





MG  
04-1  
3

# 最近物理學概觀

日下部四郎太	原著
鄭 貞 文	編譯
周 昌 壽	校訂

商務印書館發行



3 1773 9231 7

ISBN 7-119-02311-7

## 最近物理學概觀

### 序

自然科學之基礎在物理學，而哲學之根據亦在物理學；輓近自相對論出，而空間時間之意義以新；自放射論出，而物質之觀念以變；自量子論出，而能之作用以明。時空質能，構成物理學之要素，即構成哲學之要素也。故生於今日，不事學問則已，苟欲求智識，則最近物理學之進步，不能不加之意焉。

國人漠視科學教育久矣，自羅素東來，以物理學為根據，而發表其哲學之思潮，唇敝舌焦，學國幾莫能解。於是有志之士始恍然知科學之重要；然又以素養不足，不克窺其奧妙，大有望洋興歎之感。余久欲就輓近物理學上之進步，舉其涯略以供初學參考；適得日本帝國大學教授日下部博士所著「物理學大觀」讀之，以為提綱挈領，深入顯出，適足以應吾國今日社會之需求。因冒暑從事逐譯，改其名曰「最近物理學概觀」從原書之英名也。(Outlines of Modern Physics)

原書分八章：(一)序論(二)空間(三)時間(四)能(五)物質(六)電磁作用(七)相對律(八)量子論；本係第二高等學校教授文科學生之講義。日本高等學校為帝國大學預科，近年改革學制，文科課程中始有自然科學一門；然因學生數學之程度較低，而所需之物理學標準亦復不同，故其教案尤不易立。此書於物理學之主要觀念，皆由舊而新，由淺而深，由近而遠，由具

體而抽象，既易理解，尤饒興趣，步步引人入勝。余讀而譯之，恍若往日親聆博士莊諧雜出之講演，不知其汗流浹背也。

此書可作吾國大學預科及高級中學文科學生自然科學之教科書；又可作中等學校理化教員及中等學校以上學生之參考書；即非專習科學者讀之，亦當隨分而各有所得，此余之所以樂為介紹者也。

余譯此書，固以信達為主，但其中日本固有之材料，則概以吾國相當者易之（如第二十一節之標準時區等）間有誤植亦加訂正。（如第二十八節之分子性狀式）並就引用之人名地名單位名等，附註原字於各頁之末，以便閱者。稿成，復經同學周君昌壽校正，然後付梓，謹弁數語，以誌吾師編纂之功，與吾友校訂之勞。

民國十一年九月十一日 鄭貞文讀

## 原 序

入森林之中，詳查其一樹一木而評價者，非工匠之徒，即材木之賈也。世人遠而望其外，則呈雄大之觀；近而遊其內，則生幽雅之感。至於一枝一幹之曲直，一花一葉之盛衰，則非其所問者也。學術亦然，科學者及實業家所認為必要之物理學，與一般人士欲為文化的之全人者，所應知物理學之範圍，不能同一。適於前者之物理學，其著述雖不甚患其少，而適於後者之書籍，則坊間絕無，此蓋因從前學制以培養學究及實業家為目的，而加物理學於教授科目中所生之必然結果而已。

最近改革學制，高等學校高等科之文科學生，亦有自然科學一目，以物理學為一部而教授之，此舉甚合我意，無寧已恨其遲；當局之目的何在，雖非所知，然文科學生將來不望其成科學家，故不必教授以科學者所必要之物理學，又彼等非欲專修應用科學如工學者，故亦不必教授以營利為目的之物理學甚明。果爾，則教授文科學生以物理學之目的，殆欲完成其智識，使為文化的之全人可以斷言。

鶴鶉巢於深林，不見蒼蒼之天而終其一生，大森林內之住民，生長於古木參天之下，能道其一幹一枝之盤屈而不能狀森林全體之形，若詢其所居之鄉占何地位，則茫然不得概念。故森林愈大，則非離森林之外登至高之台，愈難將森林之大觀，收於一目之下。森林且然；況今之物理學，語其大則以全宇為狹，語其細則雖一刹那之際，尚含過去與未來；欲出其域外

而大觀之，又豈易事？

余因兼任母校——第二高等學校——講師，試行教授文科學生之物理學，即將講義修補付印而成此書；余於此稿不敢自信其為佳作，但對於教育文科學生使成為文化的之全人，其所必要之物理學，如何編法？誠為目下之大問題，其成否有甚大之影響。故余以為與其閉戶思考，如何將原案公表於世，供人討論，而後採衆議而加訂正，較為有益，抑亦目前之急務也。願讀者諸君詳察其意而賜教焉。

自然科學之中物理學與化學，應如何分配授課，亦為不能獨斷之大問題。在第二高等學校，分其時數為二與一之比。故一學年除休假外九個月之內物理學應授六個月，計二十四週，每週三小時，共七十二小時，故本書自序論至結論亦分為七十二節。但事實上授畢本書，不必須七十二時間，余曾於九月上旬至十一月下旬未滿一學期之內，講述此書之大意，故知一時間兼授兩節亦非難事。

至於教授方法，余亦略有意見：以為學生之中，如有發生興趣或認為必要之事項，務使其口述一遍，但若非一切學生所公共必要之事項，則不必要求其悉須理解與記憶。換言之，教授要目之取材，當以各個學生所必要多數事項之最小公倍數為標準，至要求其完全理解與記憶，則僅以一般學生所必要少數事項之最大公約數為標準而已。故本書中所包羅之事項自他一方面觀之，或嫌過多，當不致失之太少，但捨去過

多之部分，則易事耳。

本書於第一章序論：述物理學發展之順序，與物理學對於國家社會之關係，並略說關於後章必要之豫備事項。第二章空間：先論空間之三次元性，次論地球及各種天體之大小，及其配列，使讀者得空間有如何廣大之觀念。第三章時間：先述時間測定之方法，並明由此決定之年月日時之意義。第四章能：由溫度之概念進而至熱與功之關係，次述分子運動說與勢能，又經波動、輻射等說而終於電場之能。第五章物質：先說由物性測定質量之種種手段，並略述物質之構造，及蛻變與原子進化之順序，其後論至大如地球與天體與至小如原子等之質量測定法。第六章電磁作用：由物質之磁性，略述地磁之現象，繼敘電與磁之相互作用，以入電子說，而至於由電磁論之立脚地所見之質量。第七章相對律：由牛頓力學上運動之相對性，論及同時刻之意義，於畧說特別相對性原理之後，明示力之相對性，並及四次元之宇宙，而以其實驗的之驗證為結論。第八章量子說：總合以上各章，明自然界之不連續性，又由信率論說自然現象之不可逆性，但因信率較少之事象，亦有時發生，故自然界永無達於窮極之機會，而斷定其當永久存在。

千九百二十一年十二月十四日

日下部四郎太識於仙台

# 最近物理學概觀

## 目次

序.....1

原序.....1

### 第一章 序論

第一節 神話及宗教.....1

神話 天體之崇拜 信仰之祖 銀河之說明  
宗教之起源

第二節 占星術..... 3

朔望及肉體的變化 人生運命之豫知 自然科學之起源 天動說 恆星 遊星 黃道 五行七曜 大金字塔建設之目的 洪水之豫報 氣候上之一週年 歲差 北極星之移動 國王之墓

第三節 自然科學..... 7

哲學 物理學 迷信 東洋的思想 自然之法則 致知格物 科學的承認 貓及死人 電流之發見

第四節 量之測定及其誤差..... 9

量 函數 科學的研究 自然科學之目的 波波長 振數 波之速度 測定 單位 數值

直接測定 間接測定 實驗 絕對誤差 比較 誤差	
第五節 信率及原因之有無.....	13
因果關係 偶然事件 信率 提言之精確度 怯者 迷信者 原因之潛在 學生之例	
第六節 單位之運算.....	15
名數之運算 單位之乘除 計算尺 會計量 圖示法	
第七節 向量.....	19
向量 向量之運算 自然現象之要素 哲學者 之問題 數學者之運動觀 抽象的形式科學 實質的科學	
<b>第二章 空間</b>	
第八節 三角測量.....	22
位置 空間之三次元性 三角形之解法 基線	
第九節 地球.....	24
子午線 緯度 地球之周圍 標準米達尺 地 球之長徑及短徑 壹海里 高山及深海 地球 之表面積 海及陸之體積 地球表面上之高低 差 地球儀之形狀 地面之傾斜 大陸及大洋 之配置	
第十節 月.....	28

天頂距離	月之距離	月之半徑	月之體積	
衛星	月之公轉	月之自轉	朔	望
	下弦	歐亞之天候		
第十一節 太陽系.....				31
木星之衛星	蝕之週期	光之速度	太陽之距離	
離	博德之法則	天王星之發見	小遊星	萬
有引力	海王星之發見	太陽系之直徑		
第十二節 恆星界.....				35
恆星之距離測定方法	最近恆星	壹光年	獵	
戶座 $\alpha$ 星之距離	星之等級	星之數	變光星	
[大陵五]星	恆星之公轉	連星間之距離		
第十三節 新星.....				38
暗黑星	溫度及色	新星出現之度數	英仙座	
之新星及其距離	新星出現之原因	流星	隕	
石	天降鐵			
第十四節 天體之運動.....				41
景	燃料及火	景之變位	都卜拉之原理	恆
星公轉之速度	恆星軌道之半徑	太陽之自轉		
太陽系之運動	螺狀星雲	星雲之運動速度		
星雲之距離				
第十五節 宇宙之限界.....				44
銀河系	馬吉朗雲之距離	武仙星團之距離		

可能望見之最遠距離 同時刻之意義 繼起關係  
 宇宙之中心 世界之限界

### 第三章 時間

- 第十六節 時間之自然的單位 ..... 47  
 自然現象之等時性 時間之測定 一日 一月  
 一年 溫帶 熱帶 寒帶 赤道直下 一年及  
 四季 一日及一晝夜 一朔望 一恆星日  
 一太陽日
- 第十七節 時計 ..... 50  
 日時計 漏刻之法 秒時刻 脈動 擺 時計  
 之要素 平均太陽日 時 分 秒 時間之單  
 位 時計之正否 天體觀測 平均太陽時及恆  
 星時之關係
- 第十八節 太陰曆 ..... 52  
 一朔望月 一週歸年 曆法 三十三年忌之起  
 源 羅馬曆 月名之起源
- 第十九節 太陽曆 ..... 55  
 尼羅河洪水之豫報 朱旒皇帝之改曆 奧加斯  
 他斯皇帝之改正 七月及八月皆大之理由 閏  
 年之配置法
- 第二十節 舊曆 ..... 57  
 節及中 四季之區別 月之大小 閏月之配置

法 節令表 舊曆與農事 新年 東洋之春夏 秋冬與西洋之四季	
第二十一節 時刻 .....	60
時刻之基點 地方時 里差 標準時 中國標 準時區 一日再晨 世界一週所需之日數	
第二十二節 時間之伸縮 .....	64
一日之定義 時間之不定 時計與運動速度之 關係 時間從屬於空間	
<b>第四章 能</b>	
第二十三節 溫度計 .....	67
溫度 膨脹 水銀溫度計 華氏之刻度法 攝 氏之刻度法	
第二十四節 熱及其移動 .....	68
溫度之變化 熱 潛熱 熱之效果 傳導 對 流 輻射 施蒂芬—博爾赤曼之法則	
第二十五節 熱及功 .....	71
熱量之單位 熱之發生 熱力學之第一法則 運動速度 加速度 力 力之單位 運動距離 重力之值 二力之平衡 三力之平衡 功 功 之單位 運動之方向	
第二十六節 熱機關 .....	75
熱功當量 熱機關 高熱源 低熱源 熱力學	

之第二法則 效率	
第二十七節 分子運動說.....	76
分子 剛體 彈性體 液體 氣體 流體 壓力 絕對零度 運動量 壓力之算定	
第二十八節 空氣之壓力.....	79
壹氣壓 吸上唧筒 空氣之高 高氣壓 低氣壓 風 分子運動之速度 分子之衝突回數 平均自由行程	
第二十九節 能.....	83
動能 布朗運動 分子之數 變形 勢能 水車 風車	
第三十節 熱能.....	87
熱之本體 絕對溫度 博以爾—夏爾之法則 蒸汽機關之原理 流體壓 蒸汽臥輪	
第三十一節 振動.....	91
振動 勢能之所在 弦之振動 縱振動 橫振動 自由振動 強制振動 音波 振幅之變化 共振 共鳴	
第三十二節 波動.....	93
振動之傳播 波形 位相 波動 粒子說 波長 週期 振數 波之速度 縱波 橫波 自然光 極化光 電氣石之特性	

---

第三十三節	地震 .....	95			
震源	震央點	火山性地震	地陷地震	震源	
之距離	初期微動	主要動	地震之振幅	震	
災之多少					
第三十四節	望遠鏡及顯微鏡 .....	97			
屈折率	透鏡	焦點	實像	虛像	擴大鏡
顯微鏡	望遠鏡	反射望遠鏡	球面收差	色收	
差	幻燈	實物幻燈	活動影戲		
第三十五節	輻射及吸收 .....	101			
輻射之強	吸收	能之等分法則	螢光	溫度	
及光與色之關係	光學的高溫計	地上之最高			
溫度	太陽之溫度	季爾徐霍夫之法則	黑體		
透明體					
第三十六節	波之干涉 .....	105			
昇沉	干涉條紋	光之波動說	惠根斯之原理		
波之直進	波之迴折	迴折格子	波長之測定		
迴折景	珠光之理由	顯微鏡之限界	浸液法		
超越顯微鏡					
第三十七節	日蝕及月蝕 .....	108			
本影	半影	月蝕	部分蝕	日蝕	金環蝕
蝕之回數	蝕之週期				
第三十八節	電 .....	110			

電之發生 陰電 陽電 庫倫 電場 電導體  
 電煤質 電勢 電壓 弗 電容量 電場之能  
 放電 電光 雷鳴 電流 安 電氣抵抗 歐  
 喬爾熱 瓦

第三十九節 電燈.....113

電爐 白熱燈 標準燭光 燭光之比較 弧光  
 燈 水銀蒸氣燈 陰極 陽極 魏因之變位則  
 化學線 紫外線 燈火製造之原理 熱線 理  
 想的燈火 真空放電 蓋斯拉管 克魯克管  
 柯利吉管 電子 陰光層 陽光柱 陰極線  
 對陰極板 X線 電離 陽極線

## 第五章 物質

第四十節 質量之測定..... 119

物性 質量 體積 不可入性 峇 噸

第四十一節 密度及膨脹係數.....121

連續說與不連續說 不可切體 密度 膨脹  
 體膨脹係數 完全氣體 寒冷之極限 密度之  
 標準 線膨脹係數

第四十二節 重量及衡..... 124

重量 質量之單位 克 比重 萬有引力 地  
 球之引力 胡克之法則 發條秤 分銅 天秤  
 週轉力距力之作用線 桿秤

第四十三節 惰性之法則.....	128
重量之變化 運動之法則 遠心力 惰性 重	
量之比 運動之第三法則	
第四十四節 推進機.....	131
斜面 楔 螺旋 推進機 扇風機 飛行機	
第四十五節 物質之三態.....	134
剛體 剛性率 體積彈性率 流體 固體 液	
體 氣體 液化 永久氣體 液體空氣 臨界	
溫度 臨界壓 空氣液化機 分子力 氣化	
飽和壓	
第四十六節 表面張力及浮力.....	137
表面張力 水平 浮力 巴斯開之原理 亞幾	
默德之原理 氣球 飛行船 飛行機	
第四十七節 物質之蛻變.....	141
鐳之發見 放射能 透過度 $\alpha$ 線 $\beta$ 線 $\gamma$	
線 氦之發生 物質之蛻變	
第四十八節 元素進化說.....	143
原子量之遞減 元素之進化 平均壽命 半減	
期 溫泉之鐳射氣 井水中之氡	
第四十九節 原子之構造.....	147
元原子 物質之第四態 博爾之原子模型 陽	
粒子 電子 原子號數 原子之直徑 原子之	

發光 化學及物理學	
第五十節 原子之配列	152
結晶體之研究 岩鹽之構造 原子體積 原子間之距離 X線之波長 原子之形狀 原子之直徑 電子之直徑	
第五十一節 個體之質量	155
電子之質量 原子內質量之分布 地球之密度 月之質量 克卜拉之法則 太陽之質量 恆星之質量	

## 第六章 電磁作用

第五十二節 磁	159
磁石 磁 磁石之軸 正極 負極 磁極間之力 透磁率 常磁性體 反磁性體 強磁性體 磁場 磁力線 感應磁	
第五十三節 地球之磁	162
磁子午面 偏角 地球之磁極 伏角 地磁之變化 磁狂 太陽之活動 極光 地下之電流	
第五十四節 電磁力	163
由電流所生之磁場 電磁力 地磁之起源 電輪道間之力 電磁石 電鈴 電信機 電話	
第五十五節 電之單位系	167
靜電單位系 電磁單位系 電流計 安 歐	

弗 電流之速度	
第五十六節 感應電流	169
電輪道之運動 感應電流 相互感應 自己感 應 電之惰性 磁感應線	
第五十七節 電磁波	171
電池 發電機 交流 直流 變壓器 磁場之 能 電磁波 電振動 振動器 檢波器 電波 磁波 無線電信 輻射壓 光壓 彗星之尾	
第五十八節 電子說	173
電子 束縛電子 自由電子 電子之速度 電 之傳導 熱之傳導 輻射之起源 原子及其景 原子之磁性 永久磁石	
第五十九節 質量之變化	175
電磁質量 電磁場內陰極線之彎曲 電子運動 之速度 電子之質量 因運動所生質量之變化 物質與能之關係 縱質量 橫質量 原子內部 之能	
第六十節 羅倫徹收縮	179
溯流而上順流而下與橫流而渡所需時間不同 邁克爾遜及莫勒之實驗 光速度之不變性 運 動體之收縮	

## 第七章 相對律

第六十一節	運動之相對性	183
	運動及靜止 坐標系之轉換 宇宙 經歷線	
第六十二節	時刻之決定	186
	牛頓之力學 愛因斯坦之力學 同時刻 時計之比較	
第六十三節	相對性原理	189
	相對性之假定 光速度不變之假定 羅倫徹轉換空間之相對性 時間之相對性 質量之變化 初質量 縱質量 橫質量 速度之和	
第六十四節	力之相對性	194
	傅可振子 重力場 遠心力 自由落下加速度之極限 傾斜塔之實驗 等價假說	
第六十五節	四次元宇宙	197
	四方之相對性 上下之相對性 閔可夫斯奇之幾何學 $i=\sqrt{-1}$ 之意義 四次元宇宙內之距離 經歷線之形式	
第六十六節	過去現在及未來	201
	上下四方之異同 時間及空間之合一 宇宙之變形 加速運動及靜止 過去圈 未來圈 現在之相對性	
第六十七節	相對律之驗證	204
	個性時 空間之曲率 二點間之最短距離 最	

短線 光之曲進 水星近日點之移動 日景之變位	
<b>第八章 量子論</b>	
第六十八節	自然現象之不連續性.....209
化學作用之不連續性 分子數之計算 電離	
電解 電化學當量 電之不連續性 光電效應	
光量子	
第六十九節	比熱之變化.....212
定積比熱 定壓比熱 兩比熱之比 分子運動	
之自由度 能量子說 各自由度量子之分配方法	
第七十節	自然現象之不可逆性.....216
可逆的現象 不可逆的現象 熱力學之第二法則與不可逆性 自然現象之進化 熱率 自然現象發生之法則	
第七十一節	自然界之進化及革命.....218
氣體擴散之不可逆性 球之整列方法 信率之意義 不可思議現象之實現 進化 革命	
第七十二節	結論..... 222
跋	..... 1

# 最近物理學概觀

## 第一章 序論

### 第一節 神話及宗教

將全世界大別之，不外未知與既知二種。既知之世界，隨人類之進步而擴大，既知世界之廣狹，可視為測定文明程度之準繩。幾千年前吾人之祖先，在原人時代，唯生活上直接有必要之物質及行為，屬於現知之世界，其他皆屬於未知之世界。

晝夜之別，為最早引起人類注意之自然現象，自無可疑。其次則沛然而作之雲，沛然而降之雨，震耳之雷，眩目之電，使人生無限之驚怖，而感其叵測，疑為神祕，亦當然之事也。此等事實將如何解釋之乎？對此疑問，最初所得之說明，即為神話，至最後解答，則有待於科學。

太陽之神，太陰之神，雨師風伯電母雷公以至瘟疫之神等，一切神話，不過吾人祖先對於自然現象，所提出之一種解釋而已。

太陽以光及熱給與吾人，故認為位在諸神之上，其次為夜間照人之月，其次為星。自然現象之中，最早且最深為人類所崇拜者，為日月星辰等之天體。天體支配吾人之運命，為一切信仰之祖，世界一切宗教所共通者也。釋家之成佛，耶教之昇天，要皆崇拜天體之觀念遺留於今者耳。

地球上為生命要素之能，由太陽輻射之熱光，與眼不能見

之各種輻射線而供給，故崇拜太陽一節，自現代觀之亦有理由。至於月，則大異其趣。電燈之光，不讓白晝，萬噸之船，航海自如，在二十世紀之文明人，或可不置月於念頭之內。然海濱之土人，藉獨木舟交通於羣島之間，則爲月所支配之潮汐，自能左右彼等之行動。未有燈火之野蠻人，月之朔望，對彼等利害關係之重大，亦在豫想之外。況人類最早繁殖之地，爲熱帶附近，與其揮汗於太陽直射之炎天之下，何如乘涼於朗月之夕，故自實益上，或趣味上言之，對於月皆有好感。自此點觀之，月與太陽所以同受崇拜之故，亦可了解。

日落而月未出時之夜景，與地上之景全異其趣。天界之美觀，洵足使吾人駭異。自金星爲始，大小之星，或燦如金，或輝如銀，尤以中分天球自右向左流貫空際之銀河極壯麗之觀。如於夏夜舉頭仰視，則見牽牛織女隔銀河而相輝映，若干一二等星密集其側，若呈得意之顏。

惠我者尊之，美者讚賞之，不可思議者崇拜之，若爲人情之常，則天體當然居優越之地位。吾人祖先之想像，不能以彼天體爲石塊之無生物，而視爲在天之神。希臘之神話，不過爲天體創造發展之說明，而成他日占星術之基礎。古代之占星術，至亞理斯多德<sup>(1)</sup>一變而化爲哲學，至托勒買<sup>(2)</sup>再變而集科學之大成。

---

(1) Aristotle (2) Ptolemy

吾人之祖先，見奇怪之現象而驚，遇不可抗力之現象而怖，尊敬之不敢觸其怒以免害，更進則起依賴之心求受其保護，於是而宗教生焉。據生物學者之研究，任何高等生物，一生之中，必須經過吾人祖先所歷之順序，故於文明進步之今日，猶有與原人相同之人類存在，不足怪也。

## 第二節 占星術

日月星辰各天體，若皆為神，則此等在天之神，當支配吾人之運命，此自然必至之想像也。徵諸事實，則太陽支配晝夜四季之變化，無俟說明。即就月而論，在太古時代人類之活動，大受潮汐現象之影響。不特此也，月與吾人肉體上更有密切之關係。據古人之所信，以為人類出產及死亡之刻限，由潮汐之時刻即月之位置而決定。婦人之月經與月之公轉，週期相等，亦決非偶然之事；恰如月之公轉與自轉，因受潮汐之作用，至於今日，其週期仍歸一致，同為幾萬年間調節進化之結果是也。吾人祖先，於晦朔之暗夜，大概蟄居不出，至望之前後，乃徘徊於月下而嬉遊，故男女之性交，亦從月之朔望週期的行之。習慣化為第二之天性，故婦人肉體的變化之週期，亦與太陰之週期相近。

由是觀之，不僅地球上之自然現象，即人類肉體上之變化，亦為天體所支配，故古人以為研究天體之配置，可以豫知人生之運命。占星術之根據即在於此，而信仰心所以能促自然

研究之理由，亦在於此。畢竟自然科學之第一步，係爲宗教之奴僕而養成。

日月星辰，概出於東而沒於西，從四時之節季，天上之星種類亦異，彼等之相對的位置，通常永遠不變。例如北斗七星今昔同形，牽牛織女，皆隔銀河而對峙。似彼等非作各個運動皆密着於天球之內，而天球每日自東向西回轉一次。果爾，則夜間之星何以由節季而異乎？若假設決定晝夜之太陽，不密着於天球，一年一次自西徂東而巡行，則能說明其故。於是稱天球上太陽所行之道，曰黃道。不特太陽而已，月亦自西徂東遊行於天球之上，苟取二三日間在月附近之星之圖而比較之，甚易知此事實。

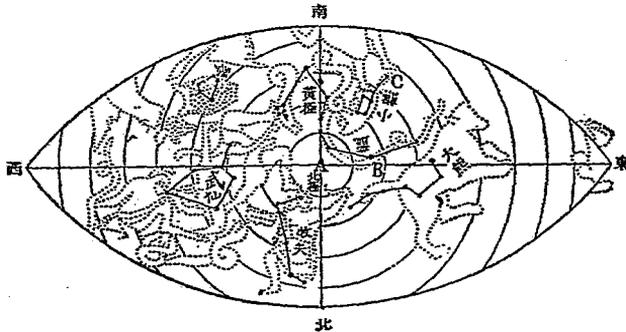
金星最易着眼，若察其附近之星，甚易見金星之位置，非一定不變，常沿黃道附近而進退。故如前節所述密着於天球而不變位置者，稱曰恆星，如金星運動於黃道附近者，稱曰遊星。木星，火星，土星，金星，水星爲太古所知之遊星，加以日月，往來黃道上之天體合計有七。東洋之五行，西洋之七曜，其起源蓋本於此。據觀測之結果，遊星之行動，甚不規則，或順行或逆行，偶亦有逗留不進者。故天體若果能支配吾人之運命，則必黃道上七天體之配置，爲其根源。此至今所以尙有黃道吉日之選也。

埃及有金字塔，即不讀萬國史者亦當知之。據歷史家之說，以爲係國王之墓，最著名大金字塔之建設，使役十萬人經二



四分之一而往復故也。

同一之星，不能永遠視為北極星而長保其位置。詳言之，天之北極即地球自轉軸所對之方向每年約移動五十二秒，故昔日之北極星，與今日之北極星不同。此種事實，稱曰歲差。吾國太古時代，即知此事，以為每數百年，一國主權自甲民族移於乙民族之手，此種社會的現象，恰與北極之轉移相應。



- A. 紀元前五千七百年代之北極星  
 5,744B, C. B. 大金字塔建設時代之北極星  
 C. 現今之北極星

北極星之移動，一年僅五十二秒，故肉眼不易知之。然大金字塔之孔，長約三百三十尺餘，出口之徑約三尺，高未滿四尺，故自孔底(丙)窺天，眼界極狹，尚不及四十分。故大金字塔建設後四十餘年，北極星已動移至不得見。艱難辛苦所建之金字塔終歸無用，而國王之天運，亦與俱盡，故以葬建設者之遺骸，

此占星術上之金字塔，所以爲國王之墓而遺留至於今日也。圖中甲乙線以上，爲其後增築之物。

歲差每年爲五十二秒，約經二萬五千七百年，即復其舊。大金字塔建設之時，在西曆紀元前三千餘年，建後經五千餘年，始至今日，北極之移動，積之約七十度，故小熊座之 $\alpha$ 星，遂占北極星之位置。然此亦非永遠之現象，今後九千年，白鳥座 $\delta$ 星代之，又二千餘年織女星代之。至今後約二萬年，當返而同於埃及之時代。

### 第三節 自然科學

吾人之祖先以宇宙間極小部分爲既知之世界而生活於其間，常存擴充其所知之欲望，於是而哲學生焉。哲學之語原，由「愛」及「知」二語連結而成，故「愛知」即研究真理爲哲學之目的。詳言之，即於千差萬別變化無窮之現象中，欲求不變的實在之真理，此哲學之所由生也。

然事實上因宗教全盛，十四世紀之前，不見有自由之研究，唯圖與宗教之信條調和，而構成知識之體系。至文藝復興時代，學者始脫離宗教之束縛，根據經驗而研究自然現象，遂生今日之自然科學。自噶利略<sup>(1)</sup>之後，始於實驗的基礎之上，研究自然現象，而生物物理學，即古時所謂自然哲學是也。

