61
Greene		格林	92
Grimaldi		葛尼馬底	49
Grothuss	1785—1822	葛羅塞茲	119
Grove		格羅夫	121
Guericke	1602—1686	古力克	25

H

Halley	1656—1742	哈萊	25
Hallwachs	1859—1922	哈爾瓦茲	165
Harkins		哈金	154
Hauksbee		何克斯比	53
Hauron		哈龍	92
Hausteen	1784—1873	胡斯頓	136
Heaviside		赫維賽德	191
Helmholtz	1821—1894	赫爾姆霍斯	97
Henry	1799—1878	亨利	130
Heraclitus		赫拉克力特斯	11
Heron		赫隆	6
Herschel	1738—1822	赫瑟爾	57
Hertz	1857—1894	赫芝	132
Hess		霍斯	162
Hipparchus		海巴丘斯	19



Hirn		亥爾因	106
Hooke		虎克	25
Huggins	1824—1910	后金司	87
Hughes		囂斯	148
Hulls		后爾	59
Humboldt	1769—1859	漢保特	137
Hunnings		亨林	147
Huygens	1629—1695	惠更斯	22

## J

Jacobi		雅科俾	146
Janssen	1824—1907	蔣蓀	152
Joennides		瓊立台	23
John Dallond		約翰大隆	56
Joly		左尼	92
Joule	1818—1889	焦耳	96

## K

Kant		康德	10
Kayser (H.)	1853—	凱式	86
Keesom		開桑	159
Kelvin (Lord)		愷爾文	97
Kepler	1571—1630	刻卜勒	19
Kirchhoff	1824—1887	克希荷夫	85
Kolhörster		高哈司特	162
König	1832—1901	哥尼	150
Kronig		克羅涅	67
Kundt		昆忒	149
Kurlbaum	1857—1927	高爾本	156

## L

Lagrange		拉葛郎休	68
Lambert		朗伯	58
Lanchester		蘭卡斯脫	181
Langley	1834—1906	朗萊	91
Laplace	1749—1827	拉普拉斯	54
Latour		拉陶	150
Laue		勞厄	163
Lavoisier	1743—1794	拉瓦錫	60
Leclanche		勒克蘭社	121
Leibniz		李布力	36
Lenard	1862—	勒納爾	165
Lenz	1804—1865	楞次	141
Lewis	1863—1926	柳維司	161
Lippershey		尼潘雪	23
Lippmann	1846—1921	尼蒲曼	92
Lochyer	1836—1920	駱克易耳	152
Lodge	1851—	洛奇	134
Lorentz	1853—1928	羅倫徹	168
Lucretius	B. C. 95—52	盧克里丘	11
Lummer	1860—1925	魯麥	156
Lyman	1874—	來曼	161

## M

Magnus		馬留司	15
Malus	1775—1812	馬呂斯	79
Marat		馬拉	60
Marci		麥西	49
Marconi	1874—	馬可尼	191
Marcus		馬爾寇司	15
Mariotte	1620—1684	馬略特	25
Masson		瑪蓀	37

Maxwell	1831—1879	馬克士威	62
Mayer	1814—1878	馬伊耳	96
McLennan		麥克倫蘭	162
Mechain		麥強	69
Melloni	1798—1854	麥羅里	91
Mendel	1822—1884	孟德爾	11
Mendelijeff		門特雷業夫	185
Mersenne		麥生勒	54
Michelson	1852—1931	邁克爾遜	70
Miller		米勒	85
Milliken	1868	密爾根	162
Minkowski		閔可夫斯奇	177
Montgolfier		孟脫哥斐	95
Morley	1838—1923	慕黎	93
Morse	1791—1872	模斯	147
Musschenbrock	1692—1761	茂斯岑伯羅	59

## N

Nernst	1864—	涅恩斯特	120
Neumann		柳曼	67
Newcomb	1835—1909	紐康	82
Newcomen		紐柯門	59
Newton	1642—1727	牛頓	11
Nicholson		泥科爾遜	64
Nicol		泥科爾	81
Niepee	1765—1833	李蒲斯	85
Nobert	1806—1881	羅卜	88
Nobili		羅比尼	91
Nockam		勞干	15
Norman		勞門	24