(1) Galileo

自然科學以外，無自然現象之認識，吾人僅有信仰自然科學之所教而已。信超自然之奇蹟為可能，究不脫原始時代宗教之支配，所謂迷信是也。發見自然界之法則，由理論的解釋之，唯自然科學為能。如揭與此不同之信條，即為迷信。此種信條，在未開化之時代，可代科學之用，固為歷史的事實，然在科學進步之今日，自不能不放棄之。

物理學所以研究真理，既如上述，更就應用方面觀之，大則對於人類社會，小則對於國家，皆有無限之價值。何以言之，組織國家而行政治之際，必以合一於天地造化之理法即合一於自然法則，為最大之理想，此萬世不易之國是也。發見自然法則，為自然科學之本領，而物理學則自然科學之根本，故其關係甚大，此決非吾僂物理學者自造之誇論，實為東洋幾千年來共仰之信條。

易曰：「古者包犧氏之王天下也，仰則觀象於天，俯則觀法於地，觀鳥獸之文與地之宜，近取諸身，遠取諸物，於是始作八卦，以通神明之德，以類萬物之情。」是明以天文學地文學生物學等自然科學的研究為基礎，而定國是。大學曰：「古之欲明明德於天下者，先治其國，欲治其國者，先齊其家，欲齊其家者，先修其身，欲修其身者，先正其心，欲正其心者，先誠其意，欲誠其意者，先致其知，致知在格物。」是孔子亦以致知格物為治國平天下之本。

科學的之認識，不必與常識相異，不過發展常識使之完成

而已。然科學的認識，有二特徵：第一爲組織的，第二爲方法的。組織的云者，各部分間毫無矛盾，而能互相聯絡之謂也。方法的云者，凡事決非偶然，先立適於目的之計畫，順序而進之謂也。傳記所載之大發明及大發見，多似偶然，然實不過得微細之端緒而已，至其大成，則必有俟於科學的之研究。

吾國死人之屍骸，甚忌爲貓所近，以爲貓近死體，則成僵屍故也。——日本亦有此說——此事實其僞非吾所知，然有多少根據，因貓皮摩擦則易生電，若此電通於屍體，則筋肉收縮而動，人遂以爲僵屍耳。此類偶然之事，泰西亦曾有之。紀元千七百八十年十一月意大利人曠法尼<sup>(1)</sup>氏嘗煮蛙以食病妻之際，見死蛙之腳忽動，遂大注目，用科學的方法研究之結果，知由小刀之接觸而生電流，死骸之活動，乃因電流之作用而起，遂爲電流之發見者，而爲二十世紀文明之母。死體因貓皮之接觸而動，與因小刀之接觸而動，其爲偶然之事相同，使因偶然之事，能成大發見或大發明，則電流之學術在東洋早應進步，何以讓西人獨專其美乎？蓋不從科學的研究，故僅陷於迷信而已。

#### 第四節 量之測定及其誤差

物理學上凡有大小多寡之區別者，皆稱曰量。甲乙二量互

---

(1) Galvani

相關聯而增減，爲吾人日常經驗之事。例如物體之體積，因溫度之高低而增減，此時稱物體之體積從屬於其溫度，或稱物體之體積爲溫度之函數。在物理學第一須發見研究之現象所從屬之量之系統。其次須發見此等量間所成立之函數的關係。二者成功之後，始可稱曰此現象曾經科學之研究。

約言之，即使自然現象間之性質的差別，歸於數量的差別，宇宙凡百之事象，使還原於終極的一要素，即自然科學之目的也。例如音雖有種種高低之調子，然據物理學之研究，則皆爲一種之波動，不過由其振動一秒間往復之次數——即音波振動數之多少——而生調子之高低而已。又如色雖有黃紅綠紫之別，究亦屬同種之波動，唯其波長不同而已。

投石於平靜之水面，則爲中心而生波，傳播於四方，此吾人日常所目擊者也。試注視此波，第一見其作圓形。若沿圓之直徑而想像波之斷面，則自中心立於左右等距離之處，皆爲同一之位相。詳言之，即左方若高則右方亦高，左方若低則右方亦低是也。更自同一半徑上言之，凸處之山凹處之谷，交互並列，相鄰兩最高之間——即相鄰同一位相二點間——之距離，皆爲一定。稱曰此波之波長。

波之山非能常保其高，至次瞬間，即低而化爲谷。同一之處一秒間高低之回數，稱曰此波之振數。振動一次則波前進一波長之距離，故若以振數乘波長，則得一秒間前進之距離，即波之速度是也。

水面之波，僅成圓形而傳播於四方，空中之音波，則成球狀而並傳播於四方上下。反之如爲一條之繩，其波形則僅限於前後之方向，即如細長之川，大浪由河口逆流之際，僅能前進不成圓形，故亦化爲直線之振動。

如前所述，物理學的自然觀，以將感覺的要素改爲計量的要素爲本質。然欲精細論究二種量間之關係，必先將量之多少，以數表之。換言之，凡量非經測定而知其數值之後，不能爲精密科學的研究之資料。測定甲量云者，取同種之乙量爲標準，與之比較而求其倍數之謂也。此際乙量，稱爲此種之量之單位。甲量之多少，即用與此單位比較而得之數值表之。如稱身長五尺，係採用一尺爲測定身長之單位，五之數值，乃表示身長與單位之比也。故表物理學上之量，必須記單位與數值，若僅記數值不記單位，則無意義。如謂山高一萬五千，毫無意義甚明。

欲求甲長與乙長之比，可直接將其一方重於他方之上，而知其幾倍，然一切之量，非皆能由直接測定之也。例如欲測室內之溫度，不能取標準溫度，直接而求其比。又如昨日之苦痛比於今日之苦痛，爲若干倍，亦不能定。

直接不能測定之時，當求間接測定之手段。某種現象是否能用科學的方法研究之之一問題，結局只在能否測定其各量而已。今直接不能測定之甲現象，其種種特性之中，如有一種可以直接測定，則可由此間接測甲。例如寒暖之程度，雖不

能直接測定。然物體因寒暖而伸縮，伸縮之多少，則可以尺度直接測之。故依伸縮之多少間接可測寒暖之程度。普通之溫度計即此是也。

真理存於自然現象之中，吾人由觀察事實以追究真理，然自然現象，甚為複雜，不易抽出普遍的概念，故吾人常人為的變更事情以觀察其對於自然現象之影響，即實驗是也。

現象至真實，不含虛偽與錯誤，固不待論。然觀察之時則專賴觀察者之視力，聽力及其他之感覺，吾人之感覺機能決非絕對完全，故其生誤差，在所不免。更以此等觀察為基礎，藉吾人之智能導出結論，故隨研究者之知識程度，可由同一之現象，而生種種不同之結論。此古人之學說，所以逐漸廢棄，而新學說代之以興也。

真正之量，與測定之結果之差，稱曰絕對誤差。以真正之量除絕對誤差，所得之商，稱曰比較誤差。觀測之精粗不依絕對誤差之多少，乃依比較誤差如何而決定。例如甲權重量百斤之石炭得九十九斤半，則其絕對誤差為半斤，比較誤差為二百分之一即千分之五。又乙權重量十兩之銀塊得九兩八錢，則其絕對誤差僅二錢，而比較誤差則為五十分之一。故吾人認乙之測定，較甲之測定為不精密遠甚。據實驗之結果，比較誤差，不易使在百萬分之一以下，在簡單之實驗，一萬分之一以下之比較誤差，可以容許。

## 第五節 信率及原因之有無

雷鳴則雨降，一現象生則他現象繼之而起，此自然之通則也。吾人稱前者曰原因，後者曰結果。結果又為其次現象之原因，因果關係，連續無窮。

無相互因果關係之二現象續發之時，或不基於同一原因之甲乙二現象並起之時，稱曰偶然之一致。然因果關係之有無，與共通原因之存否，非可完全斷定，特就吾人所知之範圍，凡不能預知之事件，通稱為偶然之事件。

偶然事件之發生，當然無何等之規律。然據長年月統計之結果，其發生之比例次數愈多，愈近於一定數，則為事實。此定數稱為此事件發生之信率。例如小兒產生之日，或為星期一或為星期二，當然無一定之規律。某君生於星期一，自為偶然之事。然就多數之小兒而取其統計，則星期一所生小兒之數，漸近於全數之七分之一。故某兒生於星期一之信率，為七分之一。偶然之事件，欲從科學的研究之，舍就信率而論之外，無適當之方法。

全體  $S$  次之內，某事件若發生  $n$  次，則此事件發生之信率為

$$K = \frac{n}{S}$$

此事件不生之信率為

$$K' = 1 - K = \frac{S - n}{S}$$

故發生之信率爲一之時，則其事件確實必生，爲零之時，則決不生。信率若小於二分之一，則反對之方面勝。

任意提言之確度，無論其爲一般，抑爲特別，各有同異之兩種。如說「人死」，無論其爲一人抑爲萬人，其確度不變。然如說「此羣衆中有病人」，則就十人之羣而言，雖不必可信，而就萬人之羣而言，則幾於必中。即在後者之例，提言之確度隨數大而增加，換言之，羣衆之數與其中有病人之數之比，隨羣衆之增加，而近似於定數。此定數即表示羣衆中有病人之信率是也。

故如此信率若爲百分之一，則對於百人以上之羣衆，謂其中有病人，雖能適中，而對於百人以下之羣衆，則其數愈少，其言愈不足信。約言之，信率者，非謂人類信何事，乃表示當如何而後所信始近於正當之標準而已。

實際上吾人信仰之程度，不必與信率一致。例如戰爭，百發彈丸中，若命中之數，僅爲一發，則彈丸命中之信率，爲百分之一。此時如有兵士以爲若遇敵人發射必爲所中，則吾人稱之曰怯者。反之，如拳匪事件，以爲外人所發之彈丸決不能中而突進之義和團，則舍迷信者之外，無以名之。

某事件發生之信率，可由既知之條件而算定者亦多。如前例所述小兒產生之日，必爲一禮拜中之一日，無論何日，對於產生皆無特別之關係，故各日皆有七分之一之信率。又如散布多數銅元於地，銅元之表裏如無特別之理由，則約有半數

之表面向上，即投銅元使表面向上之信率，爲二分之一。

如事象之發生在由既知條件而算定之信率以上或以下之時，則必有吾人所未知之原因，潛在其內。故須先究此原因，而後求此原因與事象之函數的關係，即爲此事象之科學的研究。例如產兒有男女二種之別，故除有特種之理由外，男女兩性當各產半數。如有某地男多於女，則其地必有特種之原因，而爲應行研究之問題。

又就學生言之，其性別之配分方法，共有四種：

先生者	男	男	女	女
後生者	男	女	男	女

故產兒之性別如僅由偶然的而決定，則二兒皆男之信率與皆女之信率，同爲四分之一，而一男一女之信率，爲二分之一。然事實上一男一女之時甚少，皆男皆女之時甚多，故產兒之性別決非偶然，必有決定性別之原因存在，而爲應行研究之問題。

## 第六節 單位之運算

凡量，皆以採爲單位之量與對於單位量之比之數之積表之。例如三尺，在數學上稱爲名數。加減乘除之運算不能行於名數，僅就三之不名數行之。然在物理學，仍留名數而運算，如求三尺與五尺之和或積，如下：

$$3\text{尺} + 5\text{尺} = (3+5)\text{尺} = 8\text{尺}$$

$$3 \text{ 尺} \times 5 \text{ 尺} = 3 \times 5 \times \text{尺} \times \text{尺} = 15 \text{ 平方尺}$$

此處以長之單位即尺之自乘，為面積之單位，稱曰一平方尺。故行除法之時，以五尺除十五平方尺，則得三尺。

$$15 \text{ 平方尺} \div 5 \text{ 尺} = 15 \div 5 \times \text{平方尺} \div \text{尺} = 3 \text{ 尺}$$

蓋因一尺之自乘為平方尺，故以一尺除一平方尺則得一尺，代數式

$$15a^2 \div 5a = 3a$$

之  $a$  與尺相當。

如前例，乘除法可行於單位不同之二量間，然加減法則不能行。例如三匹與二人之和亦為三匹與二人；三尺與二寸之和，亦為三尺二寸，不必施何等之運算。換言之，即加減法僅可行於同一單位之量之間。又同一單位二量之積，可成單位不同之量，而其商為無單位之數甚明。物理學上之運算，僅得關係於數之運算之結果，故單位間之運算如誤，則全歸徒勞。例如以五達因之力，除百歐格之功之商，其數值雖得二十，如不知其單位，則無意義。

物理學上視為全異之量，運算上可同一視之之時亦多。例如直線之長，與人之年齡及體重，全然不同，然一般

$$3a + 5a = (3+5)a = 8a$$

式中，無論  $a$  表何量，皆無關係。如求三寸與五寸之和，與求三歲與五歲之和，或三斤與五斤之和，其運算之方法相等。故年齡、體重等亦可以直線之長表之。

二直線之長之和與差，僅以兩者置於一線之上，即能直接得之。故若用一直線上刻有等距離之度數之尺，即可以求任意之和或差。

更進一步就二量之乘除法觀之，例如  $A$  與  $B$  之積若  $A = a^x$   $B = a^y$  之時，則據指數之法則，

$$A \times B = a^{x+y}$$

故如  $x+y=z$ ，若知  $a^z = C$  則

$$A \times B = C$$

換言之，即若知  $A, B, C$  之指數為  $x, y, z$  之時，吾人只要求出  $x$  與  $y$  之和，即能知  $A$  與  $B$  之積即為  $C$  之值。換言之，若加  $A$  與  $B$  之對數則可知其積  $C$ 。



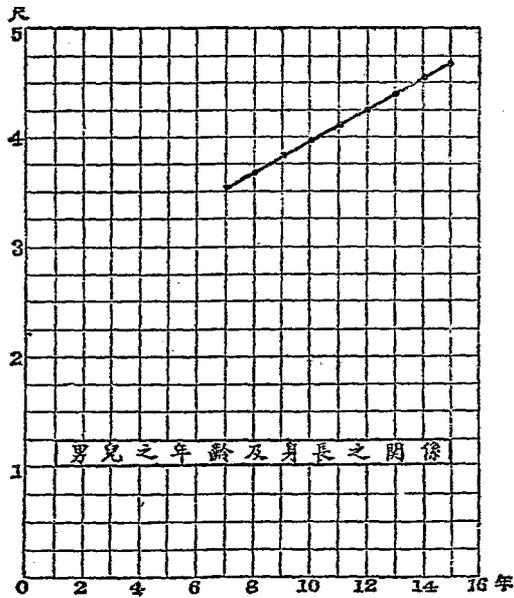
例如

	1	2	3	4	5	6
之對數各為	0.000	0.301	0.477	0.602	0.699	0.778

故於尺度之一端記 1，三厘強之處記 2，四厘八耗弱之處記 3，六厘餘之處記 4，如斯依次刻對數的之度，則可據此以求二數之積與商。此種尺度，稱曰計算尺。金錢重量等為會計人員所常用之量，一般可以尺度之長表示者稱曰會計量亦曰

無向量。

能以直線之長而表示之二量間，其函數的關係，可用直線座標系於圖上表之。例如棋盤面上棋石之位置，如以盤之一隅為基點，而記數碼於縱橫線，則可由數碼所示之二數表之。此事之化為一般的者，即直線座標系是也。



身長與年齡，皆可由長表示，故若於橫軸上取年齡之數，於縱軸上取身長之數，則身長與年齡之關係可於此平面上之一線表之。

第七節 向量

今有甲乙二人同時自同所出發,甲向東進三里,乙向西進四里之時,則兩者間之距離為七里,

$$3 \text{ 里} + 4 \text{ 里} = 7 \text{ 里};$$

若甲乙共向東而進,則為一里,

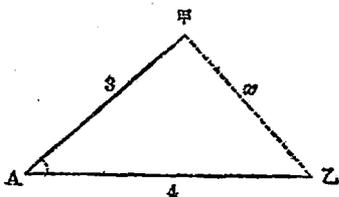
$$4 \text{ 里} - 3 \text{ 里} = 1 \text{ 里};$$

若甲向東進三里,乙向南進四里,則其距離為

$$\sqrt{(4 \text{ 里})^2 + (3 \text{ 里})^2} = 5 \text{ 里}.$$

然甲向東南進三里,乙向南進四里之時,則兩者間之距離,不能用算術求之。然將上問題,更進一步思之,則為甲向某方向進三里,乙向與此為  $A$  角之方向進四里時,

第五圖



兩者間距離之問題,由三角法得解答如下:

$$x = \sqrt{3^2 + 4^2 - 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot \cos A}.$$

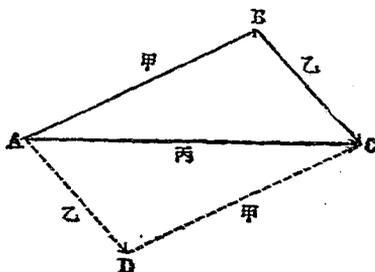
如兩者為同一之方向,則  $A$  角為零,  $\cos A = 1$ , 故變為減法;如為反對之方向,則  $A$  角為百八十度,  $\cos A = -1$ , 故變為加法;如為直角之方向,則  $\cos A = 0$ , 故為開平方。

由是觀之,有方向之量,與身長,年齡等,處理上大異其趣,故前者稱曰向量,以與無向量區別。

無向量僅有大小，向量則兼有方向，此為二者區別之點。若謂自南京乘火車進行十哩，如不表示其為北上抑為南下，則不明其到着之點。又若謂有強風每秒以十呎之速度而吹，如不言其方向為東方抑為南方，則其意義為不完全。直線兼有長與方向，故向量亦可以直線表之。但二個向量，一般方向不同，故多數向量，不能以同一尺度表之。且不能於尺度上而行加減如無向量者然。

今若以直線  $AB$  表甲向量， $BC$  表乙向量，則甲乙之和丙可連結  $A$  端與  $C$  端以  $AC$  直線表之。故自丙減甲之差乙，可由連結兩端之直線  $BC$  表之。如斯向量之加減法，可由連結直線簡單行之。

第六圖



表向量之直線僅由長與方向而決定，與其位置無關，故如以  $ABCD$  為平行四邊形，則  $AD$  與  $BC$  同表乙向量， $DC$  與  $AB$  同表甲向量。且  $AD$  與  $DC$  之和亦為  $AC$ ，故二向量甲與乙之和，一定不變，無論以甲加乙，或以乙加甲，結果亦同。加法之結果，與其所加之順序無關，為處理向量上非常便利之特點。此外加法之順序，有重大之意義，例如加硫酸於水，與加水於硫酸，其結果非常差異，因其一安全混合，其一爆發故也。生後而死，與

死後而生，安能同一視之乎？無向量之乘法，亦與順序無關，而向量則否。以乙乘甲與以甲乘乙，不能相等，其符號正相反對。詳言之，若  $A$  與  $B$  共為向量，則  $A \cdot B = -B \cdot A$ 。

自然現象實現之時，必須含有幾個要素。例如「今夜上海降雨」一事，若詳察之，則為於今夜之時間，在上海之地面，方有降雨之自然現象，而所降者為雨之物質。故時間，空間，物質三者，為物理學上之大要素，而降之現象中又有「能」之要素存焉。

時間與空間，自古為哲學上之問題，而空間又經數學者之充分研究，唯物質則置於範圍之外等閑視之。數學者之論質量，亦僅就無質量之點而言，故亦不達於「能」之思想。此數學之所以為抽象的形式科學也。反之在實質的科學之物理學，因凡百現象由物質而起，故以研究物質與能，為構成物理學之主要部分。以下請依次述其大略。

## 第二章 空間

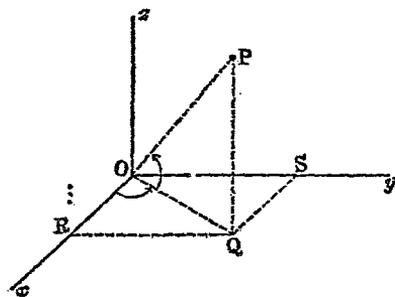
## 第八節 三角測量

空間之本質為何？空間之概念由如何形式所構成？係哲學上問題，不在本書所論列範圍之內。要之吾人由空間內一點，與他點區別，而生位置之概念。質言之即以某點為基點可用數量的明示他點之位置。

例如以地平面上一點  $O$  為基點，而論空間中任意一點  $P$  之位置時，採用直線坐標系，於地面向東引  $Ox$  線，向北引  $Oy$  線，向上引  $Oz$  線，則決定

第七圖

$P$  點位置之要素，為由基點  $O$  至於  $P$  之距離，及自某處所視  $P$  之方向。然方向更可由方位角  $\angle xOQ$  及高度  $\angle QOP$  之二角而決定。故知決定一點之位置，共有三個要素。



今又設自  $P$  點引至  $xOy$  面上之垂線之腳為  $Q$ ，自  $Q$  引至  $Ox$  線與  $Oy$  線之上之垂線之腳為  $R$  與  $S$ ，則亦可測定  $OR, OS, PQ$  等之距離，而決定  $P$  點之位置。

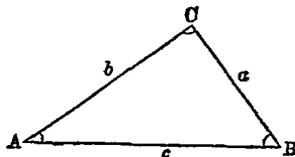
由前例知吾人欲決定空間內任意一點之位置，必須有三

個既知量，且限於三個已足，故吾人之空間稱為三次元之空間。但如船舶僅以水平面上為自己之世界，故其位置，可由二個既知量而決定，故其世界為二次元。又如兩站間之火車祇能來往於一定軌道之上，可由一個距離決定其位置，故其世界為一次元。

非極大亦非極小之距離，雖可由吾人採為標準之尺度直接測定，但較大之距離或雖小而不得接近之距離，當用三角術始能決定。

今以  $ABC$  表三角形，以  $a, b, c$  表三邊之長，則  $A, B, C, a, b, c$  六要素中如能知其任意之要素，則其他之要素必能算定。故若能測定距離  $c$  及二角  $A, B$ ，則由  $A$  點或由  $B$  點至  $C$  點之距離，即  $b$  或  $a$ ，亦能算出。故地球上任何一點如為目所能見，皆能由三角測量知其距離。

第八圖



實際上務於寬廣之平原，使用尺度直接精測一直線間  $BC$  之距離。如此測定之線稱為基線。次由基線之兩端  $B$  點與  $C$  點，選擇可望見之  $A$  點而精測  $B$  角與  $C$  角。因既知二角與其夾邊，故由

$$A = 180^\circ - (B + C)$$

可知  $A$  角，又由

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

即

$$b = a \frac{\sin B}{\sin A} \quad c = a \frac{\sin C}{\sin A}$$

可知  $b$  及  $c$  二邊。

又如以  $AC$  或  $AB$  爲基線而望他點，則用同一方法，可得由  $A$  與  $C$  或由  $A$  與  $B$  至於此點之距離。反覆用此方法，在理可以測定地面全部，故任意地點間之距離，當然可以測定。

## 第九節 地球

太陽每日由東天上昇向西天下沒，其間太陽之高度，必有達於極大之時刻。在此時刻，任意地點之鉛直線，投於地平面上之影，即指示南北之方向，此地點稱爲子午線。

太陽沒後試仰視北天，觀察多數星之位置，則隨時間之經過，通例見星亦由東天上昇向西天下沒。然近於天頂之星雖由東向西而動，而近於地面之星，則由西向東而行。並見一切星皆作圓運動，而接近於共同之中心，唯一一顆大星恆在一定之位置，此即北極星是也。北極星之高度，因地而異。由此高度而定此地點之緯度如在上海，北極星之高度爲三十一度十四分故其緯度爲三十一度十四分。

昔稱天圓地方，以天空爲球狀而地表爲方形之平面，然在今日則已無疑地面非球狀之文明人矣。唯因地面爲球狀故自某地點沿子午線向北或向南而進，則北極星之高度亦次

第增減，兩者之間常有一定之關係。故若沿子午線而實測進若何距離，始得緯度一度之差，則可計算地球之周為若干長。因地球全周為三百六十度，故以三百六十乘所得之數，則得沿子午線之地球周圍。在上海附近實測之約一百九十里始生一度之變化，故知地球之周圍，約為

$$190 \times 360 = 68,000 \text{ 哩}$$

西歷千七百三十五年至千七百三十六年在秘魯及拉伯蘭<sup>(1)</sup>地方，同時行此測量，所得之結果不等。在秘魯為五百六十七塔尺，<sup>(2)</sup>在拉伯蘭為五百七十四塔尺。故知地球非真球體，兩極附近則為扁平。其後千七百九十二年及千七百九十八年，更在其他地點精測，以子午線全長四千萬分之一，定為長度單位，稱為米達。<sup>(3)</sup>一米達通例以呎字表之，一千米達以杆表之，故自赤道至於北極為一萬杆。用鎢及鈹之合金製成一呎之標準尺，由巴黎郊外中央度量局保存之。

地球周圍四千萬分之一既定為一呎，則地球之周圍理應為四千萬呎，然其後依精確之測量知前此觀測有多少誤差。且地球非真球體，因自轉而南北之方向乃收縮，實係回轉之橢圓體。舉其大略，其長徑為六千三百七十八杆，短徑為六千三百五十七杆，即兩者之差為二十一杆。更於緯度為 $\varphi$ 之地點，以米達單位表經度及緯度一度之長，則其結果如下：

(1) Lepland: 在那威北部。 (2) Toise: 約等於六尺。

(3) Metre.

子午線一度之長 =  $111132.09 - 556.05 \cos 2\varphi + 1.20 \cos 4\varphi$

緯度一度之長 =  $111415.10 \cos \varphi - 94.54 \cos 3\varphi$

海上距離之單位以哩表之，一哩之距離，與在赤道經度之差一分相當。故在赤道，地球之周圍為二萬一千六百哩。若吾人每時能以十二哩半之速度航海，則七十二日之間可繞地球一周。

地球之表面，凹凸甚多，喜馬拉耶高峯自不必論，即其他之山岳丘陵其數亦不遑枚舉，而海底深處，則不甚引人之目。然據現在所知，高山距海面之高，不若深海距海面之深遠甚。今舉二三著名之例，如日本北海道之東他斯加羅拉<sup>(1)</sup>海深八千五百三十呎，南洋雅泊島<sup>(2)</sup>附近之深海七千五百三十八呎，馬利亞納<sup>(3)</sup>羣島尼祿深海<sup>(4)</sup>達九千六百三十六呎，而日本有名之富士山海拔僅三千七百八十呎，即世界第一之高山埃佛勒斯<sup>(5)</sup>亦不過八千八百四十呎。

地球表面之全面積，約為五億一千萬平方呎。海與陸之百分率，約為七十一與二十九之比。然海洋之深平均為三千六百八十呎，海水之總量，為十三億立方呎；陸地之高，平均為八百二十五呎，其總體積不過一億二千立方呎餘。故海洋之面積約合山岳丘陵之十一倍。換言之，盡夷山岳丘陵以投於海尚不能填其十分之一。

(1) Tuscarora 或稱 Japan Trough. (2) Jap Island. (3) Mariana.  
(4) Nero Deep. (5) Everest.

試將深海之底與其最近高山之絕頂並計之，尼祿深海附近美屬嚙姆<sup>(1)</sup>島海拔三百八十八呎，故兩者水平差爲一萬二十四呎。富士山絕頂與他斯加羅拉海底之差，爲一萬二千二百九十三呎；南美盧來拉科<sup>(2)</sup>山及亞他加馬<sup>(3)</sup>海之差，爲一萬四千二百呎。約言之，地球表面凹凸之差，極端僅十五呎，尙不達平均半徑四百分之一。

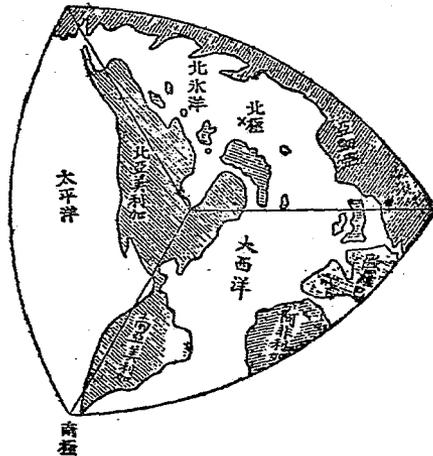
地球雖非真球形，然吾人若製地球儀，苟其直徑於赤道面爲六尺三寸八分，則相當之南北兩極當爲六尺三寸六分；其差不過二分，故外形上幾不能不認爲球體。且在此地球儀之表面，富士山之高僅爲不足四釐之皺紋，其側八釐餘之凹痕即表他斯加羅拉之深海。由是觀之，事實上即謂我地球爲完美之球體亦無不可。

試更進而研究其傾斜，突出海面之山岳，其傾斜度甚急。就富士山論，在山麓爲七分之一；在海拔千五百至二千四百呎高處，爲四分之一；在頂上附近爲三分之一強。然沒入水中部分之傾斜，其勢甚緩，略近於水平。即就高低相差甚遠之馬利亞納羣島附近而言，嚙姆島之南水尋千至五千呎間之平均傾斜度僅爲二十五分之一內外。普通海底，概在三百分之一以下。海中亦有火山珊瑚島等，由深海之底突立如筍，險峭與陸上之山岳相同。例如聖海倫<sup>(4)</sup>附近之傾斜度約達二分之一。

(1) Guam. (2) Lbullailaco. (3) Atacama (4) St. Helena.

對於一定之體積，而有最小之表面者，唯球形為然，故地球自然生成球形。但因受由自轉而生之遠心力之影響，致赤道之方向膨脹，而兩極之方向短縮。然地球之表面先成固體，而表面積一定，後因內部更冷卻而收縮，對於一定之表面而有最

第九圖



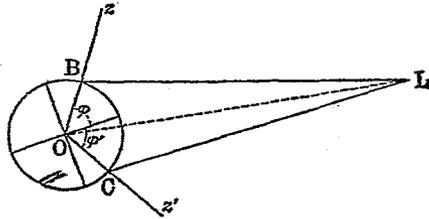
小之體積者，唯正四面體之形為然，故地球乃漸趨於近似四面體之形；與稜相當之凸部成為大陸，與面相當之凹部成為大洋。北極附近，與底面相當故無陸地；南極方面為大陸故有高山。

### 第十節 月

地球之周圍僅四千萬呎，故其所占之空間，幾不足道。然則地球以外之空間究如何廣大乎，因月最近於地球請先測定月與地球之距離，於地球上同一子午線上擇南北相離較遠之地點  $B$  及  $C$ ，同時向月  $L$  觀測，而測定天頂距離——即觀測

## 第十圖

地之鉛直線——與月  
之方向所生之角，即  
 $\angle BL$  及  $\angle CL$ ；並測觀  
測地點  $B$  及  $C$  之緯  
度即  $\phi$  及  $\phi'$ ，因地球  
之半徑  $OB$  及  $OC$  為



既知，故由三角術，可算定地球之中心  $O$  至於月  $L$  之距離。

依實測之結果，此距離非一定不變，大約在四十萬杆以下  
三十五萬杆以上，平均為三十八萬餘杆，合地球平均半徑六  
十倍強。

又自地球上所見月面之半，即視半徑，約為十六分，故月之  
半徑，等於月之距離與  $\sin 16'$  之相乘積；約合地球半徑十一  
分之三。又體積與半徑之三乘為比例，故月所占之空間，與地  
球比較，不過約五十分之一。

月乃地球之衛星。換言之，月在地球勢力範圍之內，以二十  
七日餘為週期，而公轉於地球之周圍，不過一個黑暗體而已。  
其光係受太陽之光而反射，故向太陽之半面較明，吾人自側  
面觀測，故從日月地球之相對的位置而有朔望及上下弦之  
別。詳言之，自地球仰望，如月在太陽正反對之側，則吾人自正  
面見月被太陽所照之面故為滿月即望是也。故滿月於日沒  
之際昇於東天，月與太陽若在同一之方向，則吾人望月之背  
面，故不見月，且與太陽同時出沒，此晦朔之交所起之現象也。

其後數天月沒漸遲於太陽，故向於太陽之月之一部分，可自側面而見，而成新月之形。光明之部分漸次增加，達於月面之半時，稱曰上弦。上弦之月，於日沒時見於南天，故在西方之半面光明。滿月之後，光明之部分漸次減少，再達於月面之半時，稱曰下弦。下弦之月，在東方之半面光明，故夜半以後方能見之。

滿月之際，若觀月面，則有黑影，古人以爲兔，故月有玉兔之別名。然用望遠鏡精細觀察，知月面非常凹凸，似曾有噴火作用大肆活動之形迹，山之陰處，不得受太陽之光，故生暗黑之影。又月常以同一之面向於吾人，故知月亦自轉且自轉之週期，與公轉之週期相等。精密言之，自轉之軸稍傾，而公轉之軌道又非圓形，故月面可得而見之部分，上下左右皆有多少變化，觀察至久，能見過半之月面。

月與太陽，將於同一方面而見之時，則成新月，故知此際不向於吾人之月面，爲太陽所照；故可推定太陽之距離較月更遠。實際上若用測月之法以測太陽之距離，無論自地球之北端或南端而觀，太陽之方向幾無變化，故不能應用三角術以測量。換言之，即太陽之距離，與地球之直徑比較，殆爲無限大是也。

善能反射光線者，不僅月體爲然，若由月觀我地球，其光當更強。滿月之夜，月最光明，疑如白晝，然精細測之，不過白晝六十萬分之一。故雖以與滿月同樣光明之物，填滿天空全體，亦

僅得白晝七分一之明而已。

新月二三日後，若熟視月之暗黑面，有時全不能見，有時偶有薄光，能辨月之全部，此乃太陽之光由我地球反射達於月面，復由月面反射達於吾人眼中之故。使有天人居住月之世界，則彼等之夜，因為我地球所照，當有與白晝相同之感。此際地球與月相向之部分，即亞弗利加與歐洲方面，當必晴朗無疑。若天氣不佳，則月面必為暗黑，故吾人可以月體為鏡，而知歐亞之天候焉。

### 第十一節 太陽系

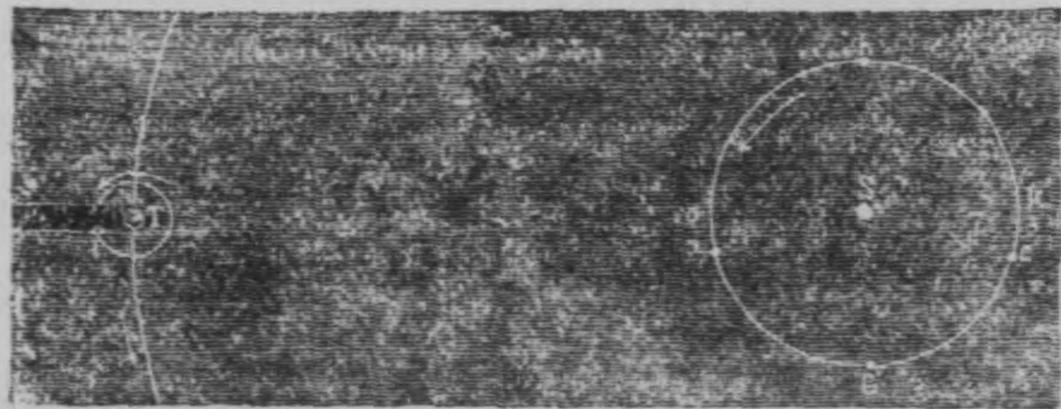
地球有月為衛星，他遊星通常亦各有多少之衛星。木星有四個衛星，容易由雙眼鏡見之，且其公轉之週期甚短，故雖一晚之觀測，亦能知其位置之變化。今於地球在  $a$  時觀測，而決定衛星  $b$  入於木星  $t$  之影內而蝕之週期，得四十二時二十八分三十六秒。試依此值，豫定此後更蝕之時刻，若俟地球至  $o$  附近，即木星漸遠於地球之間，而行觀測，則其蝕較豫定之時刻為遲，更俟地球過於  $b$  之位置，即木星漸近於地球之際，則其蝕漸早，及至  $o$  之附近始復豫定之時刻。

此事可由下列理解之。譬如有人居杭州，每週月曜必接其友人自上海寄來之信，故可推定其友人每週日曜必發一信。設次週月曜應收之信，至火曜始到，又次週至水曜始到，視其投函地址，則非上海而為南京及北京，故知每次所以較遲一

日，畢竟因北京南京間郵送延擱之故。若其友人復返上海，則月曜仍可收到其信，如來杭州，則日曜當日可以收到矣。

與此同理，木星在  $t$  時，地球在  $k$  處較在  $O$  處得光稍遲，所需時間適與光線通過  $ok$  間之時間相等。據觀測之結果，知此時間，為九百九十八秒。故知光自太陽  $S$  射至地球  $a$  或  $c$  之時間，為九

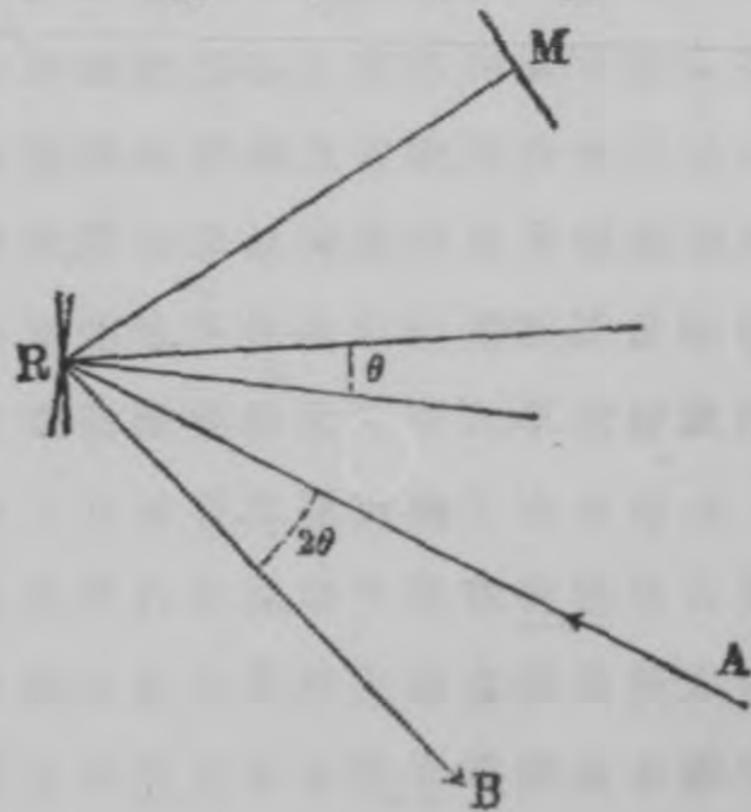
百九十八秒之半，即四百九十九秒。故吾人若知光



之速度則可計算至於太陽之距離。

今使  $R$  鏡，以一定之速度而回轉，由  $A$  投射之光線  $AR$ ，反射至於  $M$ 。若使於  $M$  處，更垂直而反射，則由同一之路復歸於  $R$ 。苟鏡  $R$  靜止不動，則此光線仍取  $RA$  之路，逆射而至於  $A$ ，然因光線往復於  $RM$  之際，鏡已作  $\theta$  角之回轉，

第十二圖



故反射之方向，距  $RA$  爲  $2\theta$  而取  $RB$  之路。

如知  $AB$  間之距離及  $AR$  之長則由其比可計算  $\theta$  角。又如知鏡之回轉速度，則鏡迴轉  $\theta$  角必要之時間  $t$  亦可計算。而此時間  $t$ ，與光線往復於  $RM$  之時間相等，故若測  $RM$  之距離，則由此二者之比，可決定光之速度。據精測之結果，知光之速度每秒爲三十萬杆。

一秒行三十萬杆之光，自太陽至於地球，須四百九十九秒，故太陽之距離約一億五千萬杆與地球平均直徑一萬三千杆比較，約得一萬二千倍。故欲置基線於地球之上，用三角測量以決定太陽之距離，猶欲以左右各眼望見一哩外物體所生之方向差而算定其距離，同爲至勉強而不可能之事。

天球上有五個遊星運動已如上述，此等遊星亦如地球以太陽爲中心而公轉，而衛星更公轉於遊星之周圍。故此等天體，成爲以太陽爲中心之一個團體，稱之曰太陽系。

自太陽至各遊星之距離，其間有一定法則，非偶然之事。若以地球與太陽之距離，爲長之單位，則可以

$$\{3 \times 2^n + 4\} \times \frac{1}{10}$$

之式表之式中之  $n$  爲  $-\infty, 0, 1, 2, 3, \dots$  等之整數。

$3 \times 2^n$	0	.3	6	12	24	48	96	192	384
+	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	4	7	10	16	28	52	100	196	398

---

計算值	0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6	38.8
遊星	水星	金星	地球	火星	遊星 彗	木星	土星	天王 星	海王 星
實測值	0.39	0.72	1.00	1.52	2.65	5.20	9.54	19.19	30.07

---

當博德<sup>(1)</sup>氏發見此法則之際，僅知地球及木、火、土、金、水等五遊星之距離。其後西歷千七百八十一年三月十三日侯謝爾<sup>(2)</sup>氏發見天王星，知其距離與預定之數一致。故科學家遂欲準此法則，以期發見 2.8 距離之遊星，至十九世紀之第一日，即千八百零一年一月一日，意大利人皮亞登<sup>(3)</sup>氏在巴勒摩<sup>(4)</sup>市始於距 2.77 之處發見一小遊星“穀女”，<sup>(5)</sup>其後陸續發見，迄今約達八百顆，其中小者，直徑不過七中里，直造物者之玩具耳。

據牛頓<sup>(6)</sup>所發見之萬有引力法則，凡物體皆互相吸引，其吸引之力，與各物體之質量為比例，與二者距離之自乘為反比例。使空間僅有太陽與地球之二天體，則地球當以太陽為一焦點，以橢圓為軌道而公轉之。然因有第三天體，譬如有火星存在，地球與火星之間亦有引力，故地球之運動，多少受其擾亂。況如現在太陽系之中，遊星甚多，運動複雜，唯被擾之程度仍得精密算出。

天王星發見之後，精確研究其運動之結果，發見計算與實測之間，略有差異。但此差異，若假定更遠之處，有一未發見之

---

(1) Bode. (2) Herschel. (3) Piazzi. (4) Palermo.

(5) Ceres. (6) Newton.

遊星，則能說明。在此假定之下，預計千八百四十五年此未知遊星應在之位置，九月二十三夜，從其方向，用望遠鏡觀測，果照預定，發見一遊星，即海王星是也。

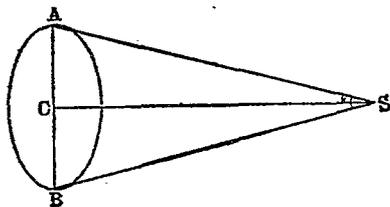
海王星之距離，約為地球與太陽間距離之三十倍，而太陽系之直徑約九十億杆，故光線通過約須八時二十分。設海王星中有人觀日，恰與金星最明之時吾人自地球觀望金星相等，水、金、地、火、四遊星，常在太陽附近，全不能見，唯木星朝夕可見而已。

## 第十二節 恆星界

欲知太陽系果占領宇宙間之重要部分否？當先知太陽系以外之空間如何廣大，而太陽系至恆星之距離，自為第一步應知之事。恆星對於太陽

第 十 三 圖

系為不動，而靜止於宇宙間之一點。地球公轉於太陽之周圍，春秋時位置之差  $AB$ ，約有三億杆之距離，故於春



秋之際，由地球觀同一位置之恆星  $S$ ，所見之方向，自生差異。其差角為  $\angle ASB$  至明，故若觀測此年視差，即可依三角術而算定自太陽系至恆星之距離。

據實測之結果，此年視差之值極小，皆在一秒以內。最近之

恆星即所謂“半人馬座 $\alpha$ 星”其值為0.75秒，故其距離如下：

$$\frac{360 \times 60 \times 60}{2\pi \times 0.75} \div 2.7 \times 10^5$$

即約合地球軌道半徑之二十七萬倍。光線通過地球軌道之半徑，需四百九十九秒間，故此恆星之光，須經四年餘，始達於地球，使有人自此星中觀測我太陽系，則太陽之光，僅與大星相埒，而木星則非望遠鏡不可得見；太陽與木星之角距離，不過五秒而已。

光線一年間通過之距離，可用以為長之單位，稱曰一光年，即最近於吾人之恆星，其距離亦在四光年以上。

上述之法，非所有恆星盡能適用，僅限於極近距離者而已。若在數百光年遠距離之處，其年視差甚小，在測定誤差範圍之內，故不可靠。最近以美國威爾遜山之百吋望遠鏡，利用光之干涉，測定之結果，知三星附近之“獵戶<sup>(1)</sup>座 $\alpha$ 星”之距離為二百十光年。由是觀之，此等恆星皆在數十光年乃至數萬光年之遠距離，故吾人在庭中所見之星已不必盡存於今日之宇宙之內，特表示數年或數萬年以前確曾存在而已。

古人從肉眼所得見星光之強弱，分星為六等。據現在機械的測定之結果，平均一等星與六等星比較約強百倍。然百之五乘根約為2.5，故星光約每增加二倍半，即昇一等。較一等星更明二倍半者，稱曰零等星，光度更大者，其等級以負量表

(1) Orion

之。例如金星最大之時其等級爲  $-3$ ，滿月之等級，爲  $-12$ ，是也。又等級不限於整數，亦可以分數表之。例如天王星之等級爲  $5.75$  太陽之等級爲  $-26.5$  是也。

南緯三十五度以北之地方所得見之星數，若從其等級別之，大約如下：

等 級	1	2	3	4	5	6
星 數	14	48	152	313	854	2010

合計約爲三千四百顆。但若除北極星附近之天界，則夜間所得見之部分，因季節而不同；一夜中得見之星，不過二千顆內外而已。

恆星之光度，非一定不變，其中有爲週期的變化者，稱曰變光星最著名者，爲“大陵五<sup>(1)</sup>星”，即“英仙<sup>(2)</sup>座之 $\beta$ 星”，每二日二十二時四十八分五十五秒間，等級之變化，自  $2.3$  至  $3.6$ ，且自等級初降至復元之際，常須九時二十二分云。

究其原因，知此星由主從二顆之星而成，依萬有引力互相吸引，從牛頓之運動法則而公轉於共同之中心。主星明而從星暗，每一回轉，主星常爲從星所蝕而生光度之變化。

觀測之結果，軌道上運動之速度，每秒約四十二千米，此速度與週期之乘積當然表軌道之全長，設假定爲圓則其半徑爲百七十萬千米。更自他方面研究，主星與從星質量之比，爲二與一，其軌道半徑之比，與其逆數相等，而兩星間之距離，各等於

(1) Algol. (2) Perseus.

其軌道半徑之和，故約爲五百十萬浬。換言之“大陵五星”恰如月與地球成爲一組之天體，兩者間之距離，約等於月與地球距離之十三倍半。

彗星亦然，主從兩星之距離，等於太陽與地球之距離之二十一倍。就其他恆星研究之結果，多數之恆星，皆與太陽系相似，甚見複雜。設有人由恆星而觀測太陽系，亦不過見一顆之小星而已，並無何等特殊之處。

### 第十三節 新星

我太陽系中有光者僅爲一顆太陽，其他之遊星衛星皆爲暗體。太陽系以外，暗黑之星不能望見，故不能發見，但如前節所述之連星，可由有光星之運動，而推定有與此相對之暗黑星之存在。

更由望遠鏡之觀測，知銀河爲密集之星羣。若撮銀河之影而檢查之，亦偶有全暗黑之部分。若謂此暗黑部分，乃因無星而不光，則由此方向，至於無限之距離，非全爲空隙不可。然而此事決不可信。故無寧謂此方向有暗黑之天體，來自其後之星光，爲所遮蔽，其說確近於真。

若於暗室之內，熱物體使達高溫而實驗之，約至五百三十度始漸可見，至七百度前後而呈赤色，一千度內外變爲黃色，千二百度以上則成白熱。故天體中溫度最高少數之星亦爲白色，太陽無寧屬於黃色，以下溫度較低大多數之星爲赤色，

由此推察，可知溫度更低吾人全不能見之暗黑星，其數當在可見之星以上。

六等以下之星，雖非吾人肉眼所能直接而見，然用望遠鏡則能見之，光度每降一等級，其所屬之星之數，約以三倍而遞增。然肉眼不能見之暗星，有時突生光輝而出，即新星之出現是也。

新星出現，在歷史上不必為珍奇之事。最古之記錄，為紀元前百三十四年，所謂希巴加斯<sup>(1)</sup> 新星之出現是也。此星東洋亦同時見之，載於中國舊籍。千九百年之間，東洋發見之新星，見於中國記錄者三十顆，見於朝鮮記錄者二顆。基督生時所現之新星，即“白徒列衡<sup>(2)</sup> 星”，在西洋史上甚為著名，其前後亦常有新星出現，西歷千五百七十二年十一月初旬有一顆新星出現，最明之際，可與最大光度之金星匹敵，白晝亦能見之，據耶越布拉黑<sup>(3)</sup> 之研究，此新星出現後一年有半，即千五百七十四年三月下旬復失而不見，此星遂因而有名。最近三百年間所現之新星，其數達三十顆。

本世紀初年，即千九百零一年二月二十二日世界標準時午前二時四十分北天之一方“英仙星座”，發見三等級之新星一顆，然查距此二十八小時以前所撮附近之影能見十二等星，而此星不與，故知當時在十二等星以下。由十二等以下一躍而昇至三等，不過一晝夜之間而已。

---

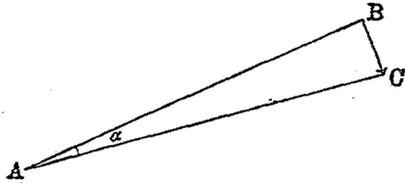
(1) Hipparchus. (2) Bethlehem. (3) Tycho Brahe.

星之光度每增二倍半，進一等級，若增百倍則進五等。故假定此新星在攝影之時為十三等級，其後二十八時之間進至三等級，其光度之增加當為萬倍。翌二十三日成為次於日月之最大之星，二十四日以後，次第衰弱，及秋，肉眼便不能見新星之色，最光時為白，次為黃，最後為赤，而至於不可得見。

然當是秋，在新星周圍暗黑之星雲，為新星之光所照而可見，隨光之傳播逐漸擴大。觀測此擴大之速度知為  $\alpha$  角，又由光之速度與時間知  $BC$

第十四圖

邊之長，故可計算  $AB$ ，  
即自地球至於新星之  
距離。其結果為三百光  
年內外，即第十六世紀



之末或第十七世紀之  
初，天之一方曾生新星，特其光至二十世紀之初，始到達於我  
地球而已。

然則新星之出現，其原因果安在乎？如上例示新星之周圍有星雲存在，故可推測一顆暗黑星突入暗黑星雲中之結果，由衝突而發光。由後節之說明恆星與星雲每秒皆以數十至數百千米之大速度而運動於天空，其常有偶然之會合，亦不足怪。又二顆暗黑星互相衝突，亦成新星。

有時隕人之彗星及每夜飛過天空之流星，與日常吾人所見之恆星，毫無關係。彗星亦如遊星，公轉於以太陽為焦點之

軌道上，其軌道作橢圓形者，如‘哈利<sup>(1)</sup>彗星’，以週期的而出現。其不作橢圓形者，僅出現一次，即永離太陽系而去。流星乃地球界圍氣內之現象，通過於地球附近之暗黑體之碎片，突入於地球界圍氣之內，發熱而生光，臨時為吾人所見。大者安然通過，小者消滅於途中，亦偶有落於地面者，即隕石是也。隕石概與地球上存在之巖石相同，含有鐵及其他之金屬，亦有幾全含純粹之鐵者，即所謂天降鐵，吾人之祖先最初利用之，以為鐵器之原料。

#### 第十四節 天體之運動

如用玻璃等透明體作三稜鏡，以映日光，則顯七色之虹彩。此蓋因太陽之白光，為各種波長之光即各種不同色之光所合成，當光波通過物質之際，因波長之長短其速度有遲速之殊，屈折之角不同，遂生分散之結果，如此分散之光稱之曰景亦曰光帶。

凡火亦非皆同一之物，其溫度依燃料而異，故其所放之光，亦千差萬別。質言之，構成物質之元素，各放其固有之光，故檢查其景，可以判定其原料。例如食鹽一成分之鈉，生黃色二行之景是也。

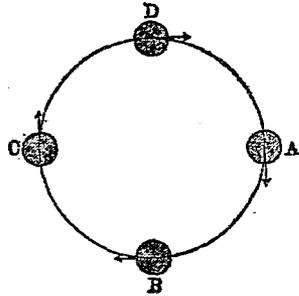
由恆星所生之景，恰與燃燒二三元素或簡單之化合物相同，常生數行至數百行輝線之排列。在或種恆星，此輝線之位

(1) Halley.

置，從週期的而左右變位，然則此種事實果何所表示乎？

在第十一節所舉例中，書信到達之週期，如發信者及受信者俱靜止時，其週期一定，若兩者間作相對的之運動時，則從距離之遠近而週期伸縮，此即都卜勒之原理<sup>(1)</sup>是也。光者，由發光體送於吾人之一種週期的通信也，由週期之長短而顯七色之差，故景之變位即表示光波週期之伸縮，究不過告吾人以發光體時近時遠於觀察者而已。

第十五圖



恆星之景之輝線位置，從週期的而變化，蓋因恆星週期的或近或遠於吾人之故。設此恆星公轉於圓軌道(如圖)之上，自

吾人觀之，在軌道之右端 A 與在左端 C 時，運動之方向反對，在中間 B 及 D 時對於吾人之距離不變，故其景以在 B 及 D 時為中心而生左右之變位。若測定此變位之量，則可算出 A 及 C 之速度。此變位量，於鈉之黃色線，若為一耗之百萬分之一，則發光體之速度，與每秒五百十杆相當。

此左右變位每起一次，即表示恆星公轉一次，故容易知公轉之週期。又因公轉之週期與速度之相乘積為圓周之全長，故可算定軌道之半徑。如是，用望遠鏡僅見為一顆之星，由上

(1) Doppler's principle.

方法可知其爲連星，且能決定其軌道。

即在同一天體之內，若天體自轉，則其左右兩端對於中央爲反對之運動，由各部所發之光，其波長不同，故若置細隙使垂直於自轉軸，則其景不與靜止時期相同，不爲直線而爲波狀之曲線。故由此可知天體之曾自轉與否。就太陽觀之，知其東方近於地球，西方遠於地球，而自轉不息。

就無數恆星而研究其運動，綜其結果，知一部分爲各星所共通，恰如太陽系之非靜止，若假定其向“武仙”<sup>(1)</sup> 星座而運動，則可說明。

第十九世紀之初，暗黑之星雲，爲出現之新星所照，前已言之，至自放光輝之星雲，則自古已曾觀測。因望遠鏡之發達，今日所知者，已達十萬朵以上，其大多數皆成螺狀。就此等螺狀星雲之景而研究之，知有與二三元素相當之輝線，且有多少變位。故從都卜拉之原理，知此等星雲亦非靜止而常運動。又由景所得而知者，僅爲運動體與觀測者間所連結之直線上之運動，就六十六個大螺狀星雲而觀測之，知其速度平均每秒爲四百杆。

然此等星雲，存在於三次元之空間，決無僅限於視線上作一次元之運動之理，故於直角之方向，亦有相當之分速度。若平均各方向皆有同一分速度，則垂直於視線二方向之合成速度，每秒當爲五百六十杆。此等運動係在天球面上，故在理

(1) Hercules.