## O

Oersted	1777—1851	奧斯脫	122
Ohm	1789—1854	歐姆	125
Onnes	1850—1926	翁內	159

## P

Page	1812—1868	培奇	130
Paneth		巴勒特	154
Papin		巴平	38
Pascal	1623—1662	巴斯噶	25
Paschen	1865—	巴申	161
Pease		拜司	160
Peltier		拍爾提	140
Perigrinus		伯利格利呂	16
Pershen		卜爾生	189
Peter Dallond		彼得大隆	56
Peters (Walter)		彼德司	154
Picard		畢卡德	53
Pictet	1846—	畢司推	95
Pierce		皮爾司	192
Planck	1858—	蒲郎克	156
Plante	1834—1889	伯南德	121
Plato		柏拉圖	7
Pliny	23—79	伯尼萊	8
Plucker		帕呂克	86
Poggendorff		潘干道夫	67
Poisson	1781—1840	怕松	78
Pringsheim	1859—1917	蒲寧相	156
Ptolemy		他里枚	7
Pumford		龐佛爾	94

Pythagorus      B. C. 500?      畢他哥拉斯

### R

Ramkin		蘭金	97
Ramsay	1852—1916	蘭社	152
Ramsden		藍茲登	56
Rankine		郎肯	97
Rayleigh (L.)	1842—1919	雷萊	156
Regnault	1810—1878	勒勞	95
Reis		尼斯	147
Rey		雷伊	51
Richards	1868—1928	李卡德	186
Richardson	1879—	李卡生	192
Richer		黎丘	36
Richmenn		黎其門	62
Righi		李海	136
Ritter	1776—1810	列脫	91
Ritz	1878—1909	黎茲	161
Robinson		魯濱孫	65
Römer	1644—1710	勒麥	42
Röntgen	1845—1923	倫琴	139
Roscoe		洛斯皋	108
Rosse		路斯	57
Rowland		羅蘭	88
Ruhmkoff	1803—1877	魯謨可夫	130
Runge (C.)		倫修	86
Rutherford	1871—	刺得福	88

### S

Sauveur	1653—1716	梭威	65
Savart	1791—1841	薩發爾	150

Savary		塞凡萊	130
Schott		斯可脫	94
Scott		司可特	150
Seebeck	1780—1831	席貝克	140
Seneca	2—61	綏勒卡	11
Short (James)		蕭特	57
Siemens	1872—	西門子	141
Snell	1591—1626	斯涅爾	42
Soddy	1877—	蘇岱	152
Stahl	1660—1734	斯塔爾	60
Staite		司太特	141
Steinheil		司丹亥耳	147
Stevin	1548—1620	司蒂文	21
Steward		司特華	156
Stokes	1819—1903	斯托克	93
Stoney	1826—1911	司東萊	139
Strömmer		斯特浪門	59
Sturgeon	1783—1850	司土將	121
Swan		司望	141

## T

Tesla		忒斯拉	146
Thales	B. C. 640—546	泰里斯	8
Theophrastus		托甫拉斯特	8
Thilorier		台牢尼	95
Thompson	1753—1814	湯蒲遜	94
Thomson (J. J.)	1856—	湯姆孫	139
Thomson (William)		湯姆孫	96
Torricelli	1608—1647	托里拆利	25
Tyndall	1820—1893	丁道爾	51

## V

Villard		緯刺德	152
Viviani	1622—1703	菲維尼	37
Volta	1745—1827	伏特	63

## W

Watson (William)		瓦臣	62
Watt (James)	1736—1819	瓦特	59
Weber	1804—1891	維伯	67
Wedgwood		威德渥	59
Wheatstone	1802—1875	惠斯登	81
Wiebe		維伯	94
Wien	1864—1928	維恩	156
Wilde (Henry)		維爾德	141
Wollaston	1766—1828	武拉斯吞	84
Wright	1871—	賴特	181
Wullner	1835—1908	武婁	86

## Y

Young	1773—1829	楊恩	67
-------	-----------	----	----

## Z

Zeeman		最曼	86
Zucchi	1586—1670	休奇	49

## 人名索引 (二)

### 二 畫

丁道爾	Tyndall	1820—1893	51
卜爾生	Pershen		189

### 三 畫

大格尼	Daguerre	1789—1851	85
大衛	Davy	1778—1829	67

### 四 畫

丹聶爾	Daniell	1790—1845	121
夫牢因和斐	Fraunhofer	1787—1826	84
夫累涅爾	Fresnel	1788—1827	68
夫勞求古	Flaugergues		94
牛頓	Newton	1642—1727	11
巴俾內	Babinet	1794—1872	70
巴平	Papin		38
巴申	Paschen	1865—	161
巴克拉	Barkla	1877—	163
巴陶林	Bartholinus		48
巴勒特	Paneth		154
巴斯噶	Pascal	1623—1662	25
巴爾麥	Balmer	1825—1898	166