可由望遠鏡而觀測。然十五年間嘗觀察十朶之無定形星雲及四十七朶之螺狀星雲，其角距離皆不能見有一秒之變化。使一天體在一萬光年遠距離之處，以如上之速度而運動，則十五年之間其角距離亦當生一秒之變化。吾人容易由觀測知之。由是觀之，上述之螺狀星雲，最少當在一萬光年之遠距離以上。

### 第十五節 宇宙之限界

恆星與星雲非平均分布於天球之上，最爲吾人所注目者銀河系是也。此爲無數恆星之集合，在天空中爲一獨立之星界，稱之曰銀河系。恰若我地球爲太陽系之一部分，而太陽系亦不過爲更大之銀河系之一部分而已。至前節所述之螺狀星雲，則皆銀河系以外獨立之星界也。

就太陽系觀之，各遊星之軌道，幾在同一平面之上，最大之傾斜亦不過七度左右。雖衛星之中有近於直角者，然其軌道甚小，故即謂太陽系所佔領之空間爲扁平亦可。銀河系亦爲不定形之橢圓體狀，其短徑約三千光年，長徑約十倍之。

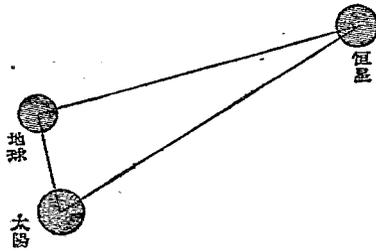
銀河系之近鄰，視爲獨立星界之“馬吉朗雲”<sup>(1)</sup>之距離，約三萬光年；“武仙座”之大星團，爲十萬顆以上之星所密集之獨立星界，其距離約十萬光年。美國南加州威爾遜山之絕頂，有口徑百吋之反射望遠鏡，此鏡所能觀測世界之最遠距離

(1) Magellanic Clouds

爲三十萬光年。換言之現在吾人一目之下所望見之世界，不僅現在之世界而已，三十餘萬年之大過去以來，所有年代均同時見之。歷史家嘗謂吾人由書籍而知過去，直忘却吾人能直接而見過去耳。

吾人肉眼所見之事，皆屬過去，其年代由距離之遠近而定，由上所述之理自明。然則由住於地球之吾人而觀，太陽上生某種之變化時某恆星——例如“半人馬座 $\alpha$ 星”——同時亦

第 十 六 圖



生他之變化，此事果有如何之意義？太陽上之事，較吾人目擊之時刻當於八分二十秒之前發生於太陽，恆星上之事，當於四年之前，發生於恆星，故在地球上觀

之，雖曰同時刻，而在他星界觀之則不必同時刻矣。

質言之，自一世界所見爲在前發生之事象，自他世界或見爲在後。例如自地球上之人類觀之，見白徒列衛新星先出，而後基督降生；然在天上界觀之，必有見釋迦降臨之際，新星已出者，故若以繼起之關係而區別原因與結果，則在一世界所認爲甲之原因之乙事實，在他世界或推定爲甲之結果。要之，時刻之前後，非絕對的甚明。

宇宙之廣狹，隨人知深淺而決定，在浮沈於狹小世界之人

類，動說世界之滅亡而信之，若知世界之廣大有如上述，則世界滅亡之豫言，恐終不能出之於口矣。

據前節所述，吾人之空間如何廣大，可得而知矣，然則宇宙之中心果在何處？我太陽系在宇宙間果占如何之位置？此等皆為必起之問題。我國自昔稱為中國，日本亦有名為中國之地方，此等皆由世界中心之思想而起，自古以來世界中心之問題，始終議論不絕。

古代之哲學者，有解答此問題者，謂自世界兩邊各放一鳥，此鳥相逢之處，即為中央。現在歐洲各國之國旗及貨幣等尙繪有兩鳥相會之圖案，皆表以己國為世界中心之意。

使知世界之兩邊，則其中央不難決定。然使世界宏大無際，則將如何而決定其中央乎？物理學上所謂之世界，限於物質存在之所，或限萬有引力作用之範圍。至不含一物之空間，乃數學者或哲學者之世界，非自然科學者之世界也。故任用何等方法，所得見天體存在之範圍，即為吾人空間之限界。果爾則在現今之程度，以吾人為中心以三十萬光年為半徑之天球，即為宇宙之限界，其中心之位置，當然由我地球占之。

由是觀之，宇宙之廣狹，非一定不變，隨文明之程度而擴大，文明較劣之人之世界，當然包容於文明較優之人之世界中，故最優秀文明之所有者，即占世界之中心。

### 第三章 時間

#### 第十六節 時間之自然的單位

時間者，感覺的材料組織為經驗時，所不可缺之思惟之形式而已，因其為性質的之物，故不能直接測定。通常吾人所稱為經驗的時間，實不外時間對於空間之投影，故由測定空間的延長，間接可以測定時間。換言之，時間之測定畢竟歸於長之測定。

同一事情之下，週期的反覆之現象，每回必需要同一之時間。即容認此等現象之等時性是也。故從其現象反覆回數之多少，可以表時間之長短，至選擇何種現象而假定其等時性，則吾人得任意為之。

晝夜之交代，為吾人祖先最早注目之週期的自然現象。故以一晝夜為時間之單位，稱之曰一日。其次太陰之盈虛，於野蠻人之生活，為關係重大之週期的自然現象。故以一朔望為時間之單位，稱之曰一月。至對於更長之時間，則氣候之週期的變化，即四季之循環，有可以注目之價值。故吾人之祖先以一春秋為時間之單位，稱之曰一年。年月日者測定時間並決定時刻之世界的共通之單位也。

不論季節，太陽朝出於東天，至南天而中，經子午線而傾於西天，序論曾已述之。然太陽經過於子午線之際，自地球上觀察，非到處皆能於南天見之。能見太陽於南天經過子午線之

地，僅限於北半球之溫帶而已，若在南半球之溫帶，則見其在北天。

若在南北兩半球溫帶之中間，則隨季節或在南天，或在北天，見其經過子午線，每年二回通過於天頂。吾人稱此地曰熱帶。太陽通過於天頂附近之際，氣候當然極熱，無論向南向北漸離天頂之際所感之涼度亦同。故熱帶之地，僅有熱涼二候，每年往復兩次而已，非如溫帶地方有四季之變化也。

夏至季節，自居住北半球溫帶之吾人觀之，太陽方離於南天之極端，而南半球之人，則見其將近於天頂。故自居住南半球南端之人而觀，太陽以天之南極為中心，作圓運動始終不沒於地平線之下，恰與吾人見北極附近之星始終不沒於地平線之下相同。此際居住於北半球北端之人，見太陽始終不昇於地平線之上，猶吾人不能見南極附近之恆星也。如斯有不見太陽出沒之季節之地，稱之曰寒帶。

要之，春分或秋分之日，太陽於天頂經過子午線之處，位於赤道直下，此時見太陽在南者稱曰北半球，在北者稱曰南半球。南半球之內，於冬至之日，或北半球之內，於夏至之日，能見太陽於天頂經過子午線之地，為熱帶與溫帶之境界。在北寒帶地方，冬至前後，不見日出，夏至前後，不見日沒，南寒帶與之相反。

年月日為測定時間之自然的單位，已如前述，更詳細論之，則此三者實非互相對等。在居住於溫帶地方之人類，一年一

月一日，固有重大之意義，自熱帶或寒帶之住民觀之，則不然。譬如赤道直下之人類，無四季之變化，故一年之單位，有名無實，僅有學術上之意義而已。故以南洋土人，不知自己之年齡為愚者不啻表白自己之愚也。熱帶之植物，通常皆無年輪，溫帶地方之一年生植物，若移植於熱帶，每能亘長日月發育不輟。

又在寒帶，如拉伯蘭<sup>(1)</sup>及斯匹次白根<sup>(2)</sup>島等處，一晝夜之長短常有極大之變化。在某季節，一夜之內，能見二三回之新月及滿月，在他季節，太陽永照地上而不沒。故以晝夜交代為一日而定為時間之單位者實無意義，僅學術的存在而已。故年月日之內，唯以一朔望作一月，為世界各國民族所重視之共通單位。

自理論上言之，自當採用通古今互東西任何人類共能觀測之週期的現象，為測定時間之標準，地球之自轉，即具備此條件者也。地球之自轉，可觀望天空之恆星精細決定之。例如任意恆星，自南中復至南中之間，地球適自轉一次，若以此為時間單位，則為古今東西之所共通。吾人稱此單位曰一恆星日。

太陽非如恆星固定於天空者，自地球上觀之，由一恆星之位置向於次恆星自西徂東進行不已，其角速度每日平均約移一度弱，故其結果溫帶地方一年間太陽雖出沒三百六十

(1) Lapland (2) Spitzbergen

五次而普通之恆星則出沒三百六十六次。蓋因地球每年繞行太陽一周，故生如此差異。然一晝夜由太陽一出沒而定，故一恆星日與一晝夜不等。人類由晝夜之區別，而行動受其支配，故以恆星日為單位，實不便於吾人。以太陽自南中復至於南中為時間之單位者，稱曰一太陽日。

### 第十七節 時計

一太陽日，即通俗之一日，在理早應採用為時間之單位，然隨人文之進化，有測定較短於一日之時間之必要。因夜間大概蟄居，故將晝間先行細分，為第一之條件。於是而有利用太陽之影而測定時間及時刻之方法，即日時計是也。

因使晝夜共通，遂發明刻漏之法，即由一定之孔，使水漏出從流出之分量而測定時間之長短之法也。此物之更通俗化者，稱為砂時計，如圖充砂於亞鈴形容器之一方，——例如 A 部——使向上置於桌面，則砂粒由細孔落於



第十七圖  
B 部，可利用以測定甚短之時間。——如欲測雞蛋半熟之時間——使用一回，則砂全部悉落於 B，故次回使用之際當以 B 部向上置於桌面。又以一枝線香或蠟燭燃盡所需之時間為單位，亦可以測時間，此中國與日本通俗上採用最廣之時間測定法也。

但測定更短之時間亦有必要，最普遍的之現象，為人體內

所起心臟之週期的運動，故古時有依脈動之數以測甚短之時間者。其後噶利略見教堂中吊燈籠之振動爲等時性，遂利用擺而發明由振動回數以測定時間之裝置，即時計之元祖是也。

測定時間之機械——即時計——由三個主要部分而成。

1. 從等時性起週期的往復運動之裝置。
2. 使此運動得以繼續之動力貯藏所。
3. 指示往復運動之回數之裝置。

由以上三主要部分適當聯結，則成一個時計。

利用如上考案之時計，精測時間之結果，知一太陽日之長，非一定不變，應四時之季節，各有長短。即由牛頓之運動定律，從理論上推定之，地球公轉之速度，隨季節而有遲速，故一晝夜之長，亦有長短。故精確言之，太陽日不能爲時間之單位，吾人取一年間之平均，稱之曰一平均太陽日。至測更小之時間，則定一平均太陽日之二十四分之一爲一時；又六十分之一爲一分；又六十分之一爲一秒。物理學上常以此一秒爲時間之單位。

按等時性之假定，謂在同一狀況之下循環不已發生之現象，其週期爲一常數，即令此種假定爲真實，然同一事情，事實上決不能再現，故任何精巧之時計，不能謂爲常屬正確。然則時計之正確與否，果將如何判斷乎？舍依採用爲時間單位之平均太陽日外，別無良法。然平均太陽日不過假想，故當以地

球自轉爲基礎而更正之。由恆星回轉於北極星周圍之一事，卽足表示地球之自轉，故結局只須觀測天體，先將恆星時求出，次由理論計算恆星時與平均太陽時之差，然後施以適當之修正，而成真正之時刻，時計之正確與否，必如是而後可以決定。

今觀測任意之恆星，若以此星南中之際時計所指之時刻爲 $T$ ，翌日同一之星南中之際所指之時刻爲 $T_1$ ，則此時計爲正確表示恆星時之時計。此際若所指者爲 $T_2$ 而非 $T_1$ ，則由 $T_2$ 大於 $T_1$ 或小於 $T_1$ 卽足以察知此時計每日爲快或緩。

春分之日使恆星時與平均太陽時一致而定時刻之基點，故稱之爲時正之日。然一年之間平均太陽日雖爲三百六十五日而恆星日則爲三百六十六日，故一恆星日較一平均太陽日，約短四分。故每日表示恆星時之時計約快四分，至於秋分共快十二時，復與表示平均太陽時之時計一致。

## 第十八節 太陰曆

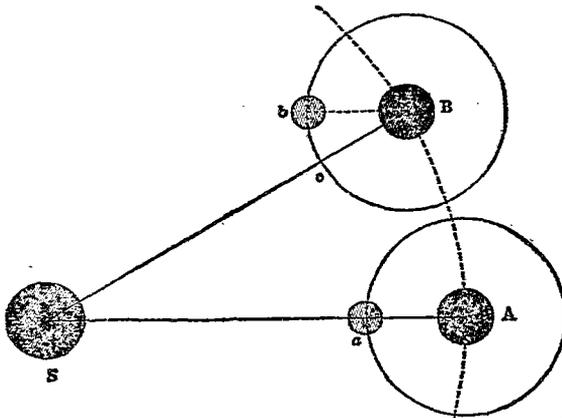
由月之盈虛而生一月之時間單位，卽自新月至其次新月或自滿月至其次滿月，換言之，卽以一朔望爲一月是也。然一朔望月非一定不變，從季節而有短長。例如自民國十年一月九日之新月至二月八日之新月爲二十九日十九時十分；七月五日之新月至八月四日之新月，則爲二十九日六時十二分。然試於長期間取其平均，知一朔望月與二十九日十二時

四十四分三秒相當略言之，即二十九日半強是也。

月公轉於地球一次所需之時間，不與一朔望月相等。設太陽與地球，俱靜止於宇宙之內，則月每公轉一次，亦生一次之盈虧。實際上地球亦公轉於太陽之周圍，故月非經一公轉以上後，不能復生新月。

如圖，太陽  $S$  及月  $a$  與地球  $A$  如同在一直線之上則為新月。就月公轉  $A$  之周圍一次之時間觀之，此時地球公轉於太陽之周圍約三十度而至  $B$  點，故月之位置不在於  $a$  而在於

第 十 八 圖



$Aa$  與  $Bb$  當然為平行線，而  $bB$  線與  $BS$  線所成之角即  $ASB$  角約等三十度，故月之一部分為太陽所照，可由地球見之又須自  $b$  更回轉至於  $c$  之位置始成新月；故一朔望月，較月公轉之週期約長二日有餘。

一年之長，雖殆不變，然非一日或一月之整數倍，氣候循環之週期，即一回歸年，等於平均太陽日三百六十五日又一萬分之二千四百二十二日；若與朔望月較，則比其十二倍更多一千分之三百六十八。如斯年月日間所存複雜之關係，將如何整理之乎？此為曆法之根本，為古代最初社會問題之一。故制定曆本，屬於國家之大權。

世界上文明進步最早之種族，不住寒帶或溫帶之地方，而發展於熱帶或準熱帶之暖地，故彼等之曆法，重視月之朔望而用太陰曆。然在溫帶發展之種族如中國人，則自古使用太陽曆，距今四千二百八十年以前，即帝堯之時代，已以三百六十五日四分之一為一回歸年。

由氣候風土之關係，阿拉伯人，摩罕默德宗之人，當然純用太陰曆，平均朔望月為二十九日半強，故以大月為三十日，小月為二十九日，從數之奇偶而區別大小，以十二月為一年。此曆之一年，與一回歸年之差約為十一日，氣候與日之間，每年有如斯之差異相積，故本年一月之氣候，與十數年後七月之氣候相同，每三十三年氣候復歸其舊，宗教上所以有三十三回忌之形式，其根據即在於此。

每年氣候約差十一日，每三年約遲一月以上，此種曆法，自吾人視之誠或不便；然在熱帶之處，無四季之變化，不知冬夏之區別，故亦不感有何不當。

紀元前八世紀之時，即能以大英斯茂視太陰之朔望定大

月爲三十一日，小月爲三十日之羅馬人，亦居然以一年爲十個月，制定全用與氣候季節無關之曆。此曆於第一第二第三第四等月，用神話中之神名以爲月名。

Martius (第一月) Aprilis (第二月) Majus (第三月)

Junius (第四月) 第五月以下即以月之號數稱之。

Quintilis (第五月) Sextilis (第六月) September (第七月)

October (第八月) November (第九月) December (第十月)

直譯之，即五月，六月，七月，八月，九月，十月，是也。此曆法雖非太陽曆，然爲由太陰曆移於太陽曆之第一步。至紀元前七百十七年更補第十一月（Januarius 天門之神）及第十二月（Februarius 地獄之神）兩月，以大月爲三十日，小月爲二十九日，而復歸於太陰曆。

### 第十九節 太陽曆

紀元前四十五年羅馬皇帝朱旋<sup>(1)</sup>時代招埃及亞曆山大里亞<sup>(2)</sup>之天文學者蘇西哲賴斯<sup>(3)</sup>而圖改曆之事業。蓋埃及於紀元之前三千餘年自建大金字塔之時，已極重視天體之觀測，其結果由最大恆星——狼星——南中之時刻而豫知尼羅河之洪水，以三百六十五日爲一年，而採用太陽曆。然依此曆法尼羅河之大洪水年年漸遲，一世紀間竟生一月弱之差。精測之結果，一千四百六十一年之間，尼羅河之洪水共生

(1) Julius (2) Alexandria (3) Sosigenes

一千四百六十次，故一回歸年較三百六十五日約長四分之一日，故知四年之間有置一日之閏之必要。

改曆之際，冬至後第一次之新月適為第十一月一日，故以此日為新年之始，即以從前之第十一月為一月，第十月為十二月，於是月之次第與月名不能一致。又因紀念改曆之故，廢從前第五月（即七月）之月名，而改用朱旋皇帝之名，此現在英文稱七月為朱勒（July）之起原也。

其後因閏月插入法有誤，奧加斯他斯<sup>(1)</sup>皇帝更訂正之，又因紀念廢從前第六月（即八月）之月名而改用皇帝之名，此現在稱八月所以為奧加斯特（August）也。然紀念前皇之月大，紀念今皇之月小，當時有以此為大不敬者，於是竊取二月中一日，加於八月，使為大月。故現在七八兩月俱為大月，獨二月不及三十日之原因，在學術上毫無根據，不過為歷史上誤謬的忠君思想之紀念碑而已。據此曆法，一年平均為三百六十五日又四分之一，稱之曰朱旋曆之一年，即革命前俄國所沿用之曆法也。

太陽曆之一年，與氣候上一年，其差不及一日。其理想在每年同一之氣候，與同一之日相當。然若從朱旋曆，與一回歸年之差雖甚僅少，但積至四百年則達三日。故四百年之間須省三次之閏日。實行之方法，其通則以四除西曆紀元年數，所得之年，以為閏年，但年數若為百之倍數時，則以百所除之商更

(1) Augustus

以四除之，其不能除者不置閏年。

譬如千九百年雖可用四除盡，但因為百之倍數故先以百除之，其商十九，則不能用四除之，故紀元千九百年為平年如是四百之間有九十七次之閏年，一年之平均，為三百六十五日及一萬分之二千四百二十五，不至三千餘年之後，氣候上不致生一日之差。我國所用之太陽曆，即為此曆，因歷史上斷行改用此曆為谷勒各利<sup>(1)</sup>法王，故稱為谷勒各利曆。

## 第二十節 舊曆

中國及日本從前所用舊曆，雖通常稱為陰曆，其實非純粹之太陰曆，無寧稱為陰陽折中曆較見適當。因舊曆係將一回歸年二十四等分之，為立春，雨水，驚蟄，春分，清明，穀雨，立夏，小滿，芒種，夏至，小暑，大暑，立秋，處暑，白露，秋分，寒露，霜降，立冬，小雪，大雪，冬至，小寒，大寒，等節。更以立春，立夏，立秋，立冬，為四季之始。立春為正月節，雨水為正月中，驚蟄為二月節，春分為二月中，順次稱為節及中。此等區分，明依黃道上太陽之位置而決定，例如時至清明，則天氣晴朗，煦煦成春，即表示氣候由太陽所支配，與月毫無關係。舊曆以一新月至次新月為一個月，係由月決定，此月內有雨水之節，稱為正月，有春分之節，稱為二月，故一個月雖以朔始以晦終，然至月之命名則全由黃道上太陽之位置而定。故舊曆自氣候節季之點論之，則屬於太

(1) Gregory

陽曆,自決定一個月之點論之,則屬於太陰曆。

舊曆以大月爲三十日,小月爲二十九日,大小交代,平均一個月爲二十九日半,較諸一朔望月,尙不足千分之三十一日,故有時大月繼續兩月。又以十二個月爲一年,故舊曆一年爲三百五十四日或三百五十五日,較諸一回歸年,尙不足十日以上。然十九回歸年約爲六千九百四十日,恰等於二百三十五朔望月,若小月爲百十個月,大月爲百二十五個月,則無過不足之虞。但每年十二個月,十九年僅爲二百二十八個月,當剩七個月有餘,因以此爲閏月,故十九年之間有閏年七次。平均一朔望月,爲二十九日半強,然自一中氣至次中氣,平均爲三十日半弱,故有時一月之中不含中氣,卽以此月爲閏月。

舊曆既如上述,名義上雖爲太陰曆,然指示氣候之二十四節及雜節,皆以太陽在黃道上之位置爲基礎而定,故就太陽曆之日言之,則每年一定。茲舉民國十一年來清明與冬至二節,新曆與舊曆之日,比較如下:

年分	清 明		冬 至	
	新曆	舊曆	新曆	舊曆
元年	四月五號	二月十八日	十二月廿二號	十一月十一日
二年	四月五號	二月廿九日	十二月廿二號	十一月廿五日
三年	四月五號	三月十日	十二月廿二號	十一月七日
四年	四月六號	二月廿二日	十二月廿三號	十一月十七日
五年	四月五號	三月二日	十二月廿二號	十一月廿八日

六年	四月五號	二月十四日	十二月廿二號	十一月九日
七年	四月五號	二月廿四日	十二月廿二號	十一月廿一日
八年	四月六號	三月六日	十二月廿三號	十一月二日
九年	四月五號	二月十七日	十二月廿二號	十一月十三日
十年	四月五號	二月廿七日	十二月廿二號	十一月廿四日
十一年	四月五號	三月九日	十二月廿二號	十一月五日

由上表觀之，清明與冬至二節在太陽每年相差不過一日，蓋因太陽曆每四年置閏一次，故每屆四年，而有一日之差也。茲更舉民國十一年來新曆各節之日如下：

小 寒	大 寒	立 春
一月六日(或七日)	一月廿一日(或廿二日)	二月四日(或五日)
雨 水	驚 蟄	春 分
二月十九日(或廿日)	三月六日	三月廿一日(或廿二日)
清 明	穀 雨	立 夏
四月五日(或六日)	四月廿一日(或二十日)	五月六日
小 滿	芒 種	夏 至
五月廿二日(或廿一日)	六月六日(或七日)	六月廿二日(或廿一日)
小 暑	大 暑	立 秋
七月八日(或七日)	七月廿三日(或廿四日)	八月八日(或九日)
處 暑	白 露	秋 分
八月廿四日(或廿三日)	九月八日(或九日)	九月廿四日(或廿三日)

寒 露	霜 降	立 冬
十月九日(或八日)	十月廿四日	十一月八日
小 雪	大 雪	冬 至
十一月廿三日 (或廿二日)	十二月八日 (或七日)	十二月廿二日 (或廿三日)

故農業當事者對於播種及其他農事，只須記憶太陽曆一次，便可永遠通用。吾國農夫使用舊曆，每年節季生十日以上之遲速，故不觀曆書，不知節氣，不便孰甚。

曆年通常以一月一日為歲首，十二月三十一日為歲終，在學術上毫無何等根據，不過改曆之年，因此日適當新月，故以為歲首而已。吾人現今以七月一日為行政會計年度之始，若以此月為新年之始，不特無何等不可之處，且有較大之便利。

更就四季之區別言，東洋之春夏秋冬，以立春立夏立秋立冬為始，春分秋分為春秋之中，夏至冬至為夏冬之中。然西洋之春以春分為始，夏以夏至為始，秋以秋分為始，冬以冬至為始。故西洋之四季與東洋之四季，始終之期，不能一致，例如西洋之春含有春之後半及夏之前半是也。

## 第二十一節 時刻

欲表示時刻，則測定時間之基點，最為必要。天文學上以平均太陽南中之時即正午為基點以示時刻，而社會上則以夜半為基點較見便利，地球向東自轉，而分晝夜，故太陽運行自東而西，人居地面，在東者見日在前，故時刻較早；在西者見日在後，故時刻較遲，此為地方時，乃各地方就太陽之位而定者。

也。全球除同經度之地點外，皆不相同，故生里差。

太陽行天一周，爲度三百六十，歷時二十有四，即每一時當十五度；每時之一分，當度之十五分。換言之，以十五除經度，即得時數。例如有經度一百一十六度二十八分十三秒，化爲時數，則得七時四十五分五十三秒弱。

兩地不同經者，其相距之經度，化爲時數，名曰里差。如北京居東經一百一十六度二十八分十三秒，上海居東經一百二十一度十一分十二秒，相減得四度四十二分五十九秒，化時得十八分五十二秒，此北京上海之里差也。故由某地某時，求他地之相應時，祇須將其里差之數，在東者加，在西者減。例如北京之五時三十二分四十五秒，即爲上海之五時五十一分三十七秒；而上海之五時三十二分四十五秒，則爲北京之五時十三分五十三秒。

如斯時刻因地而異，精密言之，吾人每西行百餘丈，則時表須改遲一秒，或東行百餘丈，則時表又須改早一秒。當交通不便時代，舟車日行百里，里差不過二分，又因記時之器未精，分秒微差，無從覺察。自輪船電報創行以來，時刻問題，首見困難。蓋由此地某時出發者而彼地或未及某時已到，或越多時始到。故須採用某地方之時刻爲標準時各地之時刻，始可從而決定。現今世界之標準時，採用英國格林維基天文台之時刻，自格林維基起算，以每隔十五度經線之時刻爲標準。故全球可分爲二十四區，名曰標準時區。各區皆以十五度之經線爲

中線格林維基所在之區，曰中區。其東十二區爲下午時區；順序名之曰東一區東二區至東十二區止。其西十二區，爲上午時區；順序名之曰西一區西二區至西十二區止。東第十二區與西第十二區得爲一區，日之界線在焉，亦晨夕之所由生也。

經度十五度，既當平時一時，故二十四區標準時，卽爲周日二十四時之表示，以格林維基所在之中區，爲正午十二時或零時，則東一區，卽爲下午一時，東二區爲下午二時，區名與時數合，西一區爲上午十一時，西二區爲上午十時，區名雖與時數不合，而區數與時數相加，則得十二，亦不難記憶。

標準時區，以一時爲進退者，常經也。但時區以中線之時刻爲標準，偏東偏西之地皆與地方時有差，最多可差至半時。苟能減少其差數，而仍不背乎標準時之原則者，則爲便更多，於是有半時區之設，又可視地方區域之便利，稍事權變，將附近之重要城市，劃在同區之內。美國所分之四區，卽犬牙相錯，固不必拘拘於經線之區分也。中國幅員遼闊，西起格林維基東經七十二度，東至東經一百三十五度，里差多至四時有餘，其不能用一種時刻通行全國，彰彰明矣。故本世界標準時之制，將全國劃爲五區，此以東經一百二十度經線之時刻爲標準者曰中原時區，以一百零五度經線之時刻爲標準者，曰蘭蜀時區，以九十度經線之時刻爲標準者，曰回藏時區，以上三者，皆整時區也。以八十二度半經線之時刻爲標準者，曰昆侖時區，以一百二十七度半經線之時刻爲標準者，曰長白時區；以



更東之度，如加羅林<sup>(1)</sup>適為午後十時，馬夏爾<sup>(2)</sup>羣島，則為午後十一時。與此相反，如由美國西行在紐約為午前七時，在桑港為午前四時，夏威夷<sup>(3)</sup>為午前二時。設吾人於元旦午前十時自馬夏爾島出發，此時刻適當夏威夷十二月三十一日午後二時，若翌朝至夏威夷，適可以復迎元旦。

反之，由美國東來之際，元旦自夏威夷出發，若翌日到馬夏爾島則為一月三日，而一月二日無形取消。此蓋基於吾人採用時刻之測定法所致，不必基於自然的之現象也。使他日以北京天文台之時刻，為世界之標準時，則夏威夷與馬夏爾之間必不起何等不可思議之事。

若每日進經度五度即三百哩，因地球之全週，為三百六十度，故七十二日能一週地球，此乃居住者之計算，旅行者自身觀之則不然也。吾人若向東進行，則馬夏爾島與夏威夷之間重出一日，故見七十三次之日出，及七十三次之晝食。若反之向西進行，則馬夏爾與夏威夷之間，躍過一日，故只見七十一次日之日出及七十一日之晝食。故靜止之人所見之一日，與運動之人所見之一日，實不同一。

## 第二十二節 時間之伸縮

自平均太陽南中至其次南中為一日，學術上決定為時間之單位。如是則中國國內靜止者之甲見為七十二日一週地

(1) Caroline (2) Marschel (3) Hawaii

球之旅行，自旅行見之，則不爲七十二日，即向東往美國之乙作七十三日之旅行，向西往大西洋之丙作七十一日之旅行，已如前述。果爾則同一之時間，因測定人之見地而數值不同，然數值與單位爲逆比例，故甲之單位之一日較乙之單位之一日爲長，較丙之單位之一日爲短。換言之，即雖同稱一日而甲乙丙三者之一日有長短之殊。

吾人利用自然現象之等時性，以測定時間之長短，既如前述更精細研究之，凡現象之週期，即使同一，然從觀察者之運動速度，常自由伸縮，此都卜拉原理所明示者也。故吾人觀測之週期，不能即謂爲此現象所表之週期。

如斯變化，不限於自然現象，即人爲的之時計亦然。假定太平洋上之波竟不能平，日美艦隊至以礮火相見。而兩艦隊皆於戰前在德國克虜伯<sup>(1)</sup>工場定製有同樣之大礮，每分一次自動發射。礮彈速度每秒五百呎，如兩艦隊靜止於距離兩萬呎之處，則發礮後經四十秒鐘到達敵艦，無論自日美何艦隊觀之，皆見每正一分間各發一礮，敵人方面，亦復相同。

然日本艦隊若以每秒二十呎之全速力而前進，於二萬呎之距離發第一礮，約三十八秒半之後，可達敵艦。其次至發第二礮，須隔一分間，故距敵艦近千二百呎，故第二礮發火後三十六秒餘可達敵艦，由敵艦觀之，自受第一彈後約五十七秒半即受第二彈。若以此自動的發火之大礮爲時計，則彼等必

(1) Krupp

以爲美國艦隊之五十七秒半與日本艦隊之一分相等。此時自日本艦隊觀之，敵彈亦較靜止之時到着爲早，必誤解美國之時計過快。反之敵艦退去之際必見敵艦之時計較慢。

天候靜穩之時，艦隊爲靜止抑爲前進甚易見之，若漂流於怒濤之中，則自己之前進亦無從確知，故事實上究爲時計不正確抑爲艦隊運動，不能判定。要之，卽爲同一之時計，對於靜止之觀察者與對於運動之觀察者，亦互不同。故離空間則時間不能獨存，由甲之世界所見之時間，與由乙之世界所見之時間殊非同一。

## 第四章 能

## 第二十三節 溫度計

吾人由肉體之感覺能知寒暖之區別。然此僅就寒暖之性質而言，不能直接比較之也。一般言之，能由感覺而下判斷者，若為並起或連起之現象，則較正確。然吾人之記憶，雖能永續，但其程度則隨時間而劇減。故其強弱，不能同一留於記憶之中。所以經過長時間之二感覺，不能比較。又同一溫度室，自更暖之處來者感其涼，自更冷之處來者感其暖。故寒暖之程度，即溫度。若欲訴諸感覺而求直接判斷，非科學之之事也。換言之，欲從科學的而論寒暖，當離却吾人之個性，而以研究其測定法為最初之要件。

吾人當氣候溫暖之際，不特精神的常有廓然欲伸之感，即肉體的亦有多少之伸長。遇暖氣而伸腿，遇寒氣而收縮，不限於吾人人類而已，除二三例外，幾為萬物共通之性質。物質之伸縮，可以測定，故間接可因以知寒暖之程度，即普通之溫度計是也。

溫度之增加，與伸腿之比例如何，吾人雖不得知，但可假定採為標準之物質，其膨脹與溫度之增加為比例。換言之，即可以標準物體膨脹之多少，測溫度之高低。

不論任何物質皆可為標準物體，但普通採用水銀。通俗的常利用酒精，而學術的則選擇空氣或輕氣等氣體。水銀溫度

計視水銀膨脹之量可以知溫度之增加，如玻璃管之直徑相同，則體積之增加，可由其長表示；故水銀柱之高低，即表示溫度之高低。

用此法以製溫度計，則以若干爲一度，即以何者爲溫度之單位，全由吾人之意。又溫度之基點，即以如何寒冷爲零度，亦全由人意定之。華氏初製溫度計之時，以溫度計浸於當時人爲的最冷之寒劑中而刻其度，其次以此溫度計置於自己體內而暖之，又刻度於最高之點，將二點間十二等分之，更將其間二等分之，如是三次，定所刻之距離爲一度，最下點爲零度，故華氏之溫度計體溫爲九十六度。

然攝氏製溫度計之際以水之冰點及沸點爲標準，將其間百等分之，最下點爲零度。若以華氏溫度計測之，水之冰點爲三十二度，沸點爲二百十二度。故冰點與沸點間溫度之差，攝氏之溫度計爲百度，華氏之溫度計爲百八十度。

吾人若將攝氏溫度計所測之溫度以五分之九乘之，又加三十二，則與華氏溫度計所測者之溫度相同；又若自華氏溫度計所測之溫度減三十二之後，以九分之五乘之，則與攝氏溫度計所測者相同。此種換算法，由前段之說明自明。因五分之九爲百與百八十之比之通約數故也。

## 第二十四節 熱及其移動

溫度不同之二物體，若相互接觸，二者之溫度通常皆生變

化。今於甲物體之溫度高於乙物體時，而實驗之，其變化不出下列三種：

1. 甲之溫度降，而乙之溫度昇。
2. 甲之溫度雖降，而乙之溫度不變。
3. 甲之溫度不變，而乙之溫度昇。

不論何種變化，吾人皆認有特種物理的要素，自甲體移於乙體，此要素稱之曰熱。一般言之，溫度之變化，基於熱之出入，故受熱則溫度昇，失熱則溫度降。但如前記第二第三之例，受熱而溫度不昇，失熱而溫度不降，如斯與溫度無關係之熱，稱曰潛熱。

物體當其授受熱時，若其溫度不變，則其他性質，必生變化。例如攝氏零度之冰與水之混合物，雖稍加熱，而溫度不昇，然冰之量漸減，水之量漸加，即零度之冰融解為零度之水是也。又如充滿百度蒸汽之室內，雖送入少量之涼風，而溫度不降，惟水蒸氣之一部分凝集為露而已。

由上說明，知熱有二種之效果。其一為增高物體之溫度，其一為變化物體之形態。故不特溫度相異之同種物體，其所有之熱量不同，即溫度相同，而水與冰與汽等所含之熱量，亦有多大之差異。

如上甲乙二個物體接觸之際，熱自一方移於他方之現象，稱曰熱之傳導。

熱之移動不僅由傳導而已。譬如寄款，有由甲直接面交於

乙者，有託丙代交於乙者，熱亦猶是。在氣體液體各部分能自由運動之物體，丙物質帶熱自甲所運至乙所，此時有運熱而往者，亦有失熱而歸者，往復互流，故稱之曰對流。

熱之移運，更有第三種類，與寄款時之匯兌相當，因輸送之物不為現金，而為匯票，即不幸途中被盜，若銀行不與兌換，仍不至於失金，熱由輻射而移動，其事正與此相等。例如太陽之熱，由輻射到達地球，輻射線非熱，通過之途中，——太陽與地球之間——仍屬寒冷。傳導與對流，則不能經過寒冷之途，而太陽之輻射線，為地球上物質所吸收，復化為熱。

若置冰於高溫度之室內，則冰受周圍物質之熱而融解；置水於低溫度之室內，則水之熱為周圍所奪而凝固。然則周圍之物質果有精靈，知冰與水之存在而與奪其熱乎？則決不然。不論水與冰之存否，周圍之物質，常射出與己溫度相當之輻射線，水與冰遇之而生形態之變化耳。宇宙間所有物質，不論其溫度高低如何，皆放出多少與己溫度相當之輻射線。

然則溫度之變化，果從何而起乎？如自己之溫度與周圍之溫度相同，則自己所放輻射線之量與所受者相等，故溫度不變。若自己之溫度高，則由輻射所失之熱多，而自周圍所受之量不足以補償之，故溫度降下。反之若自己之溫度低，則由輻射所失之熱少，而自周圍所受之量，能補償而有餘，故溫度上昇。故自熱學上觀之，宇宙萬物，乃一社交團體，各應其身分，由輻射之方法而行熱之交換。

溫度  $T$  與輻射  $R$  之間有如下之關係

$$R = aT^4$$

此式由施蒂芬<sup>(1)</sup>從實驗的而發見,更由博爾赤曼<sup>(2)</sup>從理論上證明之,故稱之曰施蒂芬博爾赤曼法則。此處之  $a$  為一定恆數,  $T$  稱為絕對溫度即攝氏溫度加二百七十三者,換言之即以攝氏溫度計冰點以下二百七十三度為絕對零度之溫度也。例如冰點之溫度  $T_1 = 273$ , 熱湯之溫度  $T_2 = 373$  而其輻射之比,為

$$(373)^4 \div (273)^4 \doteq 3.5$$

是也。由是觀之吾人在冰之附近所以不感其暖之故,蓋因吾人之體溫,為  $273 + 37.5 = 310.5$  故

$$(310.5)^4 \div (273)^4 \doteq 1.67$$

即吾人所發之輻射熱,較由冰所受之量約多六成七分,故感與此相當之冷。反之若在湯之附近,則由

$$(373)^4 \div (310.5)^4 \doteq 2.08$$

即所受之熱較輻射之量,多二倍以上,故感異常之熱。

## 第二十五節 熱及功

熱為何物?乃不易解決之疑問,距今百數十年前尚以熱為燃素與火氣之化合物。以為加熱於辰砂則熱分解為燃素與火氣。火氣輕故飛散於空中,辰砂與燃素化合而生水銀。

(1)Stefan

(2)Boltzmann

當時以熱爲物質，故稱熱爲‘加路里克’<sup>(1)</sup>，稱熱量之單位，曰一加路里，<sup>(2)</sup>即一克之水，熱之使其溫度上昇攝氏一度時所必需之熱量是也。然龍阜<sup>(3)</sup>於製砲之際，見由摩擦而生無限之熱，以爲熱非物質。但當時學者，則以壓縮海綿，亦生無限之水爲譬而說明之。其後德畢<sup>(4)</sup>氏發見摩擦二個冰塊，亦能使之融解之事實，因熱決無由冰中湧出之理，故知畢竟由摩擦所費之功所變熱之說明，遂進一步。功與熱亦可互相變化，其間有一定不變之數量的關係，即熱力學第一法則是也。

某時刻在甲處之物，他時刻若在乙處，不論其爲自動抑爲被動，皆稱爲此物於此時間之內，自甲運動於乙。運動於同一距離所需之時間，不必盡同，所需之時間小者，稱爲速度大，所需之時間大者，稱曰速度小。速度之大小，以所需時間之逆比例測之。

又於同一時間之內，運動之距離若有長短之差，則距離長者稱曰速度大，距離短者稱曰速度小。故運動之速度  $v$ ，與其所需之時間  $t$  爲反比例，與其距離  $l$  爲正比例。由比例之法則表之如下。

$$v \propto \frac{l}{t}$$

一秒間運動一呎之速度，若採以爲單位，則  $t$  秒間運動  $l$  呎之速度，爲

$$v = \frac{l}{t} \frac{\text{呎}}{\text{秒}}$$

(1) Calorie

(2) Calorie

(3) Rumford

(4) Devv

速度如非一定而逐漸增加之時，則此運動，稱為加速度之運動。其所以生此加速度之原因，則歸於力。故若有力作用，則生加速度，有加速度則表示力之存在。一秒間增加每秒一種之速度者，採為加速度之單位；作用於一克質量，一秒間生單位量加速度之力，採為力之單位，名之曰達因。地球上一切物體之落下，因地球之引力，作用於物體故也。

今  $x$  之力，作用於一克靜止之物至  $t$  秒間，則應生  $xt$  單位之加速度，因初速度為零，故最後之速度與  $xt$  相等。故平均之速度，為  $\frac{1}{2}xt$ 。此平均速度  $t$  秒間運動之距離，以  $d$  表之，則

$$d = \frac{1}{2}xt \cdot t = \frac{1}{2}xt^2$$

故就落下之物體，如測定其時間及距離，則能算定地球之引力即重力是也。就空中實驗之，一秒間約落十六尺，故

$$x = 32 \frac{\text{尺}}{\text{秒}^2}$$

更於無空氣抵抗之處精測之，用厘及秒為單位，表

$$x = \frac{2d}{t^2}$$

之數值，約得九百八十，通常以  $g$  表之。

若二以上之力同時作用，各生之加速度相殺，其結果可等於零。因力與加速度皆為一種之有向量，故可由定長而有向之直線表之。又因二直線之和為零，故此等當為方向相反而長相同之直線。故欲使二力鈞衡，則二力之強弱必須相同，且

須從反對之方向，作用於同一直線之上，至三力鈞衡，則必須共在同一平面之上而造成三角形。

設有力作用於物體，而物體從力之方向運動時，稱曰力會呈功。其量由力與從此力之方向而運動之距離二者之相乘積而測定之。一達因之力，作用於物體，從其方向運動至一種時之功，採為單位，稱曰一爾。<sup>(1)</sup>力雖作用，毫不從其方向運動之時，則不呈何等之功。譬如吾人手提重物久立不動，亦不能謂為會呈某功。此事恰與懸物於樹枝相等，如能謂為呈功，則樹枝可呈之功，將無限量矣。

力雖作用而不從其方向運動者，因非此力單獨作用故也。若二以上之力，同時作用於一物體，則此物體從合力之方向而動。譬之多數人夫共抬一重物，如彼等意思不一，則不從任何人所期之方向而運動。

加速度雖僅由力而生，但既得速度則非受反對之力之作用，決不消滅。故見物體正在運動，不能為力尙作用於此物體之證據。又力作用於正在運動之物體，其加速度雖從力之方向而起，而全體之運動則從原有速度與新得速度之合成速度之方向而起，故不與新加之力之方向一致。換言之即運動之物體，若突改他方向而運動之時，其所加之力，必不與此方向一致。

---

(1) Erg

## 第二十六節 熱機關

熱量之單位爲一加路里；熱亦由功而生，然則欲生一加路里之熱，須用若干爾之功乎？欲決定此問題，可加一定量之力於水而攪拌之，由摩擦生熱而測定其溫度。實驗之結果，知一克之水暖至溫度升高(攝氏)一度時所需之熱量，與一克之物，移至四百二十七呎之高處時所需之功相等。若以爾之單位換算之因重力爲九百八十達因故約得四千二百萬爾，

$$980 \text{ 達因} \times 42700 \text{ 呎} = 41846000 \text{ 爾}$$

稱之曰熱之功當量。

換言之，一加路里之熱若視爲能之時，則與四千二百萬爾之功相等。故如以適當之方法利用此熱，可使呈此數之功。如此裝置稱曰熱機關。蒸汽機關，汽油機關等固不待論，卽如生物，亦熱機關之一種也。可作熱機關之物質，其必要之條件爲得熱與失熱之時能生反對之結果。例如空氣，加熱則膨脹，失熱則收縮，故可利用空氣，使熱變爲功，卽所謂熱汽機關是也。

熱機關於上述作業物之外，能與以熱之高熱源及能奪其熱之低熱源，亦爲必要。作業物受熱於高熱源，使一部分之熱變化爲功而排其殘部於低熱源，但所有之熱，非盡能變功，則不可忘之事也。

水車雖有種種之形式，就最舊之型論之，則見高位置之水流入箱內，由其重量運轉水車，而後向低位置流出，故水量雖

多,如水位無高低之差——如在湖面——縱設水車不能運轉,唯熱亦然,熱量雖多,如溫度無高低之差,則亦不能呈功。質言之,即熱不能於溫度平均之處呈功是也。熱之一部分為功之際,其所餘之熱必歸於低溫度之處,而低溫度之處之熱,決不能自移於高溫度之處。故在任意之孤立世界,永久運動之熱機關,決無成立之理,即熱力學之第二法則是也。

熱機關之熱與水車之水不屬於同一之種類;而在水車之水與在蒸汽機關之水蒸汽相當,各為其機械之作業物。蒸汽機關雖運轉而水蒸汽不消滅,猶水車雖運轉而水不消滅,特使蒸汽所保持高溫度之熱,一部分消滅為功而已。與此同理可知用水力起電,非水變化為電甚明。

若以  $H_1$  表熱機關自高熱源所受之熱量,以  $H_2$  表排出於低熱源之熱量,則其差  $H_1 - H_2$  之熱量,當為由此機關所呈之功。故可以

$$\frac{H_1 - H_2}{H_1} \quad \text{即} \quad \left(1 - \frac{H_2}{H_1}\right)$$

測定此熱機關之效率,因  $H_2$  決不為零,故效率常少於一。

## 第二十七節 分子運動說

一切物質,皆得稱為分子之細粒之集合體;因其集合之形式而有結晶體,液體,氣體等之區別。構成一物體之各分子,其相對的之位置,不受外部之作用而生何等之變化者,稱為剛

體；其形狀或體積縱生變化，若除去為其原因之外力，即時復其原狀者稱為彈性體；形狀之變化自由自在者，稱曰液體；體積之變化自由自在者稱曰氣體；液體氣體，統稱曰流體。詳言之構成氣體之分子，毫不統一，各自任意運動，故其體積除受外部限制之外，常為不定。

各分子從任意之方向而運動，不特相互之間，時生衝突，且常觸容器之壁而欲壓出於外方，即氣體之壓力是也。容器內分子之數若多，則衝突之回數亦多；故氣體之壓力，與其密度為比例而增加。

吾人所認為物體之溫度，因而區別寒暖者，不過物體分子運動之遲速而已。分子之運動烈者，觸之則感溫暖，緩者觸之則感寒冷。至達高溫度，因分子運動甚烈，故與器壁衝突之回數亦多，故溫度增加，則壓力亦加。此時若器壁外方之壓力一定不變，則次第膨脹，為當然之結果。故“激之則熱”，“活動者發展”及“冷靜”等成語，皆不過表物質分子之基本的性質，與熱之本體而已，而非人類之特有也。一切分子若皆靜止，則達於寒冷之極度，其溫度即為絕對零度。

今於  $t_1$  之時刻，以  $v_1$  之速度而運動之物體，若以  $f$  之力作用之，則速度增加至  $t_2$  之時刻而為  $v_2$ ，是於  $t = t_2 - t_1$  之時間內，增加  $v_2 - v_1$  之速度，故其加速度  $a$  如下，

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

若以  $m$  為此物體之質量，因力由質量與加速度之乘積而測

定,故

$$f=ma$$

又若稱質量與速度之乘積  $mv$  爲運動量,則由力與其作用之時間之積  $ft$ , 而得如下之關係,

$$ft = mv_2 - mv_1$$

即與其間所起運動量之變化相等。故運動量之變化,力大時短時間之作用,與力小時長時間之作用,結果相同,如力不作用,則運動量不生變化。換言之,即力若作用於物體,一旦開始運動,則其運動量,非受他力之作用永久不變。

如以氣體分子運動之速度爲  $c$ , 因空間爲三次元,各方向能作同一之運動,故就多數分子而平均之,則對於所與之方向,其所有之分速度當爲  $\frac{c}{\sqrt{3}}$ 。今欲於此方向算定容器壁上單位面積內所衝突之分子數,如假定此單位面積內有長爲  $\frac{c}{\sqrt{3}}$  厘之圓壩,則其體積爲  $\frac{c}{\sqrt{3}}$  立方厘。若每一立方厘中,有  $N$  個之分子存在,則此圓壩內,當有  $\frac{1}{\sqrt{3}}cN$  個之分子,其內一半向壁,一半當向反對之方向而運動,故一秒間觸於器壁之分子數,當爲  $\frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\sqrt{3}} N$  個。然一個之分子與壁衝突,則以反對之速度而逆行,故對於器壁所與之運動量,爲  $2m \frac{c}{\sqrt{3}}$ 。故一秒間之總量如下:

$$p = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\sqrt{3}} N \cdot 2m \frac{c}{\sqrt{3}} = \frac{Nmc^2}{3}$$

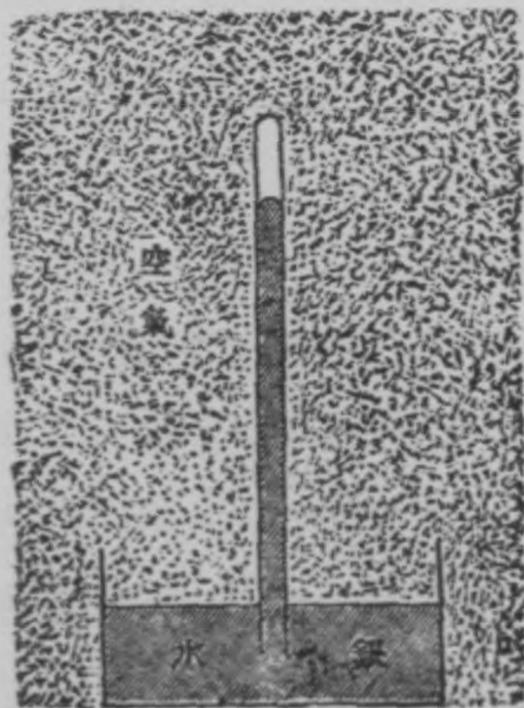
即單位面積所受之壓力是也。若以  $V$  表容器之體積，以  $n$  表分子總數，因單位體積內之分子數等於  $\frac{n}{V}$ ，故前式可改書如下：

$$pV = \frac{1}{3} nmc^2$$

### 第二十八節 空氣之壓力

自前節之式觀之， $mn$  為氣體質量之總和，故吾人若就一定量之氣體，而測其壓力  $p$  與體積  $V$  之時，則能算定其分子運動之平均速度  $c$ 。茲請先就測定壓力之方法言之。試以三尺內外之玻璃管，滿盛水銀而倒立於貯有水銀之盆中，即嚴加注意使空氣絕不由下端走入，而水銀亦必降下至七十釐以上之度而止。管內之水銀在理應依其重量而下降，其所以停止之故，果安在乎？

使管內之水銀下降，則盆中之水銀量增加其面自必因而增高。然外界空氣之分子，與此水銀



第 十 九 圖

面衝突甚烈，從反對之方向壓之使下，故水銀靜止於管內水銀下降之力與外界空氣下壓水銀面之力恰得平均之處，管內水銀之高，因時與地而不同，於海面就一年間而平均之，約為七十六釐。因水銀之密度與水比較約強十三倍半以上，故計算作用於一平方釐之力，結果如下，

$$76 \times 13.59 \times 980 = 1.013 \times 10^6 \text{ 達因}$$

外界空氣，下壓水銀面之力與此相等稱之曰一氣壓。

就攝氏零度之輕氣測之，壓力為一氣壓時，一克質量之輕氣，其體積為一萬一千一百六十立方釐。以此值代前節之式其結果如下。

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{\left\{ \frac{3pV}{nm} \right\}} = \sqrt{\{1.013 \times 10^6 \times 1.1160 \times 10^4 \times 3\}} \\ &= 1.84 \times 10^6 \text{ 釐/秒} \\ &= 1840 \text{ 呎/秒} \end{aligned}$$

即在此狀態之下，輕氣分子平均每秒以千八百四十呎之速度而運動。

一般言之，輕氣以外之氣體， $nm$ 不等於一克，若以 $\rho$ 表分子重，則 $nm = \rho$ 克，故

$$c = \sqrt{\left\{ \frac{3p}{\rho} \right\}}$$

故氣體分子之速度，在同一狀態之下，當與其分子重之平方根為逆比例。例如養氣之分子重為十六，故養氣分子之速度，

爲輕氣分子之速度之四分之一，即每秒四百六十呎。而空氣則每秒四百八十五呎。

前述實驗之結果，若就他方面觀察之，海面上平均七十六呎之高之水銀，壓於海面之力，與現存之空氣壓於海面之力相等。然水銀之比重爲 13.59，若以水代水銀行此實驗，則由

$$13.59 \times 76 = 1032.84 \text{ 呎}$$

知水當靜止於管內約十呎強之高處。換言之，即如以真空管倒立水中則水自然昇至十呎餘之高處。吾人使用吸上唧筒所以能由井中抽水即從此理，不外利用外界空氣之壓力而已。故不能使昇過上記之高之處。

依觀測之結果知外界之空氣，於海面上當一氣壓之時，其比重爲 0.001293。設空氣之比重，即在天空高處，亦與海面相等，則欲使其壓力，亦如上述與七十六呎之水銀或十呎餘之水之壓力相等，則由

$$\frac{10.3284}{0.001293} = 7988 \text{ 呎}$$

大約當爲七千九百八十八呎弱之高。然實際上在水等之液體體積彈性率甚大，不易收縮，故其壓力，可視作與其深爲比例。至如空氣等之氣體，易於收縮，故在下方其比重雖大，愈上則壓力愈少，體積膨脹比重亦減，故空氣之高，約達上記數值之四倍。

於真空管內見水銀柱之高可測氣壓，故此種裝置，稱曰

氣壓計。由海面上昇愈高則其氣壓從之而愈減，故用氣壓計直接可測海面之高。但即在同一水平面，氣壓亦隨時隨地而變化，而非一定不變。壓力強則氣壓計之水銀昇高，弱則低降，故通常稱氣壓不曰強弱而曰高低，如稱高氣壓低氣壓等是也。若甲地之氣壓高，乙地之氣壓低，強弱不能持其均衡，故空氣自高氣壓之處而流向低氣壓之處，吾人稱之曰風。

空氣之分子，既如前述以每秒約五百呎之速度運動，然則即屬平時，不當亦起大暴風乎？則又不然，空氣之分子為數甚多，且運動之方向至為亂雜，俄頃之間，不知衝突若干次，其自由運動之距離極短，故不成風。今假定分子為球形，其直徑為  $D$  僅有一個運動，其他均勻分布於空間中，試計算一秒之間共衝突若干次。

運動之分子半徑為  $D$ ，其餘靜止之分子，皆視為點，其衝突之信率亦不變。今假定地中每一立方呎，有  $N$  個之砂粒均勻分布於其上，有半徑為  $D$  之蟲，一秒間以  $c$  之速度且行且食則其孔任如何屈曲，一秒間所食之體積，必為  $\pi D^2 c$ ，其中所含之砂數為

$$z = N\pi D^2 c$$

此數即蟲一秒間與砂相遇之回數相同。氣體分子衝突之回數亦然，自第一次衝突至第二次衝突時所經過之距離之平均數稱曰平均自由行程，若以  $l$  表之，則其值如下：

$$l = \frac{c}{z} = \frac{1}{N\pi D^2}$$

所有分子若皆運動，則衝突之信率更大，故其平均行程約更短縮二成五分乃至三成，依計算之結果，約為百萬分之十九。就輕氣言之，一秒間運動千八百四十次，一回之平均行程為百萬分之十九，故一秒間之衝突約九十七億次。

### 第二十九節 能

工場中之破彈，擲取自如視若無事，而對於戰場上飛來之破彈，則人莫不畏之。可知同一之物，靜止之時與運動之時實有多大之差異。所以令人生畏之原因果何在？運動狀態之物體，若與物接觸，則作用於物，而有可以呈功之能故也。即此運動物體，有能蓄於其中。凡運動物體非將此能盡與他體之後不克返其靜止之狀態。然則運動物體所有之能，其量將如何而測定乎？

今有質量  $m$  之靜止物體，欲使其得  $v$  速度則當以  $f$  之力作用至  $t$  時間，此時之加速度，為

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

故作用  $t$  時間之後，最後之速度，為

$$v = at = \frac{ft}{m}$$

而運動之距離，爲

$$d = \frac{1}{2}vt = \frac{f}{2m}t^2$$

其間所呈之功本爲

$$w = fd = \frac{1}{2m}f^2t^2$$

但因

$$ft = mv$$

故

$$w = \frac{1}{2}mv^2$$

運動物體之所以有能，究因有力作用於此物體而呈功所致。故以功之多少，測定其能之量，至爲正當。故質量  $m$  之物體，若以  $v$  之速度運動，則其物體因運動所有之能當爲

$$\frac{1}{2}mv^2$$

此時能之單位，與功爲同一之單位自不待論。此運動體若將自己所有之能，施與此相當之功於他物體，則復歸於靜止之狀態。

分子自由運動，不特氣體而已；液體亦然。並有一種現象，足以證明液體分子之運動。例如溶少許雌黃於水中，置於顯微鏡之下而望之，則見雌黃之細粒，懸垂水內，且向各方活動，漸離其初之位置。此種活動，原因何在？蓋因水之分子有運動