### 五 畫

他里枚	Ptolemy		7
代維許	Divisch		62
加文狄西	Cavendish	1731—1810	32



加生狄	Gassendi	1592—1655	54
加爾凡尼	Galvani	1737—1798	63
左尼	Joly		92
卡丹奴	Cardano	1501—1576	16
卡里斯婁	Carlisle		64
卡德維克	Chardwick		154
古力克	Guericke	1602—1686	25
古力琪	Coolidge		163
台雪比	Ctesibius		6
台牢尼	Thilorier		95
尼斯	Reis		147
尼蒲曼	Lippmann	1846—1921	92
尼潘雪	Lippershey		23
本生	Bunsen	1811—1899	85
司土將	Sturgeon	1783—1850	121
司太特	Staite		141
司可特	Scott		150
司蒂文	Stevin	1548—1620	21
司丹亥耳	Steinheil		147
司東萊	Stoney	1826—1911	139
司望	Swan		141
司特華	Steward		156
皮爾司	Pierce		192
白拉開	Blake		147
瓦臣	William Watson		62
瓦特	James Watt	1736—1819	59
布郎勒	Branly		136

## 六 畫

伏特	Volta	1745—1827	63
休奇	Zucchi	1586—1670	49

攸英	Ewing	1855—	136
安帕多克勒斯	Empedocles	B. C. 440	7
安培	Ampere	1775—1836	122
安德呂	Andrews		95
吉柏	Gilbert	1540—1603	19
后爾	Hulls		59
后金司	Huggins	1824—1910	87
列脫	Ritter	1776—1810	91
托里拆利	Torricelli	1608—1647	25
托甫拉斯特	Theophrastus		8
米勒	Miller		85
西門子	Siemens	1872—	141
亥爾因	Hirn		106

## 七 畫

伽利略	Galileo	1564—1642	11
何克斯比	Hauksbee		53
伯尼萊	Pliny	23—79	8
伯克南	Birkeland		160
伯利格利呂	Perigrinus		16
伯那克	Black		60
伯林勒	Berliner		147
伯刺各	Bragg	1862—	189
伯拉德雷	Bradley	1693—1762	42
伯南德	Plante	1834—1889	121
佛來銘	Fleming	1849—	95
佛萊斯特	Forest		192
佛科	Foucault	1819—1868	82
佛熙萊	Fechner		120
亨利	Henry	1799—1878	130
亨林	Hunnings		147

克那德尼	Chladni	1756—1827	149
克勞米德	Cleomedes		11
克勞修	Clausius	1822—1888	67
克希荷夫	Kirchhoff	1824—1887	85
克魯克斯	Crookes	1832—1918	139
克羅	Cros		92
克羅涅	Kronig		67
杜勒	Duane		163
杜瓦	Dewar	1842—1923	95
杜飛	Du Fay	1698—1739	61
李布力	Leibniz		36
李卡德	Richards	1868—1928	186
李卡生	Richardson	1879—	192
李海	Righi		136
李蒲斯	Niepce	1765—1833	85
忒斯拉	Tesla		146
貝爾	Graham Bell	1847—1922	147

## 八 畫

亞司東	Aston	1877—	186
亞里斯多德	Aristotle		5
亞佛加德羅	Avogadro	1776—1856	108
亞孟東	Amontons	1663—1705	58
刻卜勒	Kepler	1571—1630	19
來曼	Lyman	1874—	161
帕呂克	Plucker		86
怕松	Poisson	1781—1840	78
拉瓦錫	Lavosier	1743—1794	60
拉陶	Latour		150
拉普拉斯	Laplace	1749—1827	54
拉葛郎休	Lagrange		68