之能，與此懸垂之細粒衝突，使向一方面運動，復與他之分子衝突，又向他方面運動，恰如被蹴之球屢變方向然者，此種現象，稱為布朗運動。<sup>(1)</sup>

從信率論觀之，各方向運動之距離，不必同一，其平均偏差，與衝突回數之平方根為比例，而衝突回數與時間為比例，故此細粒，與其原位置之距離，當與觀測時間之平方根為比例，實驗之結果，一分間約為六耗左右。衝突回數，與單位體積中之分子數，當然有密切之關係，故若精測此運動，即能決定分子數  $N$ 。普通氣體，一氣壓攝氏零度時，一立方厘米內之分子數，由各種方法算出，比較其結果，不免略有差異，大約如下：

$$N=2.5 \times 10^{19}$$

以力作用於物體而為功之際，此物體果必以一定之速度而運動乎？彈性體則不盡然，例如左手握弓，右手引弦，則弓曲，其所成之功，雖可以右手運動之距離，與所用之力之積測之。然弓實未有運動之速度，故亦無前節所述之能。然張弓所為之功，決非空費，若放右手，則矢以甚大之速度而射出矣。

由上所述，知弓雖不運動，但因其彎曲亦與普通之弓不同。換言之，即受功於外而不取得運動速度之彈性體，其自身受歪，受歪之彈性體，非將同量之功，施於他物體，不能復其原狀態。受歪云者，構成物體之各分子，變化其相對的位置之謂也。彈性體因分子間位置之變化而有一種之能，故稱如此之

(1) Brownian motion

能曰位置之能，亦曰勢能。

地球附近之物體，若自由放任之，則落於地面，此猶弦上之矢，放之則射，蓋勢能變化而為動能也。在弓矢之例，勢能為弓所有，與飛射之矢無關，落下之物體，其自身亦無勢能。

今有質量  $m$  克之物體，地球作用之引力，——即重力之強——當為  $mg$  達因。 $mg$  達因之力，作用於  $m$  克之物體，所生之加速度——即  $m$  與  $m$  之比——即  $g$  是也。故自靜止而落下之時間若為  $t$  秒，則其最後之速度當為

$$v = gt$$

故此物體之動能，為

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2$$

然  $t$  秒間落下之高，為

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

故由此兩式若消去時間  $t$ ，則得

$$E = mgh$$

換言之，即地球表面，自由落下  $h$  裡之  $m$  克物質，有  $mgh$  之動能是也。

自高處流下之水，若將因摩擦等所遭損失，省略不計，則有比例於落差  $h$  之動能，故能運轉水車而為功。其所為之功，可由水量  $m$  與落差  $h$  之相乘積決定之。吾人之所謂風，乃空

氣之各分子共向一方迅速運動之現象，故風亦能爲相當之功。實際利用之者，即風車是也。

水車風車，其原理本同，特機械之構造，不免略有差異。水之密度大，故受水之表面可以減少；空氣之密度，不及水之一萬分之十三，故雖假定水流與風之速度相等，而風車之表面，非約有水車之千倍，不能爲同量之功。又在同一水車，落差小者所需之水量多，故受水之面非大不可；落差大者，所需之水量少，故受水之面雖小無妨。

### 第三十節 熱能

如上所述功可生熱，故熱亦能之一種。然從分子運動之說，分子運動之緩急，成爲溫度之高低而表之，故熱亦不過一種動能而已。質量  $m$  之分子，若以  $c$  之速度運動，則有  $\frac{1}{2}mc^2$  之動能，故  $n$  個分子所有動能之總和，爲  $\frac{1}{2}nmc^2$ 。

然此等  $n$  個分子運動之方向不同，異常亂雜。故若以  $n$  個分子所成之氣體，視爲一個團體，則自全體而言，此團體毫不運動，即由外部觀之，此團體未有動能。換言之，即  $\frac{1}{2}nmc^2$  之能，隱於內部，而成爲所謂熱之特殊之形，稱之曰熱能，以與普通之動能區別。故熱能可稱爲方向亂雜之動能之集合體。若氣體之各分子，向共同之方向運動，則吾人稱之曰風。運動之物體，所以由衝突而發熱者，以此物體之動能，因衝突而妨害其團體運動，各分子從任意之方向，自由運動，故呈熱能。

熱爲分子之動能，故可利用之以爲功，但因其運動方向亂雜，故熱能之全部不能盡用爲功。設吾人能捕捉每一分子而制御之，則所有之熱能，悉可利用，熱機關之效率當等於一矣。

單位面積之壓力，爲

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

前節業已證明，此等分子所有之熱能，爲  $\frac{1}{2}nm\bar{c}^2$  又溫度  $T$  與熱能之多少爲比例，若以  $\alpha$  爲比例恆數，則由

$$\frac{1}{2}nm\bar{c}^2 = \alpha T$$

得  $pV = \frac{2}{3}\alpha T$  即  $\frac{pV}{T} = \frac{2}{3}\alpha$

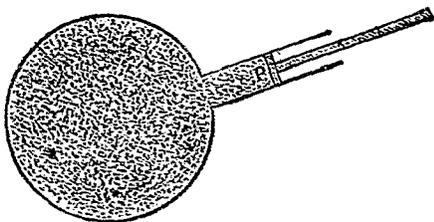
亦爲恆數，此即波以爾及查理之定律是也。此式中之  $T$ ，雖表溫度，當然非指攝氏溫度計所測之溫度，分子運動之速度  $\bar{c}$  爲零之時，則此溫度  $T$  亦爲零，故稱此溫度爲絕對溫度。攝氏溫度計之零度，與絕對溫度二百七十三度相當，故絕對溫度之零度，乃物質之分子全在靜止狀態時之溫度，即爲攝氏溫度計冰點以下之二百七十三度。

其所以稱爲絕對溫度者，因用此法，以測定溫度，則既與選定之標準物質無關，而零度以下之溫度亦不存在，故有此名。熱機關中低熱源之溫度，若爲絕對零度，則自高熱源所受之熱，在理可全變爲功，其效率當等於一，此事曾經證明。

制 御 氣 體 一

第 二 十 圖

切分子,使向同一之方向,雖不可能。然自亂雜運動之無數分子內,選出向一定方向運動之分子而利用其



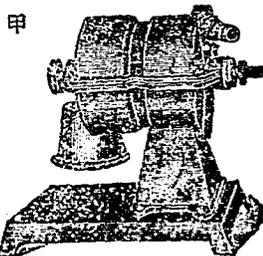
動能,則為可能之事。如盛有氣體之容器其一部  $P$  處附有活塞之圓堵,則向此活塞之分子,共同推此活塞,使外部如無從反對方向而押此活塞者,則活塞當向外動至若干距離,即氣體為功之例也。蒸氣機關,即本此理。

氣體壓力之大小究由向壁運動之分子之動能而定,分子運動各方向之分布相同,故氣體之壓力,各方向亦相等。液體亦然,故統稱曰流體壓。

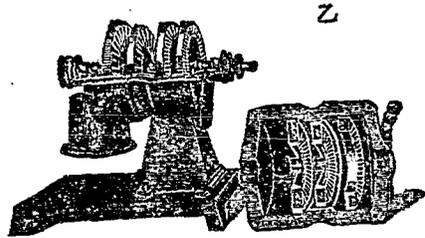
上例不云乎?若無活塞,則向此方運動之若干分子,可以自由飛出。自此圓堵飛出之氣體分子,既成一團體從同一方向運動,化為普通之風。若置風車於此則能為功甚明。此即蒸氣臥輪之原理也。水流亦分子之團體運動,可以代風,故臥輪亦適用於水車。

自歷史的言之,採用臥輪以

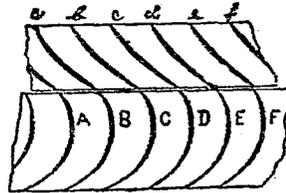
第 二 十 一 圖



水車爲始。水車之內，以鉛直線爲軸，而回轉於水平面者，法國通稱爲臥輪，特至近日，蒸汽機關亦採用之而已。臥輪之原理及其形式亦有種種，第二十一圖所示



者，實驗室用小形之蒸汽臥輪也。甲圖表完全裝置。至分解後內部之構造，則由乙圖表之。今就內部之一組而說明之，第二十二圖中  $a, b, c, d \dots$  等乃導入流體之境界面，爲特殊曲面之室，由此處流入之蒸汽，更進而與  $A, B, C, D \dots$  等之齒衝突，發生壓力。如使其上部固定不動，其下部得以自由運動，則由上述之壓力，其下部運轉而爲功。第二十一圖乙之右方即固定不動之部分，其左方即轉動作功之部分。普通之風車，僅有與此圖下部相當之部分而已。



第二十二圖

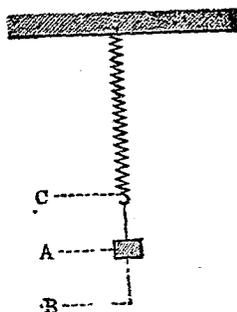
若流體之密度與其圓體運動之速度不變，則由與此對抗之面之大小，而可定其所成

之功之大小。一般臥輪車式，比活塞式易使其面積增大，且活塞須往復運動，而臥輪車則可從同一之方向作無制限之回轉，故較便利。

## 第三十一節 振動

同一系內之能，若動能與勢能交互變化，則其物體，為週期的之運動，如此運動稱曰振動。今有錘懸於發條靜止於  $A$  高之處，若加以力延之至於  $B$  處，則此時所費之功，由所加之力  $f$ ，與  $AB$  間之距離  $d$  之相乘積表之。發條因此生  $d$  之延長，而呈相當之變形，故所費之功蘊為勢能，而貯藏於發條之內。若突然放手則發條因彈力作用而起收縮，錘遂運動，當其達於  $A$  之位置之際，實具有最大之速度。在此  $A$  點，發條已恢復其故狀，故無勢能，然錘有速度，故有動能。此時錘雖不受力之作用，然因有向上之速度，故繼續上昇，至於  $C$  點，始成靜止。動能復失，全部變為勢能。錘復下降，往復如初。如此運動，稱曰振動。

第二十三圖



此際有一事須特加注意，即有動能者，雖正在運動之錘，然振動之際，不起變形，故無勢能。

若以力作用於兩端固着之絃之中央而使為一定量之功，則此弦伸張而蓄相當之勢能。若一放手，則弦由彈力作用，欲歸其原位，遂起運動，既歸其原位置之一瞬間，弦已無所謂變形，故無勢能，然以其有運動之速度，故有動能。又因有此速度

之故，向反對之側進行，又起變形達於振幅最大之瞬間，一時靜止，動能復失，全部復變為勢能。如此交代之運動，稱曰弦之振動。前節所述發條之振動與此處所述弦之振動，雖同為振動，然其間自有差別，即前者之振動為縱，後者之振動為橫，故有縱振動與橫振動之區別。

弦生振動之根源，因弦為彈性體，若經伸張，即有欲復原狀之彈力，即由自己之彈力，而振動自如，故稱之曰自由振動。在自由振動，最初所施之功，週期的變為動能與勢能。使為完全彈性體，則振幅永久不變。但通常彈性皆不完全，故能之一部，助振動體分子之運動而變為熱，或使外界之媒質振動，致每次喪失若干之能，其振幅亦因之逐漸減小。

不關彈力之有無，以外力週期的作用於任意之物體，亦可使生週期的運動，稱之曰強制振動。在強制振動，若外力之週期與振動體自由振動時之週期相同，則振幅次第增大，若此等週期不同，則振幅亦生週期的增減，有時以甚大之振幅而運動，其次生運動全停之結果，故雖以同一之力作用之，不必生同一之運動。

設有甲乙兩物體，甲體以一定週期振動，通常或由直接，或由適當媒質之間接，將其一部分振動之能，傳之於乙體。例如使弦振動於空中，則附近之空氣，受振動之能而自振動，此振動即為音波而傳播於各方。

振動之空氣中，如更有丙之物體，則此物體當然受振動之

能於空氣。設此物體自由振動之週期，與空氣之振動週期相同，則振幅次第增大，而生可以聞見之結果，如此現象稱曰共振。如爲音響，共振之物體發聲，特稱共鳴。此空氣振動之週期，由甲振體之週期而定。例如當奏甲樂器之際，其振動傳於空氣，如有與甲同一音調之丙樂器在其附近，則空氣振動之能傳於丙樂器，而使丙振動，即甲與丙共鳴是也。

共鳴之丙，其振動之能，當然受之於甲，其所以得受此能者，因甲與丙本有同一之自由振動週期，爲必要之條件。否則甲縱如何高調，丙決不能與之共鳴。吾人所以能聞他人之音，因耳之內部，有各種自由振動之振體，與他人聲帶之振動共鳴故也。故振體之一部分如有故障，則不能聞與此相當之調子之音。

### 第三十二節 波動

在空氣振動之例，其初與弦接觸之空氣分子，受一部分振動之能於弦，漸次授其能於其鄰之分子而傳達於遠方，故振動之轉播云者，非振動之物質自行傳播也，特振動上必要之能自媒質之一點轉於他點而已。

當振動之能傳播於媒質之際，非所有之能於一瞬時之內自甲即移於乙也。其傳也必以漸，故至甲全失其能，須經一定之時間。於此時間之內，乙已將自甲所受之能傳其一部分於丙，丙亦以其一部分更傳於丁，以次分與至於遠方，故各部同

時振動但乙,丙,丁等開始振動之時刻,依次遲緩,故振動之位相不同,其振幅從一定之規律或增或減,而生波形,波形從時間之經過次第前進,其運動稱曰波動。

換言之,波動云者,動能與勢能互相交換自一點移於他點之現象也。故如砲彈僅以動能之形飛進者,則非波動。光與其他現象上波動說與粒子說之區別,即在於此。

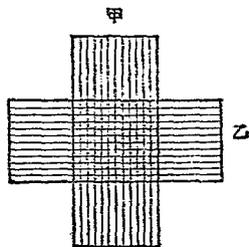
媒質之一點一回振動之間所傳波形之全長,稱爲波動之波長其所須之時間稱曰週期,一秒間之振動回數,稱曰振數。故週期與振數之相乘積爲一秒,波長與振數之相乘積爲一秒間波形前進之距離即與波之速度相等。振動有縱振與橫振之別,而波動亦有縱波與橫波之別。詳言之,從波進行之方向而振動者爲縱波,從其直角之方向而振動者爲橫波。自然現象之中,音波屬於前者,光波屬於後者。

太陽之光線入射於物體,則其一部反射,他部透過,殘部爲物體所吸收。反射之光與透過之光通常種類不同,故同一物質,自表面觀之,與自裏面觀之,色彩相異,實非不可思議之事。又由太陽或其他發光體所射之自然光照於某物體,使反射或透過之後而檢其景,與入射之自然光,有時性質完全不同。

自然光對於進路垂直之面上,任何方向,皆有同一之性質。反之,反射或透過之光中對於此面上特種之方向,有呈特異之性質者。如此之光稱曰極化光亦名偏光。例如將電氣石之薄片,切爲甲乙二枚,照原狀重之,以窺太陽,則見太陽赤色之

像，即此結晶體爲半透明是也。然將其一片——乙——徐徐迴轉，則最初明白可見之太陽紅像，漸次淡薄，終至全黑，其明暗之極度每迴轉九十度而一易。故曾經通甲之光，入射於同一電氣石片乙之時，由乙對於甲之方向關係，有時可以通過，有時不能通過。換言之，通過於甲之光，與普通之自然光不同，其振動有一定方向，故稱之爲極化。

第二十四圖



今試就甲乙二簾相重之時觀之，無論兩者之方向，如第二十四圖互爲垂直或乙簾迴轉九十度互相平行，若以細針貫之，皆能通過。然若用

薄紙片，則唯平行之時可通，如互爲垂直，則不可通甚明。此種事實乃暗示光若爲波動，則當爲垂直於其進路之方向而振動之橫波無疑。但吾人當認自然光之振動方向爲各種方向所集合，而極化光則僅爲從一定方向而振動者也。

### 第三十三節 地震

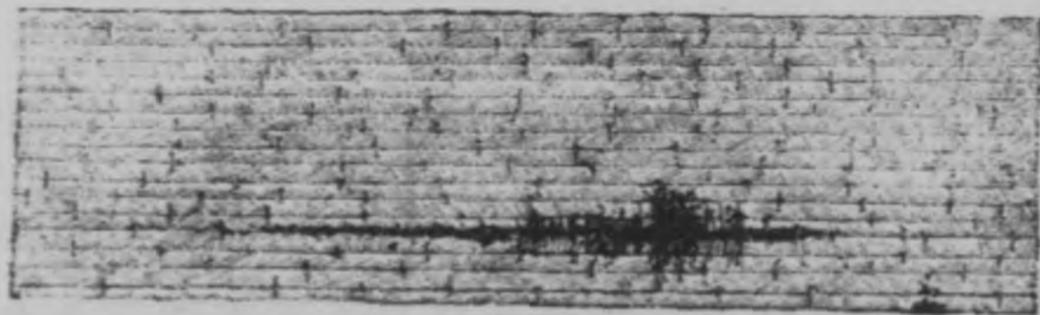
彈性體不論其爲氣體，液體，固體，皆能振動。如使彈性體之一部受振動之時，則以此部分爲中心，而傳播其波動於各方。構成地盤之岩石，亦爲彈性體，故能振動，亦能傳播，吾人所稱爲地震之現象即此是也。地盤內如有不平均之處，例如一地點  $O$  突然陷落或火山內部  $O$  忽起活動，則以此處爲震源而

傳播其地震於附近。故地震由震源直上之地點即震央點  $H$  爲始，逐漸波及於其他之地點  $A, B$ ，若將同時感震之地連結之，大體當成以震央點  $H$  爲中心之圓。

地震之能，由震源而傳播於各方，最少亦以距離之自乘爲反比例而急速減少。——有時更速——，此處所謂距離，非指由地表震央點  $H$  而測之意。如震源  $C$  極淺，則  $A, B$  等之距離，由震源地  $C$  抑由震央地  $H$  而測，大略相同。如震源在甚深之地下，則  $CH, CA, CB$  等大有差異，故在  $H, A, B$  等地將感同等之強。詳言之，即如火山性之地震，震源在地表附近，故震央點雖感強震，而相隔三四十里  $A, B$  等處，幾不感之。反之，如地陷地震，震源在地底深處，則亘數百里幾感同樣之強震。

岩石等之斷體，縱橫俱能振動，故地震之波，有橫波亦有縱波。然對於橫變形欲復元之彈力，與對於縱縮欲伸之彈力，不必相同，故橫波與縱波之速度亦有大差。又自同點  $A$  出發之

### 第二十五圖



甲乙二者，到達於一點  $B$  之時間之差，由彼等速度之差，與  $AB$  間之距離而定，故利用此種關係，若測定縱波與橫波到達於觀測所之時刻之差，則可反求震源之距離。

觀測之結果，其始到達之初期微動爲縱波，速度較大，少頃到達之主要動，則爲橫波。俗稱山鳥與其他之動物能先知地震者，要非能於地震未起之前而豫知之，特彼等能感知振幅微小而爲吾人所不能感受之縱波之到達而已。經過數秒或數分之後，振幅較大之橫波始至，而後吾人方感地震。

雖受同一振動之能，而振幅之大小，則由岩石之種類，而有異同，一般言之，地質學上年代較古之岩石振幅較小。又新地層因彈性不完全，每吸收振動之能而化爲熱，或使崩壞而消費振動之能亦較古地層爲甚。

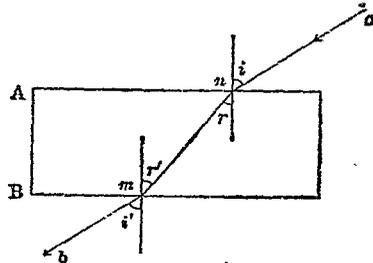
故位於新成地盤之上，四方爲古地層之山脈所包圍，則所蒙之震災甚劇。反之，如有新地盤介在震源與其地之間，則於途中生震災而消費振動之能，故在相連之古地盤之處，不感地震。如日本東京附近地震雖多，而鹿島不感地震其一例也。俗稱鹿島有要石，故不感地震，卽爲說明此種事實而起，特一種新神話已耳。

### 第三十四節 望遠鏡及顯微鏡

太陽之光由通過三稜鏡而生景，因各種光線屈折之角不同，而分散故也。一般言之，波自一種媒質入於他種媒質時，除垂直射入之特殊者而外，通常皆變其進路之方向。此種現象稱曰屈折。今於空氣中有玻璃板  $AB$  光由  $an$  射入。若以  $i$  表入射角， $r$  表屈折角，則此兩角正弦之比爲一定不變之常數。

此常數即稱曰玻璃之屈折率。板之兩面  $A$  與  $B$  若為平行， $i$  與  $i'$  由上述之理由相等，故光入板時之方向  $an$ ，與出板時之方向  $mb$  平行。即光雖通過平行板面，而進行之方向不變。

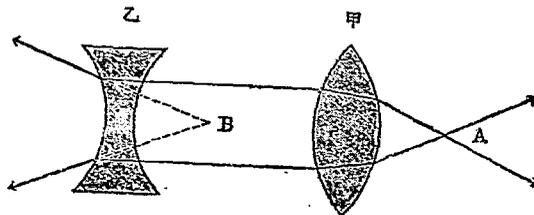
第二十六圖



然如遇三稜鏡兩面不平行之媒質，通常屈折傾於較厚之方，猶如正多角形之邊若多至無限則其極限為圓，無數傾角相異之三稜鏡，若相接合，其極限可視為成透鏡，故無論凹透鏡，除通過中心之光不生屈折外，其他皆向原處屈折。例如

第二十七圖

圖上平行光線遇凸透鏡甲而收斂，遇凹透鏡乙而發散是也。各透鏡之兩面

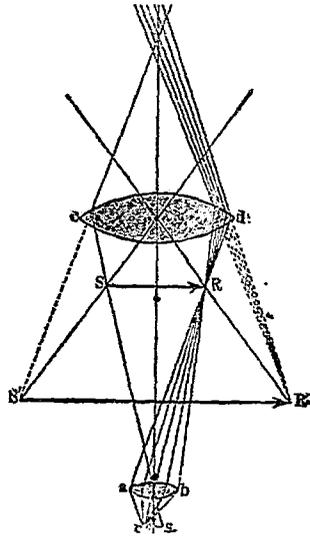


為球，則通過之平行光線——如凸透鏡甲——大致集中於  $A$  之一點。此點稱曰透鏡之焦點。通過凹透鏡之光線因發散不集於一點，但假定此線可延長於後方，則集於一點  $B$  處，此點即為凹透鏡之焦點。

若以太陽之光照於透鏡，則其輻射線集於焦點，故事實上若置可燃物於此點，則因熱而焦。透鏡之兩側同一距離之處各有一個焦點，自不待言。若置燈火於焦點距離以外之處，其光通過於透鏡之後，集於一點，與日光通過之時相同，特其距離遠在較焦點更遙之處耳。精確觀察之，此處不特明見燈火之像，事實上觸之則感其熱，故稱實像。若移燈火使漸近於透鏡，置於焦點以內，則實像失，通過透鏡視之，仍可見燈火之像，但事實上無像，亦無燈火，故稱虛像。

若置物體於凸透鏡之焦點距離之內，通過透鏡視之，所見之虛像常較實物為大。故一個凸透鏡，即為最簡單顯微鏡之一種，稱曰擴大鏡。今置微小之物體  $rs$ ，於凸透鏡  $ab$  之焦點距離以外，則生  $RS$  之實像。更以其他之凸面鏡  $cd$  擴大此實像而觀之，則見  $R'S'$  之虛像。即普通之顯微鏡是也。稱  $ab$  曰物鏡， $cd$  曰目鏡。在顯微鏡下之物體，縱使極近於物鏡，然猶當在焦點距離之外，故物鏡之焦點距離，須極小方可。換言之，即透鏡之曲率須甚大。

第二十八圖



欲見遠方之物體  $AB$ ，則用望遠鏡，因入射之光甚弱，故對物透鏡  $oo$  之面須大，因而焦點距離亦大，其所生之實像  $ab$ ，當以目鏡  $vv$  擴大之，正與顯微鏡相同。此時欲使  $AB$  生  $ab$  之實像，不必限於凸透鏡為便。即以凹面鏡使  $AB$  所映之光反射，亦生  $ab$  之實像，可由擴大鏡見之，此種之鏡，稱曰反射望遠鏡。美國威爾遜山太陽觀測所備有此鏡，為世界最大之望遠鏡。

上述理論雖甚簡單，至於實行，則生種種之困難。第一，平行之光線所以集於焦點，唯限於通過小曲率透鏡之中央附近時為能，故入射於大透鏡之面之光，不能集於一點。此現象稱曰球面收差。第二，太陽之光，為各種屈折率之集合體，故於焦點距離之處，生紅黃綠紫等色，因而如上所述一個透鏡所生之實像，恰呈七色之虹彩。此現象稱曰色收差。欲除此等缺點，當用種種性質之玻璃所製之數個透鏡組合之。實際市內所販之顯微鏡望遠鏡，因除球面收差與色收差，曾費種種心力，故其構造異常複雜。

如施繪畫於玻璃板，以強光自後照之，此光通過於適當透鏡之後，當然可生實像。若置白色遮壁於應生實像之處，則繪畫之像現於壁上，即幻燈是也。又或以強光照實物之表面，以



代透明之底板，導其反射之光於透鏡，亦生實像，即所謂實物幻燈是也。

幻燈之底板，若迅速交換，則實像亦應之而變化。然吾人肉眼所映之像不即消滅，約可存留至十分之一秒間，故前後兩像交換之時間若甚短促，則壁上之像恍若變化不絕，此即活動影戲之原理也。換言之，即就正在連續變化之現象而攝各部分之影，復以適當之速度使連續投影於壁，即得活動影戲。

### 第三十五節 輻射及吸收

振動之傳播，即振動必須之能移動之謂也。此能以甚大之速度，自源點移於他點之現象，特稱輻射。其移動之形式，不必限於波動，即如粒子說所謂物質之粒子以運動之狀態攜能而行，或能自爲粒子之狀態而行，皆可視爲輻射。

在一點  $A$  處之物，由輻射而影響於他點  $B$  處之時，其輻射之速度，由  $AB$  間之距離，與由  $A$  影響及  $B$  所需時刻之比而決定。輻射之強弱，由垂直於輻射線之單位面積，在單位時間內所通過之能之量表之。此能之量，不易直接測定，故多測定與此有一定關係之其他現象，間接算出輻射之強。例如攝影用乾板受輻射線而變黑色，若測一定時間內變黑之程度，則可推知輻射線之強弱。

輻射線由一點而發散於各方之際，通過任意半徑之全球面之能，其總量一定，故通過單位面積之能之量，即輻射之強，

與由源點距離之自乘爲反比例。然實測之結果，較此甚少，且因介在其間之媒質之種類密度不同，而生多少之差。究其減少之故，蓋由於媒質吸收輻射線，多半助分子之亂雜運動而化爲熱。

輻射線入射於物體之時，有時其一部被吸收，而化爲其他之新輻射線射出。僅限於一次線入射之間二次線始能射出者，稱曰螢光，一次線入射之後，二次線仍能繼續射出者，稱曰熾光。

媒質所以吸收輻射線之故，在彈性體則因其彈性之不完全，在流體則因其有黏性，輻射能之一部，助分子之直動而化爲熱。然物質之分子，不僅作直動而已，亦能轉動，且能振動於分子之內部，分子內部自由振動之週期，若與構成輻射線波動之週期一致，則生共振，而輻射線所有之振動能，一部分爲媒質之分子所奪。

一物體如能自由作各種運動之時，則依自然法則，其能當爲各自由度所等分。例如一物體在三次元之空間直動之際，有三個方向得以自由運動，故一方向之動能，爲其全體三分之一。若此物體更有轉動之自由，則能以三個方向爲軸而轉，故共有六個之自由度，故週轉於一定軸之周圍之動能，不過爲總量六分之一。

此法則亦有二三例外，如螢是也。螢雖放強光而溫度不高，此時等分法則不能實現，能之大部分僅分與於原子之內的

振動。普通之燈火，以熱能使分子起劇烈之運動，故其一部從等分法則，自然生原子之內的振動而發光。設吾人能不用如是迂遠之方法，得直接以必要之能，供原子之振動，在理可得最經濟之燈火。

任意之物質，不能同樣吸收各種之輻射線，由共振之原理觀之，自為當然之結果。光為分子之內的振動達於一定之強時，所生之一種波動，故分子之外的運動愈烈，則從能之等分法則，其內的振動，亦因而增加，物體之溫度漸昇，自然呈發光之現象。溫度低則振動緩慢，故光之週期亦長，而呈赤色，若溫度過低，則週期過長，其光終為肉眼所不能見。

利用此理，可反由光色，推定發光體之溫度。如此機械，稱曰光學的高溫計。能測定攝氏溫度計七百度以上至四千度左右之溫度。地球上實現之最高溫度，如弧光燈，亦不過四千度內外而已。

更精細研究之，各溫度各有最大之能之輻射線，其波長  $\lambda$  與其絕對溫度  $T$  為反比例。若以千分之一耗即苗<sup>(1)</sup> 為單位而測波長，則其比例常數，為二千九百四十。依實測之結果，例如太陽光線中有最大輻射能之波長為 0.532 苗，故太陽之溫度

$$T = \frac{2940}{0.532} = 5530^\circ$$

(1) Micron

爲絕對溫度五千五百三十度，即攝氏五千二百五十七度。

發光由於構成物質之原子內部之振動；物體之吸收輻射線，由於原子內的振動之共振作用，而各物質之原子，在理當各有其固有之振動週期，故一定之物質當高溫度之際，所放出輻射線之波長，與低溫度之際所吸收輻射線之波長，在理亦當相同。例如鈉——於高溫度放黃色之光——之原子，由與黃色相應之自由振動之原子而成，故遇黃色之光則與之共振，而吸收其振動能，爲必然之結果。即所謂季爾徐霍夫<sup>(1)</sup>之定律是也。

物體之吸收入射之輻射能之全部者，稱曰黑體。黑體吸收全部之輻射能，而變爲熱能，故欲使物體照於輻射線而暖之，則塗其面使黑最爲有利，然一切物體有僅能輻射其所能吸收之輻射線之性質，故吸收能大者輻射能亦大。故黑體有最大之輻射能。由是觀之，如投白色之物與黑色之物於高溫度之爐中，則黑者放多量之光，白者反見暗黑。

不能吸收之輻射線之一部，由投射面而反射，其殘部通過於物體，由眼所得見可通過輻射線之物體曰透明體。透明體不必盡能通過所有之輻射線也，有時對於甲種之輻射線雖爲透明，而對於乙種之輻射線則不透明，例如盛清水於玻璃器，透視之可見物體，故水與玻璃對於可見之光爲透明體，然熱線則不能通過，途中常被吸收。

---

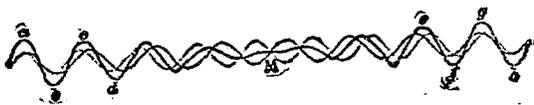
(1) Kirchhoff

## 第三十六節 波之干涉

速度爲一種向量，故同一物體若同時受二種速度，有時相助，有時相殺，故其合成速度之數值，在分速度數值之和與差二者之間，各種之數值皆得取之。故若遇週期同一振幅相等之二個波動，極端之時，於某點完全靜止，於他點以二倍之振幅而振動，此種現象，稱曰波動之干涉。然使其週期略異，則於某時刻靜止之波，以次漸增其振幅，達於最大之後，復逐漸減少，此種變

第三十圖

化，週期的反復不絕如在音響，則週期



的或弱或強而發聲，故生昇沉之現象。又其波長如稍不同，則二波相重，如第三十圖黑線所示，生外觀不規則之波形，在兩端  $a, b, c, d$  及  $e, f, g, h$  等處，雖有等於兩波之和之振幅而在中央  $M$  之附近，其振幅等於兩波之差幾至於無。

在光如自二個光源所投之光波互相干涉，相助則明，相殺則暗，故生明暗交互之條紋，所謂干涉條紋是也。然實際上不必由二個之光源所發之光波始生干涉，光之波動說所以採用之最大理由，即在於此干涉之實現，蓋二光相合而反暗，舍波動說外，何能解之。

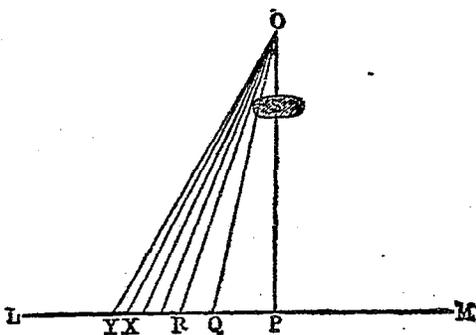
雖由同一光源而出之光，因反射與屈折等通過不同之進路之後如復相遇則生干涉。最初由一點而發之波動，傳至

他處之後如更論其傳播之情狀，可以當時運動之各點視為獨立波動之源點，即惠根斯<sup>(1)</sup>之原理是也。其後任意一點之波動，當然為各發源點傳來一切波動所合成。故由此點至於各發源點距離之差，如為半波長之奇數倍，則各波動相殺，如為偶數倍則相助甚明。

今以  $LM$  線上各點為發源點而察  $O$  點之波動，若  $OP, OQ, OR$  等各有半波長之差，則由  $PQ$  部分而來之波與由  $QR$  部分而來之波理

## 第三十一圖

應相殺，但因其方向有大差之故，不致完全消滅。反之離  $P$  較遠  $X, Y$  之處，將近平行，相殺特甚。故自  $LM$  全體而來之波動



中，唯近於  $P$  點部分之波動，傳於  $O$  點。波之直進，即基此理，途中障礙物  $S$ ，能否遮蔽此波，全由波長之大小而異，波長大者，須較大之障礙物始能遮蔽。

若比波長為小之障礙物，不能遮蔽其波，故其波常取迂迴之路而曲進。波若通過比波長為小之孔，則其孔即為波之

(1) Huygens

新發源點，故波不必直進，而及於各方，稱曰波之迴折。

若於平面玻璃板上，每一種刻畫一萬內外之細線，因留有透明之細隙，故投射之光起迴折現象。如此之玻璃板，稱曰迴折格子。若集異隙而來之光波於一點，則從此點之位置，其距離之差，如為波長之整數倍，則相助而明，在他點則相殺而暗。明暗交互而生所謂干涉條紋。若迴折格子所刻各線間之距離為  $d$ ，而以波長為  $\lambda$  之光投射之時，則第  $m$  個明線之方向與對於迴折格子所引之法線所成之角  $\theta$  間，有如下之關係。

$$m\lambda = d \sin\theta$$

故用  $d$  為既知之迴折格子，就第  $m$  個之明線而測定  $\theta$  角，則能算定  $\lambda$  之波長。據實測之結果，肉眼可見之光中，赤色之波長最長，紫色之波長最短。若以一種之百萬分之一為單位，則可見之光之波長，為七十六乃至三十九。

若刻細隙於光能反射之面如鏡等以代玻璃之透明體，則由所刻之部分不能反射光線，故亦生迴折之現象。明線之方向與迴折格子之面所成之角，亦由波長之長短而異，如前式之所示，例如赤光相助之方向，青色及其他之光必相殺，青光相助之方向，赤色及其他之光必相殺。然太陽之光，為各色之混合物，若使之照於迴折格子，則應波長之長短，各色之光分散成景。真珠貝殼等所以放美麗之七色者因天然成迴折格子故也。換言之，不過此等表面，反射光線之部分與不能反

射光線之部分爲細密之排列已耳。

由以上之說明，知通過多數細隙之光之互相干涉而生干涉條紋，然此現象亦起於一個細隙之間。即一個細隙之內，此部所投之光，與他部所投之光，亦依其方向或助或殺。若以圓形之孔代細隙，則成以此爲中心之同心環而現干涉條紋。故一光點之實像，非單一之光點，常圍有明暗交互之干涉條紋所成之同心環。故以顯微鏡觀微細之物體，如二個之微粒子異常接近，則其實像所生之干涉條紋相重，宛如一個之蘭形。故用顯微鏡所可觀之二點間之距離，在光之性質上有一定之界限。此界限與光之波長爲比例，故如用波長愈短之光線，則微細之物亦能辨識。又如同用同一光線，則以物鏡浸於屈折率較大之透明液體時，亦較有效。

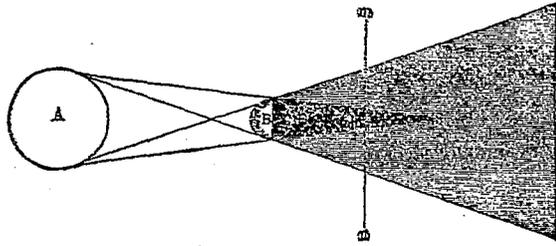
又如不使光線直接投射於物體之表面，利用特殊之裝置，使視野暗黑，而由側面照物體之時，恰若黑夜觀螢，能辨認小於百萬分之一之微粒子。如此之裝置，稱曰超越顯微鏡。

### 第三十七節 日食及月食

光因其波長甚短，故遇普通之障礙物，則爲其遮斷而成直進。發光體如爲一點，則由任意之障礙物所生之影爲簡單之錐形。如爲太陽，則頗複雜。如以  $A$  爲太陽，以  $B$  爲障礙物，則如第三十七圖所示，生二種之影，即所謂本影與半影是也。如障礙物  $B$  爲地球，則月沿  $mn$  線進行之時，其始入半影之內

第 三 十 二 圖

而薄暗，  
終入本  
影之內  
而呈月  
食之現  
象。如月  
體全部



同時入於本影之內則成皆既蝕。

若以  $B$  爲月，則地球入影內之時而生日食，自半影之人見之，則爲部分蝕，自本影內之人見之，則爲皆既蝕。地球與月之距離不爲一定，距離近時通過較近於本影末端  $S$  之處，距離遠時通過較遠於本影末端  $S$  之處。此際由  $ABS$  直線之延長上及其附近之人視之，則僅太陽之中央爲月所掩而黑，其周圍仍明，即金環蝕是也。

白道與黃道，若在同一平面之上，則每一朔望，日月地球必在一直線之上，新月之際必有日食，滿月之際必有月食。然實際上兩者之軌道，約傾五度，僅月在其交點之附近，新月或滿月之際，始生日食或月食之現象。每年日食至少亦有二次，唯能見之範圍甚少，反之月食若在夜間，無論何處，皆能見之，故覺月食之時甚多。一年內所能起之蝕之最多回數，合日食月食計之，共爲七回，豫定西曆千九百三十五年當實現之。

日食與月食係以十八年十一日爲週期而反復，例如西

曆千八百七十八年二月二日有日之金環蝕，其後半月即二月十五日有月之部分蝕，約半年七月二十九日有日之皆既蝕，更後半月有月之部分蝕。及經過十八年之後，即西曆千八百九十六年二月十三日有日之金環蝕，二月二十八日有月之部分蝕，八月九日有日之皆既蝕，八月二十五日有月之部分蝕。見日食之地方每回以經度百十六度漸移於西方。

一週期即十八年間所起蝕之回數，平均為七十回。其內二十九回為月食，四十一回為日食。日食之中十七回為金環蝕，十回為皆既蝕，其他為部分蝕。故日之皆既蝕十八年間共有十回，本不足奇，但得見之地範圍極狹，故在同一地點甚難見日之皆既蝕，三百六十年間約僅一回而已。由是觀之，吾人若不他往而得見日之皆既蝕，雖不得稱為千載一時之遇，亦可謂為幸運矣。

### 第三十八節 電

取木片暖後而摩擦之，則生吸着微細粉末——如煙灰等——之力，此現象自太古時代即知之，在西洋具此性質之物體以琥珀為最著，故因琥珀<sup>(1)</sup>（希臘語讀作埃勒特倫）之名，稱之曰埃勒特利西提<sup>(2)</sup>。其後知此作用，與電之性質相同，故譯曰電。

熱由摩擦而生，故熱非物質，此際所費之功皆變為熱，如

(1) Electron (2) Electricity

此說正確，則由摩擦所生之電，其理亦同。電之發生不限於摩擦，礦物中有稱為電氣石者，如變化其溫度則亦生電，此時之電，乃由熱而生。更精細觀測之。二物接觸，便能生電，或一物體分而為二之時，亦能生電。

電之存在，雖可由其吸引力知之，然若將帶電之物體，分之為二，則各部分不特不能互引，且相反撥，但能吸收或種帶電之物體。故知電有陰陽兩種。

電量不能直接測定，舍由間接測定其作用之力之強弱外，別無他法。然外界之媒質若異，則雖電量相同而其作用亦有變化。在空氣中作用之力，與在油中作用之力，其差頗大，故以真空中作用之力為標準，而測電量。工業界所用電量之單位，稱曰庫倫，或略作庫。<sup>(1)</sup> 據實驗之結果，二荷電體間作用之力，與各自荷電量之相乘積為比例，與其距離之自乘為反比例。

電之作用所及之範圍，稱曰電場。其強由作用於單位量陽電之力而決定。有時因或種媒質充滿於電場之內，電之作用，完全消滅。此種媒質，稱曰電導體。非導體之媒質，普通雖能使電場之強，生多少之變化，然能傳電之作用，故稱之曰電媒質。

於電場之內，移單位之陽電，自A點至於B點如不須何等之功時，稱曰A點與B點之電勢相等。如須一定之功時，則

---

(1) Coulomb

以此功之量，測  $A B$  二點電勢之差。通常稱電勢之差曰電壓，稱其單位曰弗打，或略作弗。<sup>(2)</sup> 荷電體之電勢，增高一定量時，所須之電量，因荷電體之種類大有差異。換言之，種種荷電體之電容量，不必相同。電容量及電勢之相乘積，與荷電體所有電之總量相等。

以無限小量之電，加於本不帶電之物體時，雖不須功，唯既帶電之後，其附近成爲電場，若攜電至於其側，則必須功。換言之，物若荷電，則功消費，其相當之能，貯藏於電場之內。電場內之電媒質受變形，而有一種之勢能，故可隨時利用，使之爲功或變爲熱。

同種之電有互相反撥之性，故電在導體之內，務求相離，其結果皆集於導體之表面，並欲逸出於導體之外。包圍導體之電媒質，與之抵抗，而保平衡。若電勢漸高，電媒質不能堪之時，則突放火花而電逸出。此種現象，稱曰放電。放電之際，所以生熱放光發音響並施其他之功者，皆因有能貯藏於媒質內之故，不過將充電之際所費之功再現於外而已。

電光者，雲中放電之火花也。雷鳴者，其爆聲也。電光與雷鳴本同時發生，特光之速度一秒約三十萬呎，而音之速度一秒僅三百三十呎，故到達於吾人耳中之時刻，隨距離而差異，唯附近落雷之時覺電光與雷鳴同時而起耳。

若以導線連結有電勢差之二個荷電體，則電自勢高之

---

(2) Volt

處向低處移動，稱曰電流。電流之單位，曰安培，或略作安。<sup>(1)</sup>電壓雖同，若連結之電線種類有異，則電流有強弱之別。換言之，導線對於電流之抵抗，有大小之差。電之抵抗單位，稱曰歐。<sup>(2)</sup>電壓為一弗，由抵抗一歐之導線連結之時，則生一安之電流，一秒間當通過一庫之電，且導線內一秒間當發生一喬爾之熱。每秒所施之功，與一喬爾之熱相當者，稱曰一瓦。<sup>(3)</sup>故電壓百弗之時，若抵抗為二十歐，則生五安之電流。

$$\frac{100\text{弗}}{20\text{歐}} = 5\text{安}$$

每秒發五百喬爾之熱。

$$100\text{弗} \times 5\text{安} = 500\text{喬爾}$$

或  $20\text{歐} \times (5\text{安})^2 = 500\text{喬爾}$

此時稱為有五百瓦之電力。一喬爾與一千萬爾之功相當，四喬爾強與一加路里相當。

### 第三十九節 電燈

通電流之導線，因抵抗而生熱，其量之多少，與電流強弱之自乘，及抵抗大小之相乘積為比例。故通電流於抵抗甚大之導線，則發多量之熱而溫度增高，可以煎湯暖室。溶解難熔之金屬之電爐亦為此原理之應用。但如溫度過高，則可燃性之物質至於燃燒，而不燃性之物質，亦致液化或氣化。

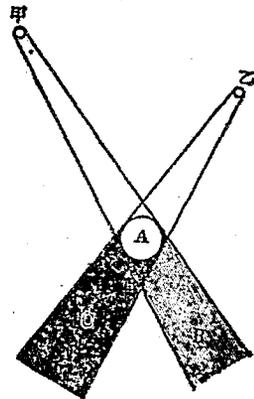
(1) Ampere (2) Ohm (3) Watt

然關於真空管內而通電流，則因不能燃燒，故可熱至白熱之溫度，即攝氏千二百度以上，此白熱燈之所由成也。例如鎢燈，係用鎢之細線封於真空玻璃球內，通以電流，使達白熱而發光之裝置是也。

抵抗之強弱雖由製造電球之際而定，然因通過之電流，與電壓為比例，故若不先豫定電壓，則電流弱而發熱微，溫度不昇，有時不達白熱即放弱光。例如以百二十弗三十二燭光之電球插於電壓百二十弗之電極間，則生三十二燭光之光。若電壓不足百二十弗，則僅能放二十餘燭光。此時溫度較低，故不達白熱而呈黃色。甚者不及千度，而呈紅色，一見即知電壓不足。

一燭光者，一枝標準蠟燭點火時之光度也。三十二燭光即其三十二倍。學術上以白金於凝結之溫度，由一平方厘米所放之光，為單位之光度，其二十分之一，與一燭光相當。然光之強弱與距離之自乘為反比例。譬如甲為三十二燭光之燈，乙為八燭光之燈，若置棒於距甲二尺距乙一尺之A點之處，則其影AC與AB暗黑之程度相等。若AC較AB黑暗遠甚，則非甲不滿三十二燭光，必乙較多於八燭光。

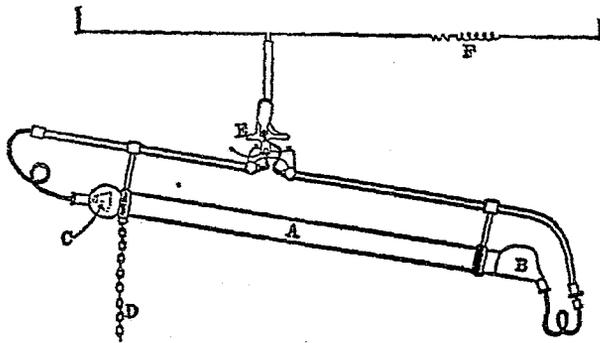
第三十三圖



若電壓甚大，則導線雖斷，亦能通空中而放電，雷電之際吾人常目擊之。人為者則為弧燈，其法使炭素棒由上下兩方相向，而留多少之隙，若加強電壓，則放火花而通電流，以至發光。通常炭素棒暴露於空氣之中，故逐漸燃燒而消費。弧光燈之溫度一般為三千度至四千度。

水銀蒸氣燈者，一變態之弧光燈也。真空玻璃管  $A$  直徑約三釐長約一呎，其兩端有金屬線插入， $B$  端與滿盛之水銀接續， $C$  端與杯形之鐵片連續。其初置  $A$  管使水平，水銀之細流通於  $BC$  之間，若以兩端之金屬線繫於電池之兩極，則通

第 三 十 四 圖



電流。此時  $B$  與陰極， $C$  與陽極接續。其次輕將  $A$  管略傾，使  $C$  端高於  $B$  端，則水銀因傾於  $B$  部途中自有斷處。然因電流通過故斷處之抵抗增大，生多量之熱水銀因而蒸發。至水銀蒸氣充足，則水銀即全集於  $B$  部，而  $BC$  間之電流，因有水銀蒸

氣仍能通過，全部之水銀蒸氣，放光如電，而成一種之電燈。

水銀蒸氣燈之特點，在與白熱燈比較，能以極少之電而得同一之燭光。且放出化學線——即呈化學作用之輻射線——即紫外線甚強，故用於攝影最為有效。唯因多含波長較短之綠色或黃色之光，而乏波長較長之紅色之光，故所照之物體皆失紅色，致人之面色灰白宛如死人，為其缺點。

理想上之燈火，以放出肉眼所能見之輻射線愈多者為愈善。然據魏因<sup>(1)</sup>之變位則，如第十二節及第三十二節所示，溫度與此溫度所有最大能之輻射線之波長其相乘積為常數。換言之，即溫度低則多射出長波長之熱線。溫度愈高，波長愈短。終由肉眼所能見之紅色，漸變而為紫色。如溫度過高，則多射出肉眼所不能見之化學線即紫外線。

故一般造燈之方法，為給與物體以能，使分子呈激烈之運動，增進溫度，及至必要之程度，依能之等分法則原子自然振動，而生吾人所見之光。故實際上吾人所與之能，僅一極小部分成為有益之燈火，而為吾人所利用。其大部分，消費於分子運動成為肉眼所不能見之熱線，無益放散。然養與其他之夜光蟲，不須特別之高溫度，能放肉眼所能見之光。設吾人能使全部之能，不為熱即分子之運動所消費，得直接供給原子之振動，而皆變為肉眼所能見之光，則經濟上之利益甚大。

今日之燈火，僅使小局部發光，而照其周圍，故途中若有

(1) Wien

物障礙，則生陰影，甚見不便。設吾人之室上下四方，能為同樣之光所照，則能得理想上之光明。要之，若燈火能與太陽之光相同，含有自紅至紫各種要素，而不伴目不能見之輻射線，則所有之能，得完全利用為目所能見之光。如此燈火最合於理想，故批評新造之燈火，當然以此為標準。

在減少氣壓之管內，放電甚易，水銀蒸氣燈，即其一例。此時稱之為低壓放電或真空放電。從真空之程度及電極之種類，更有種種名稱，如蓋斯拉管，<sup>(1)</sup>克魯克管，<sup>(2)</sup>或柯利吉管<sup>(3)</sup>等是也。放電之際，其初陰極板面為薄光層所施，其次為暗黑部。此際由陰極板飛出無數之電子，自由進行，達於相當距離，則與氣體分子衝突，發光而生陰光層。其次有多少之暗黑部，由此至於

第 三 十 五 圖

陽極板，管之全部生



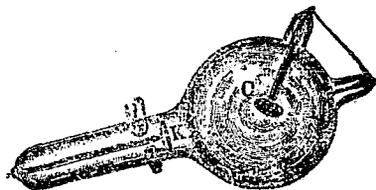
如波之光，稱之為陽光柱。然真空之程度若逐漸增高，則無氣體之妨害，電子更能自由飛進，陽光柱之部分漸衰，最後生速度甚大由電子羣而成之輻射線，稱之曰陰極線。

陰極線若與管壁衝突，則生一種之二次輻射線即X線是也。第三十六圖所示之真空管，即為發生X線之特別裝置。由陰極K所發散之陰極線，與對極板C衝突，即生X線。陰極線若於途中與氣體分子衝突，則使此分子電離。其陽粒子向

(1) Geisler tube      (2) Crookes tube      (3) Coolidge tube

陰極板而進，故更生第二之輻射線，稱之曰陽極線。X線能自由透過普通光線所不能透之物質，因而有名。如金屬對於日光，雖不透明，而對於X線，則為透明體。反之，玻璃對於日光為透明體，而對於X線則不透明。

第三十六圖



## 第五章 物質

### 第四十節 質量之測定

何謂物質？對此質問，不易簡單解答。換言之，即不能簡單下物質之定義是也。然吾人即不下定義而使用物質之術語，訴之常識而求其判斷，亦不致生多大之錯誤。吾人已由傳統的認若干之物為物質。先就各個之物，研究其性質，而檢出其為普遍與特殊，稱之曰物性，而後從其具有或種之物性與否，而判定其為物質與非物質。舍此而外，無適當之方法。

在形式科學，——如數學——若最初下一定義，則由此定義所限定之性質，可僅由推理而窮之。然物理學屬於實質科學，其研究之對象物，先吾人而存在，不容吾人下任意之定義。研究之對象，雖為實物，但不知其為何物。見一石塊，認之為一物質，固屬正當，然一切物質，不能由此石塊代表之。譬如此石塊雖為暗黑之色，而暗黑之物，皆為物質乎？非暗黑之物，皆非物質乎？則為應行研究之問題。換言之，一石塊所含各種性質之中，何者為物質必要之性質？何者為此一石塊特殊之性質？則為不易決定之問題。

就吾人傳統的種種可稱為物質之中而調查之，發見有下列若干之性質。

1. 物質固有之性質，為慣性、硬度、彈性、粘性、伸縮性等。

此等性質，皆可由物質之構造及分子相互間之關係而決

定之。

2. 物質相互間成立之性質，爲附着力滲透性及其他化學的性質。

3. 物質對於能之性質，爲熱與電之傳導性，比熱，潛熱，透明度，色，輻射率，吸收能，反射能等。

由上記若干物性之中，非先研究何者足爲決定是否物質之性質，更講求從數量的測定此性質之方法以後，嚴密言之，不能謂已得物理學上研究物質之材料。換言之，考究決定物質之多少——即數量的決定物質之質量——之方法，乃研究物質之最初第一步。

一切物質，皆占有多少空間，此盡人承認之事也。故長，高，廣——即體積——爲物質之要素。笛卡兒<sup>(1)</sup>氏且主張不特一切物質，皆占有空間而已，並謂不爲物質所填充之空間——即純粹真空——毫無意義。屬於此學派之人不承認有不由物質占領之空間，故二個物質不能同時並容於一處，稱曰物質之不可入性。

據此學說，則由決定一物體所占領之空間之高，長，廣，——即此物體之體積——即能決定此物體之質量，而空間之三次元，皆可由尺度直接測定，故長之單位決定之後，即可由此導體積之單位，而適宜定之，故容易由數量的知物體之體積。

如欲等分一物體，可將其體積等分之。故在高，廣均一之固

(1) Descartes

形物可由  $n$  等分其長，而得此物體  $n$  等分之質量，如斯分割之物體一部分之質量，等於全體質量  $n$  分之一。

又此物質如爲流體，因其形不定變化自由，故吾人作體積適當之容積採爲單位，用此容器測之，直接可知流體之質量，可爲標準之容器，即升是也。通常以每邊十釐之立方體——即千立方釐——定爲體積之單位，稱曰一呷。千呷——即一立方呎——之容積稱曰一噸，以供測定較大體積之用。吾人常以升斗測定體形不能任意變化之固體，當然屬於濫用，非正當之測定法也。

#### 第四十一節 密度及膨脹係數

吾人之所以用體積測定質量，其原則蓋假定物質爲連續的，一切空間全由物質均勻充滿故也。然吾人之祖先，以數之概念爲基礎，而得量之概念，而通俗的之數，則不連續的者也。故自太古時代，即主張物質之不連續性，德謨顛利圖<sup>(1)</sup>以爲一切物質，由稱爲不可切體——即原子——之單一體集合而成。據此學說，體積未必可以代表質量，當由計算構成物體之不可切體之總數，而決定其質量。故甲乙二物體縱有同一之體積，苟構成甲之不可切體之數，比於乙若爲  $n$  倍，則甲之質量比於乙之質量，當大  $n$  倍。

就實驗上論之，普通之物體，熱之則體積增加，壓之則體積

(1) Democritus

減少，此時構成物體之不可切體之數，決無增減之疑。如不可切體之數，果爲不變，則一定體積內所存物質之量不能不變，因而其中所存不可切體之數亦不能一定，當從外界之狀況，而有多少之殊。故其結果，由體積之大小，以定質量之多少，殊爲不當。於是用密度之術語，以表示單位體積內所含不可切體之數——即質量之多少——由體積與密度之相乘積而決定質量。

構成物質之不可切體之總數，雖一定不變，然其體積依溫度與壓力而增減，故體積增加則密度爲反比例而減少。故物體體積之增加，吾人不稱之爲質量增加，而稱之爲膨脹。由溫度增高而膨脹之時，與在一氣壓攝氏零度時之體積比較，因溫度增高一度所增加體積之量，稱爲此物體之體膨脹係數，或體膨脹率。譬如謂空氣或其他氣體之膨脹率，爲二百七十三分之一，即謂攝氏零度之時，若此氣體有二百七十三呎，則熱之至攝氏一度，當膨脹爲二百七十四呎，反而冷之至零下一度，當收縮爲二百七十二呎。

設有氣體，從此比例而盡量收縮，則冷至冰點以下二百七十二度之時僅爲一呎，更低一度，在理體積全無。然實際上無此種氣體，至爲明顯。如斯理想的氣體，曰完全氣體。若用完全氣體之膨脹以測溫度，假定有更低於零下二百七十三度之溫度，則氣體之體積，當爲負量，毫無意義。故如斯溫度，決不可得。故冰點下二百七十三度爲低溫度之極限，即絕對零度是