拍爾提	Peltier		140
岱沙勾萊	Desaguliers		59
岱南斯	Dalence		51
法拉第	Faraday	1791—1868	62
法伯勞尼	Fabbroni		120
波休	Boethius	480—524	11
波耳	Bohr	1885—	159
波爾塞	Bourseul		147
波義耳	Boyle	1627—1691	25
泥科爾	Nicol		81
泥科爾遜	Nicholson		64
彼得大隆	Peter Dallond		56
彼德司	Walter Peters		154
孟脫哥斐	Montgolfier		95
孟德爾	Mendel	1822—1884	11
季特	Geital		192
阿基米得	Archimedes	B. C. 287?—212	6
阿特武德	Atwood	1746—1807	55
阿爾哈臣	Al-Hazen	965—1038	13
阿刺各	Arago		68
居利	P. Curie	1859—1906	152
居利夫人	S. Curie	1867—	140
昆忒	Kundt		149
昆普吞	Compton	1892—	189
虎克	Hooke		25
武拉斯吞	Wollaston	1766—1828	84
武婁	Wullner	1835—1908	86
門特雷業夫	Mendelijeff		185

九 畫

刺得福	Rutherford	1871—	88
-----	------------	-------	----

保魯	Boulliau		51
哈金	Harkins		154
哈萊	Halley	1656—1742	25
哈爾瓦茲	Hallwachs	1859—1922	165
哈龍	Hauron		92
拜司	Pease		160
洛奇	Lodge	1851—	134
洛斯皋	Roscoe		108
查理	Charles	1746—1823	94
柏克勒爾	Becquerel	1852—1909	120
柏拉圖	Plato		7
柏勞里	Bernoulli		108
柏盧斯脫	Breuster		67
柳維司	Lewis	1863—1926	161
柳曼	Neumann		67
約翰大隆	John Dallond		56
胡斯頓	Hausteen	1784—1873	136
威德渥	Wedgwood		59
席貝克	Seebeck	1780—1831	140

## 十 畫

倍根	Bacon	1214—1294	17
倍雷	Baily	1864—	146
倫琴	Röntgen	1845—1923	139
倫修	C. Runge		86
俾奧	Biot		68
埃斯特稜	Ångström	1814—1874	88
格羅夫	Grove		121
格那寇司	Graecus		15
格刺謨	Gramme		146
格林	Greene		92

泰里斯	Thales	B. C. 640—546	8
海巴丘斯	Hipparchus		19
哥尼	König	1832—1901	150
哥台	Cotes	1682—1716	32
哥伯尼	Copernicus	4773—1543	19
哥克	Gockel		162
哥德斯丹	Goldstein		139
唐岱里	Dontani		160
唐武台	Dunwoody		192
庫倫	Coulomb	1736—1806	55
翁內	Onnes	1850—1926	159
郎肯	Rankine		97
茂斯岑伯羅	Musschenbrock	1692—1761	59
紐柯門	Newcomen		59
紐康	Newcomb	1835—1909	82
高斯	Gauss	1777—1855	67
高哈司特	Kolhörster		162
高爾本	Kurlbaum	1857—1927	156
馬可尼	Marconi	1874—	191
馬伊耳	Mayer	1814—1878	96
馬呂斯	Malus	1775—1812	79
馬克士威	Maxwell	1831—1879	62
馬拉	Marat		60
馬略特	Mariotte	1620—1684	25
馬留司	Magnus		15
馬爾寇司	Marcus		15

## 十一 畫

勒納爾	Lenard	1862—	165
勒克蘭社	Leclanche		121
勒麥	Römer	1644—1710	42

勒勞	Regnault	1810—1878	95
培奇	Page	1812—1868	130
康德	Kant		10
密爾根	Milliken	1868—	162
朗伯	Lambert		58
朗萊	Langley	1834—1906	91
梭威	Sauveur	1653—1716	65
都卜勒	Doppler	1803—1853	86
畢他哥拉斯	Pythagorus	B. C. 500?	7
畢卡德	Picard		53
畢司推	Pictet	1846—	95
麥生勒	Mersenne		54
麥西	Marci		49
麥克倫蘭	McLennan		162
麥強	Mechain		69
麥羅里	Melloni	1798—1854	91

## 十 二 畫

焦耳	Joule	1818—1889	96
凱立脫	Caillete		95
凱式	H. Kayser	1853—	86
馮丹	Fontaine		146
馮旦那	Fontana		23
勞干	Nockam		15
勞厄	Laue		163
勞門	Norman		24
富爾拉尼	Ferraris	1847—1897	146
富蘭克林	Franklin	1706—1790	55
惠更斯	Huygens	1629—1695	22
惠斯登	Wheatstone	1802—1875	81
湯姆孫	William Thomson		96

湯姆孫	J. J. Thomson	1856—	139
湯蒲遜	Thompson	1753—1814	94
菲左	Fizeau	1819—1896	82
菲維尼	Viviani	1622—1703	37
華倫埃	Fahrenheit	1686—1736	58
斯涅爾	Snell	1591—1626	42
斯可脫	Schott		94
斯托克	Stokes	1819—1903	93
斯特浪門	Strömnen		59
斯塔爾	Stahl	1660—1734	60
最曼	Zeeman		86
涅恩斯特	Nernst	1864—	120
給呂薩克	Gay-Lussac	1778—1850	95
費茲介拉德	Fitzgerald	1851—1901	168
閔可夫斯奇	Minkowski		177
開桑	Keesom		159
傅立葉	Fourier		68
雅科俾	Jacobi		146

十 三 畫

奧斯脫	Oersted	1777—1851	122
塞凡萊	Savary		130
楊恩	Young	1773—1829	67
楞次	Lenz	1804—1865	141
愛因斯坦	Einstein	1879—	27
愛迪生	Edison	1847—1931	92
愛斯台	Elster	1858—	192
葛尼馬底	Grimaldi		49
葛雷	Gray	?—1736	61
葛羅塞茲	Grothuss	1785—1822	119
綏勒卡	Seneca	2—61	11



路斯	Rosse		57
達松發爾	D'Arsonval	1851—	125
達斯卡德	Descartes		25
達爾文	Darwin		189
道爾頓	Dalton	1766—1844	10
愷爾文	Lord Kelvin		97
雷伊	Rey		51

## 十 四 畫

漢保特	Humboldt	1769—1859	137
瑪蓀	Masson		37
蒲郎克	Planck	1858—	156
蒲寧相	Pringsheim	1859—1917	156
蓋里伯南	Gellibrand	1597—1637	53
蓋斯勒	Geissler	1814—1879	138
維伯	Wiebe		94
維恩	Wien	1864—1928	156
維伯	Weber	1804—1891	67
維爾德	H. Wilde		141
赫瑟爾	Herschel	1738—1822	57
赫芝	Hertz	1857—1894	132
赫拉克力特斯	Heraclitus		11
赫隆	Heron		6
赫維賽德	Heaviside		191
赫爾姆霍斯	Helmholtz	1821—1894	97
爾格	Erg		99

## 十 五 畫

德雷柏	Draper	1811—1882	85
德謨克里賓斯	Democritus	B. C. 460—370	7
德蘭培	Delamber		69

慕黎	Morley	1838—1923	93
潘干道夫	Poggendorff		67
黎丘	Richer		36
黎其門	Richmenn		62
黎茲	Ritz	1878—1909	161
模斯	Morse	1791—1872	147
蔣蓀	Janssen	1824—1907	152
歐比古拉斯	Epicurus	B. C. 310—270	10
歐姆	Ohm	1789—1854	125
歐拉	Euler	1707—1783	56
歐基里德	Euclide	B. C. 300	7
歐德克休	Eudxus		19
魯謨可夫	Ruhmkoff	1803—1877	130
魯麥	Lummer	1860—1925	156
魯濱孫	Robinson		65

## 十六畫

緯刺德	Villard		152
盧克里丘	Lucretius	B. C. 95—52	11
霍斯	Hess		162
賴特	Wright	1871—	181
駱克易耳	Lochyer	1836—1920	152
噶爾諾	Carnot	1796—1832	63

## 十七畫

雷萊	Lord Rayleigh	1842—1919	156
邁克爾遜	Michelson	1852—1931	70

## 十八畫

蕭特	James Short		57
----	-------------	--	----

薩發爾	Savart	1791—1841	150
十 九 畫			
龐佛爾	Pumford		94
瓊立台	Joennides		23
羅卜	Nobert	1806—1881	88
羅比尼	Nobili		91
羅倫徹	Lorentz	1853—1928	168
羅蘭	Rowland		88
藍茲登	Ramsden		56
二 十 畫			
蘇岱	Soddy	1877—	152
二 十 一 畫			
攝休	Celsius	1701—1744	59
蘭卡斯脫	Lanchester		181
蘭社	Ramsay	1852—1916	152
賀斯	Hughes		148
蘭金	Ramkin		97

中華民國二十九年十月初版

嚴

◎(52172.8)

物理學史一冊

每冊實價國幣壹元貳角

外埠酌加運費匯費

原著者 弓場重泰

譯述者 秦亞修

長沙南正路

發行人 王雲五

印刷所 商務印書館

各埠

發行所 商務印書館

◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎  
◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎  
◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎  
◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎  
◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎◎

(本書校對者張嘯天)