也。

一切物質，於種種之溫度，對於熱若有同一之性質，則膨脹係數當為普遍常數。然徵之實驗，則千差萬別，且其係數，亦有為負數者。即溫度愈高，則愈收縮，攝氏四度以下之水其適例也。水由表面先行結晶，其原因即在於此。

攝氏四度之水，無論加暖抑使冷卻，其體積皆見增加，故一定體積內水之不可切體之數，當以攝氏四度之時為最多。即攝氏四度之時水之密度最大。今如採此最大密度為標準，以作單位而測他溫度時之密度，則其結果如下：

溫度	密度	溫度	密度
0°	0.999873	8°	0.999878
1°	0.999927	9°	0.999812
2°	0.999966	10°	0.999731
3°	0.999999	20°	0.998213
4°	1.000000	30°	0.995688
5°	0.999999	50°	0.988093
6°	0.999969	100°	0.958634
7°	0.999929		

固體能於互為直角之三方向，獨立膨脹。故在固體，可以長之增加，代體積之增加，稱之曰線膨脹率。然各邊  $a, b, c$  之固體體積，可以三邊之相乘積表之，故如各方向之線膨脹率相同，則其體膨脹率，大約為其線膨脹率之三倍。但在特種結晶

形之鐵物,各方向之線膨脹不必相等,甚至有一方膨脹而他方反收縮者。次表表示金屬類之膨脹係數。

物質	線膨脹率	體膨脹率
玻璃	$0.086 \times 10^{-4}$	$0.258 \times 10^{-4}$
白金	088	264
鐵	118	354
金	151	453
銅	171	513
銀	191	573
鉛	285	855
鋅	311	933

#### 第四十二節 重量及衡

單位體積內所含不可切體之總數,不易算定,故決定密度,當於不可入性之外,利用其他之性質,以測質量。物質之性質中,體積以外,較為重要者,則物質各有重量是也。一物體之重量,不特等於任意分割後各部分重量之總和。且同一物體,因溫度之高低其體積雖受多大之變化,而重量不與。即加壓縮以減少其體積,其重量亦絲毫不變。徵諸實驗事實昭然。

故吾人之祖先,以為由重量之測定而算出質量,更為合理。故捨體積而用重量,以為測定質量之手段,實為較進一步之方法。

據古代不可切體之說，各不可切體皆爲同種，故一物體之重量，與其不可切體之總數爲正比例。故若用一定體積之任意物質爲質量之單位，則一切他物質之質量，僅由兩者重量之比而定。人類生存之處，必有水在，且一氣壓之下，攝氏四度之水密度最大，故以此狀態之水一立方釐之質量，採爲單位之質量，稱曰質量一克。在北緯四十五度之處此水之重量，採爲單位之重量，稱曰重量一克。

最大密度之水，一呷之重量爲一千克而同體積之水銀，爲一萬三千五百九十克，故水銀之密度，約合水之十三倍半強，或可稱爲水銀之比重十三半強。如使溫度與壓力一定而測之，一切單體皆有自己固有之密度。二個相異之單體有同一之密度者甚稀。故可由測定密度，容易判定其爲何物。例如檢定一片之黃色金屬，如其密度爲 19.3 則可判定其爲金，如不及 8.5，則可判定其爲黃銅。

何謂重量？從一切物質互相吸引——即萬有引力——之法則，地球與其附近之物質，互相吸引，其結果，此物質常有欲落於地球之力。故測定物體之重量，即爲測定作用於此物體之地球引力。所謂重量二倍云者，不過地球以二倍力引之之謂而已。

今若以發條  $C$ ，懸容器  $A$  於支點，而貯某量——例如水銀——於其中之時，則由其重量自  $A$  之位置降於其他之位置  $B$ 。此時發條因自  $A$  引延至  $B$ ，故依自己之彈性，欲向上縮至

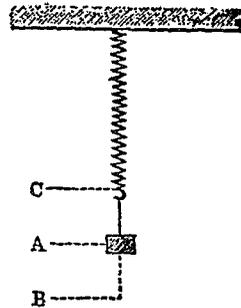
原處，而水銀則與地球相吸引，欲向下而降。向上欲昇之彈力與向下欲降之重力，於相等之點達於平衡之狀態，故此時若知發條之彈力，則可知水銀之重量。然發條之彈力，依胡克<sup>(1)</sup>法則，在延長較小之範圍內，與所延之長短為比例，徵之實驗至為明確。故若置尺度於發條之背後，則由尺度視其延長，即可知水銀之重

量。若先以或體積之水貯於  $A$  中，而視其延長，次以同一體積之水銀代之，則其延長之比，即表水銀之比重。如斯之裝置，稱曰發條秤。

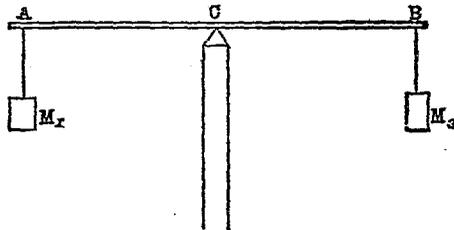
今將一枝均勻之棒  $AB$  之中點適當置於支點  $C$  上，則可使保持水平之位置。其次以重量相等之二個物體  $M_1$  及  $M_2$ ，懸於自支點  $C$

等距離之處即  $A$  及  $B$  之兩端，則亦可保其水平之位置。若  $M_1$  與  $M_2$  之重量不等，則重者之端

第三十七圖



第三十八圖



(1) Hooke

下降,可由實驗上見之。故吾人設有不知重量之物體 $M_1$ 懸於A端,更以既知重量之物體即適當之法碼 $M_2$ 懸於B端,若達平衡之狀態,則其物體之重量與此法碼之重量相等。如斯裝置,稱曰天秤。

試就上例考查力之作用之狀況,作用於 $M_1$ 之地球引力,欲將AB棒以C為中心向左回轉;作用於 $M_2$ 之地球引力,與之相反欲向右回轉,兩者之回轉力距相等之時,則不回轉於任何方向而靜止。回轉力距,不特與使其回轉之力為比例,且與自回轉軸至於其力之作用線之垂直距離,亦為正比例,由實驗上可以證明。換言之, A與B若在自C點等距離之處,而 $M_1$ 與 $M_2$ 之重量若相等之時,雖能保其平衡,若A比B更遠二倍,則以 $M_1$ 之一半重量而平衡。

今若以AB之棒,懸於任意之點C處,懸未知之量 $M_1$ 於A端,懸一定重量之

第三十九圖

法碼 $M_2$ 於B端,

則由適當加減

BC間之距離,

能保水平之位

置。若 $M_1$ 之重量

二倍,則BC間

之距離,亦須二倍始能平衡,故若刻度於BC之部分,而視其距離,即可知 $M_1$ 之重量。如斯之裝置,稱曰桿秤。



### 第四十三節 惰性之法則

據萬有引力之法則，甲乙二物體間之引力，不特與甲乙各自之質量爲比例，並與其間距離之自乘爲反比例而變化。用發條比較重量之際，若不變更發條之位置，則因地球之質量，及地球與所測定之物體間之距離，一定不變，故其重量僅由所測定物體之質量而決定，至爲明顯。然吾人於所測定之物體若變更其對於地球之位置，則其重量，亦當變化。

如在平地，與在高屋階上，對地球之距離不同，故雖同一物體，其重量亦有變化。況地球非真球形，赤道附近膨脹，南北兩極收縮，故自地球中心之距離，在赤道平均爲六千三百七十八杆，在兩極爲六千三百五十七杆。在此兩處，重量之比，各與此等距離之自乘爲反比例。

更據牛頓之運動法則，如力不作用，則凡運動之物體，當以同一速度向同一直線上繼續運動。然地球每一恒星日自轉一次，故赤道表面之物體，每秒以約十五呎之速度而前進，若無重力作用於其間，則從切線之方向而運動將自地上飛出。

質言之，赤道附近之物體，有遠心力。其前進之速度，向南或北，距赤道愈遠，則愈減少，至兩極而等於零。重力之一部爲遠心力所滅殺，其理甚明，故物體重量之減輕程度，與遠心力相當。

如斯赤道附近之重量，因二個原因而減輕，——不特因地

球非球狀而生多大之差，且因地球自轉之結果，而生遠心力，此力為兩極所無，故亦生重量之差——合而計之，大約減少為九十二分之一。易言之，同一物體，在印度輕，在加拿大重。設吾人以重量為質量之正當代表者，則自南洋移至北海，物質之質量，必且增加，寧非奇聞異論？若離地球而至於月及其他之天體附近，則物體之重量，由月及其他天體之引力而定，全為別種之值。地球上體重百二十斤之偉丈夫，如旅行天空而至月世界，則其體重僅不過二十斤，月宮三尺之兒童，猶能負之而走。故如認物質為不生不滅，則質量不能由重量而決定。

物體之體積與重量，俱不足以測定質量，然則質量，果何由而決定乎？答此問題，即牛頓之惰性法則是也。次於體積與重量，吾人所注目之物性，則為對於加速度之抵抗，即惰性是也。一切物體無論其為靜止抑為運動，皆有維持現狀之保守的性質，稱為物質之惰性，亦曰慣性，惰性之大小，視須加若干之外力方能使生單位量之加速度而定。一物體之惰性等於各部分惰性之總和。若依惰性之大小，而定質量，則不受溫度與壓力之影響，無論何時何地，亘古今通南北一定不變。

今試置發條丙於甲乙二個物體之間而壓縮之，若突然放手，則發條因其彈性，向左右延長，甲乙兩體因而飛撥於兩側，此事可由實驗上證之。此時甲乙若得同量之加速度，則稱甲之質量與乙之質量相等。若其速度不等，則得較大之加速度者質量較少。即以彼等所得加速度之反比，為其質量之比。作

用於質量一克之物體，一秒間生單位之加速度之力者，稱曰一達因。

今有  $F$  達因之力，作用於甲物體，若生  $A_1$  之加速度，則其物體之質量，為

$$M_1 = \frac{F}{A_1}$$

克。若以同一之力，作用於乙物體而生  $A_2$  之加速度，則其物體之質量，為

$$M_2 = \frac{F}{A_2}$$

克。故

$$M_1 A_1 = M_2 A_2$$

甲乙兩者互相作用，若有力  $F$  作用於其間，則甲受  $A_1$  之加速度，乙受  $A_2$  之加速度，甲或乙所得之加速度，與其質量之積，各等於作用於兩者之間之力。易言之，甲若以力作用於乙，使生加速度時，則乙亦以同量之力，反對作用於甲，而生方向相反之加速度。此即原動與反動之量相同而方向相反所謂運動之第三法則是也。

甲若以若干量作用於乙，則甲必自乙受同量之反動。例如甲以力推乙，則甲必反對為乙同量之力所推。若乙無力抵抗，則甲不能加力於乙。

原動與反動相等，果如前述，則拔河之戲，何以力強者勝？此時引繩之力，兩者雖同，然一方與地面為一體，而他方不然，故前者之質量幾為無限大，而其加速度為零，故能止於原位。

若以力士與小兒各載一舟使於水面作拔河之戲，則其勝敗，不從力之強弱甚明。此時如小兒所乘之舟甚大，其質量遠過力士之舟，則小兒之舟幾靜止不動，而力士之舟反為小兒所引，徵之實驗至為明顯。

要之，由慣性而測質量，為最適當之方法。故謂質量大者，乃謂慣性大也。謂慣性大者，即謂須用大力而後能動此物也。若以僅小之力容易使動之物體，其質量畢竟甚少。如斯由慣性而測定質量，則與重力無關，故無論昇天入地，其質量毫無變化之處。

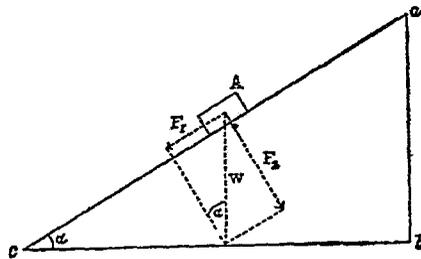
### 第四十四節 推進機

原動與反動其量相等而方向反對——即運動之第三法則，最通俗的而表現者推進機是也。推進機之構造不一，現今使用最廣者，為根據螺旋原理之推進機。普通之構造，有殼固著於螺旋軸，此軸連結於發動機關，殼與軸為或種之角度有二個或四個附著之

第四十圖

表面如翅，各翅之表面不與螺釘之螺旋面相異。

今以  $bc$  為水平面， $ac$  為斜面，其間之傾斜為  $\alpha$  角，試以重量



$W$ 之物體  $A$ , 載於斜面  $ac$  之上, 因重量為地球對此物體之引力, 故可分解為平行於斜面之分力

$$F_1 = W \sin \alpha$$

及垂直之分力

$$F_2 = W \cos \alpha$$

$F_2$  之力僅壓斜面,  $F_1$  之力引物體沿斜面而向下。故沿此斜面, 將物體  $A$  自  $c$  運搬於  $a$  之功, 與  $F_1$  之力及沿力之方向運動之距離  $ac$  之乘積相等。然因

$$F_1 ac = W \cdot \sin \alpha \cdot ac = W \cdot ac \cdot \sin \alpha = W \cdot ab$$

故等於垂直舉揚物體  $A$  自  $b$  至  $a$  之功。

以上之證明, 與  $\alpha$  角之大小無關, 故自水平面上一點運搬物體  $A$  至於  $a$  處, 所費之功, 與斜面之緩急無關, 一定不變。然功雖不變, 而舉揚所需之力, 則非一定而與  $\sin \alpha$  第四十一圖  
即傾斜角度之正弦為比例。故傾斜愈緩, 則能以較小之力舉較重之物體。楔為二個斜面相合之體, 故其作用與斜面相同。

如以斜面卷於圓錐, 沿  $ac$  線而鑿溝, 則成右圖之螺旋狀。此時線路雖為曲線, 然各點作用之力與前全同甚明。

運動為相對的之事, 故沿螺旋之面, 以動物體, 與固定物體以螺旋押入, 其作用正同, 特運動之方向相反而已。如同回轉螺旋, 若螺旋固定, 則物體前進, 若物體固定, 則螺



旋前進。此處所謂固定者，乃指將此物體固定於地球，或固定於任意選擇含有基點之物體而已。若兩者皆不固定，則各從其惰性之大小，——即從其質量，而得反比例之加速度。

對待之物體若為固體如螺釘等之時，則螺旋面狹。若為液體如水時，則其面廣，且回轉之速度甚大，使水生急劇之運動，而與機體聯絡之船，與之相反而前進。此時水推於後，船進於前，故稱之曰推進機。

空氣之惰性更小於水，如以船上使用之推進機，回轉於空氣之中，縱可生相當之風，然不能使機體運動。故空中使用之推進機，螺旋面非更大不可。

就扇風機觀之，與斜面接觸而運動之物體，空氣是也。扇風機之質量與空氣質量比較，幾為無限大，故空氣雖得甚大之加速度而生風，而扇風機則靜止。此時亦非完全不受反動，通常因扇風機固著於地球，故不動耳。若置扇風機於無摩擦之水平面上，則扇風機從與風反對之方向而後退。二十世紀之初，飛行機之發達未若今日之時，每依此法使機體滑走於軌道之上以博觀衆之賞讚。

更進一步論之，若扇風機之翅甚大，則起強風，而後退之速度亦著。若反對變更其回轉之方向，則風之方向，與機體運動之方向亦從而相反。通常飛行機中之推進機，與此相當。今日飛行機中之推進機，與船中之推進機不同，非推空氣於後方而使機體前進也，乃將前方之空氣且引且進。詳言之，在船，螺

旋  $S$  之作用係使在後之  $B$  更退於後,在前之  $A$  更進於前,其結果使船體  $A$  與水  $B$  相遠,在飛行機螺旋  $S$  之作用,則引在前之  $B$  使向於後,在後之  $A$  使向於前,務使飛行機  $A$  與空氣  $B$  相近。

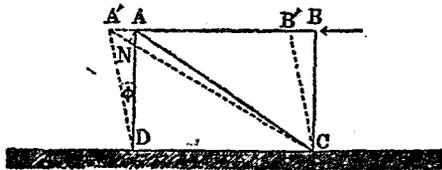
飛行機之上昇,於推進機之外,翼之作用,亦甚必要。翼因推進機之作用而前進時,其不在水平位置之一部,依斜面之理,漸沿空氣而上如登山然。

#### 第四十五節 物質之三態

物性之內,次於惰性而較重要者,為剛性與彈性。然此非一切物體之普遍的性質,故因此性質之有無及其程度而生物體之區別。構成一個固體,各部間相對的之位置,不因外力之作用,而受何等之影響者,稱曰剛體,前已述之。故在剛體,不特其體積一定,即其形狀亦一定不變。如斯之剛體,不過為理想上之物體。然在體積與形狀觀察不精密之範圍內,可視為剛體者亦不少。

第四十二圖

取角柱狀之彈性體  $ABCD$ , 固定其底面,沿其上面而加以力則必變



形垂直於此之直線  $AD$  或  $BC$  變位之角度若以  $\phi$  表之,則變形之大小可由  $\phi$  測定。此時以作用之力  $F$  與角度  $\phi$  之比

$F/\phi$ , 表物體之剛性率, 毫不變形之物體, 角度爲零, 故此比爲無限大。故剛性率無限大物體, 即爲理想的之剛體, 剛性率愈小者, 離剛體愈遠。

若自各方向以同量之壓力作用於彈性體之時, 則其體積縮少。此時以壓力及單位體積之變化之比, 測定物體之體積彈性率, 由同一之壓力所生體積之變化小者, 其彈性率大。故體積彈性率較小之物體, 容易收縮。

體積彈性率與剛性率, 全爲獨立之不同種類, 僅有體積彈性率而無剛性率者, 稱曰流體, 兩者兼有者稱曰固體。固體之內剛性小者近於流體, 流體之內, 體積彈性率甚大者稱曰液體, 小者稱曰氣體。一定溫度之下, 氣體之體積彈性率, 與當時之壓力相等, 從壓力之增大次第增加, 終近於液體。

水與石油等液體, 暖之則蒸發而成氣體, 吾人日常目擊之事也。故冷卻此等氣體, 即可液化, 不難豫想得之。

據實驗之結果, 此等氣體溫度雖不下降, 若加壓力, 亦易使之液化。然空氣如在常溫縱加若何強大之壓力決不液化, 故嘗稱之爲永久氣體。若一面增加壓力一面冷卻至適當之溫度, 則空氣亦能液化, 可由實驗上證明之。文明各國液體空氣販賣於市。

一般言之, 一切氣體, 各有其一定之溫度, 過此溫度, 縱加如何強壓, 僅能增大密度, 不成液體。此一定之溫度稱曰臨界溫度。水蒸氣之臨界溫度高於常溫, 空氣及輕氣等臨界溫度, 低

於常溫故於常溫而實驗之,其一可液化,其他不液化,乃當然之結果,不足異也。氣體若超過一定溫度,縱增加壓力不能使之液化。若在一定壓力以下任如何冷却亦不液化,此一定之壓稱曰臨界壓。

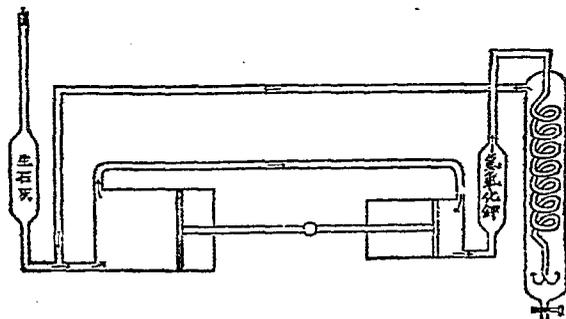
在通常之氣壓,水之沸點爲百度,冰點爲零度。然在永久氣體則其沸點與冰點之溫度甚低。

氣體	輕氣	養氣	淡氣	水
沸點	-252.5°	-182.5°	-193°	+100°
冰點	-257°	-238°	-214°	0°

現今使用之空氣液化機,壓縮純粹之空氣,達二百氣壓內外,使由小孔噴出,而溫度下降,更壓縮而噴出之,反復數次,可使冷却至沸點以下。

所謂固體與流體云者,皆非物質固有之特性,同一物質,亦從溫度與壓力如何,能爲固體,或爲流體甚明。誘起此變化之

第四十三圖



之要素爲熱，即構成物質之分子中所藏動能之多少是也。詳言之，若與熱能於固體，則化爲液體，若與熱能於液體，則化爲氣體。熱能爲分子之亂雜運動而寓於物體，故液體之分子運動，較固體爲烈，氣體之分子運動，較液體爲烈。

物質之分子間，於牛頓氏所唱萬有引力之外，尚有互相吸引之力。稱曰分子力。氣體分子之亂雜運動過烈，故其分子力幾可省略，若逐漸冷卻，分子亂雜之運動漸弱，至分子引力之所及範圍內時，則呈液化之現象。然液體表面之分子，偶有躍出於分子引力範圍之外者，即蒸發是也。故蒸發作用，溫度愈高愈盛，在低溫度，亦常生多少之蒸發。

液體之表面上所生氣體若多，氣體分子亂雜運動之際，每誤入液體之中，而爲其捕虜。自氣體突入於液體之分子與自液體逃出於氣體之分子，孰爲多數，則由溫度與氣壓而定。在理對於某一定溫度，有兩者達於平均之壓力存在，稱曰此溫度之飽和壓。若增加壓力至飽和壓以上，則氣體之一部液化。反之若增加溫度，則液體之一部氣化。

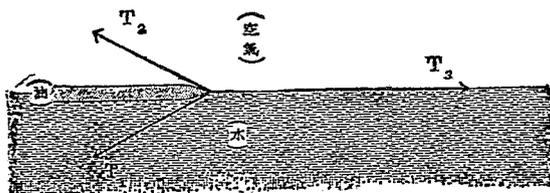
#### 第四十六節 表面張力及浮力

液體毫無剛性，可從橫向自由滑動，無一定形狀，隨器而成方圓。然細加觀察，則不盡然，草葉之露常作球形，杯中之酒與杯壁相接之處，成特殊之曲面，此乃物質分子間所存分子力而生之現象也。

試就流體內部之一分子思之，所受周圍各分子之引力相同，故其合力為零，與無分子力等。然在液體界面附近之點，其分子僅受內部多數分子之吸引，無自外部吸引之力，故其合力向液之內部，凡在界面皆有此種現象，當然成為球狀，蓋球之為形，表面積最小，內容最多，其結果與各方面以同一壓力內壓之時相同。此種之力，與作用於表面使其漸次收縮之力相當，故稱為表面張力。

若盛液體於器，則其界面有固體與液體，固體與氣體，及液

第 四 十 四 圖



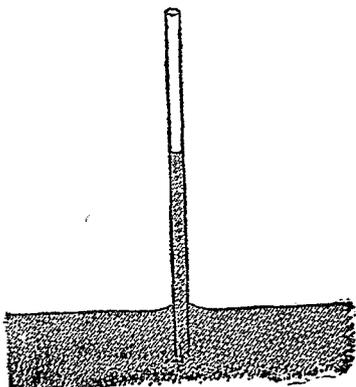
體與氣體三種。此三種之面會於一線。近於界面之液體分子，一面由其下之液體分子之力引向液內，一面又為氣體分子及固體分子所牽引，因相互間之引力，有強弱之殊，故界面之形狀，由強弱之比而定。三種界面各有表面張力作用，故此三力當取平衡之形狀。設二力之和小於其他一力，則不能平衡，故三種物質不能作如是之接觸。如滴石油於水面是也。

通常有地球引力作用，故如以玻璃製之毛細管豎立水中，則水雖欲擴於玻面全部，然為重力所制，而止於一定高處。此

時毛細管周圍表面張力之總和，與毛細管內所吸上之液之重量相等，故若測定毛細管之半徑，與液所昇之高，則可算定表面張力之強弱。

液體既有重力作用，而其分子又能自由滑動，故不能於離器壁之處，傾斜而靜止。易言之，靜止之液之表面，必與鉛直之方向成爲直角，稱曰水平。

第四十五圖



今以  $w$  表單位質量之重量，於密度爲  $\rho$  之靜止液體中，設想有斷面爲一平方呎之面積，在表面下  $h$  呎處之細長垂直部，其重量雖爲  $\rho hw$  然因其仍不落下，故知必有同一之力自下托之。此力稱曰浮力。若其體積爲  $v$ ，則有  $\rho vw$  之浮力。距表面  $h$  深處之點之壓力，爲  $hw\rho$ ，然在既知之液體， $\rho$  有一定，故其壓力，與其深  $h$  爲比例。又此壓力不僅向上，一樣作用於各方。此即所謂巴斯開<sup>(1)</sup>原理是也。例如以石鹼之液附着於細管之端而吹之，此液不於所吹之方向作細長形之膨脹，而反作球狀者，即作用之壓力各方相同之證也。

其次若將密度爲  $\rho'$  之他物體，置於液內一部分  $v$  之處而

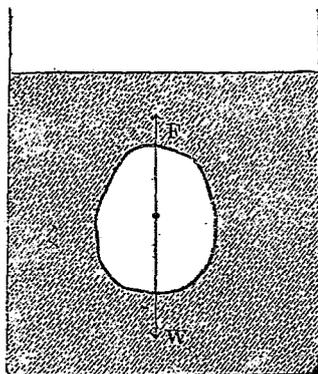
(1) Pascal

換其液，則其重量  $W$  為  $\rho'vw$ ，因此物體為與  $\rho vw$  相等之浮力  $F$  所托，故其重量減輕如下：

$$W - F = (\rho' - \rho)vw$$

稱曰亞幾默德 <sup>(2)</sup> 之原理。據此原理以測定空中及水中任意物質之重量，則知此物質之密度。物質之密度，依其種類，各有一定之值，故依此法，可以鑒別物之真偽。亞幾默德即因欲鑒定黃金之寶冠而發見此理。

第四十六圖



若  $\rho'$  小於  $\rho$  則重量為負量，故若放置此種物體於液中，則不下沈而反上浮。及其靜止於液面時察之，如浸於液中之體積為  $v'$ ，則浮力為  $v'\rho w$ ，當與物之全重量  $v\rho'w$  相等。船舶應用此理，鐵製之船，所以浮於水面，蓋以鐵之密度雖數倍於水，因有多大空所，故得於排水量與船之全重量相等之處而平衡。此處之  $w$ ，為有單位質量之重量，故如採質量一克之物質所有之重量為質量之單位，則重量為一克，而  $w=1$ 。但如易地，則同一質量而重量不同，故  $w$  之值非不論何處皆等於一。

以上之原理，不限於液體，即氣體亦可適用。然氣體之體積彈性率，不及液體如是之大，易因壓力收縮，故愈深則壓力愈

(2) Archimedes

強，而密度愈大，其結果，壓力不與深為比例。大氣之中，愈高則壓力愈減，但其減少之程度，不與其高為比例。

氣球亦從亞幾默德之原理而浮上，但因空氣之密度，愈高愈減，故浮至或程度之高處，則其重量與浮力相等而靜止，非若液體，能浮出於界面者也。

飛行船者，氣球之附有推進機而能進退自如者也。故機械雖有障礙，亦無墜落之虞。但有大袋故忌強風。

反之飛行機則為重於空氣之物體，由推進機之作用，而前進，從原動與反動相等之理，前進之際利用空氣之抵抗而生上壓，因之而昇，故推進機如生障礙，即至墜落，欲免此禍，亦唯有利用空氣之抵抗，滑走於空中，以冀徐徐下降。

### 第四十七節 - 物質之蛻變

真空放電之際所生種種之放射線，不僅發螢光或磷光而已，並呈攝影及離化之作用。而螢石及其他礦石，自古已知其發螢光或磷光，故疑此等礦物亦如真空放電所生之放射線，能呈攝影及離化之作用，而加以研究。欲檢礦物能呈攝影作用與否，法以黑紙包攝影用乾板，遮避日光，載礦物於其上，置於暗室之內，數日乃至數週之後將此乾板現像視之即可。如此礦物為普通之物則毫不變化，如生變化，則此礦物明有能呈攝影作用之放射線。研究之結果，於鈾之化合物中，發見有此作用，更於作用大者，順次分析，終發見鐳之元素。此種物質

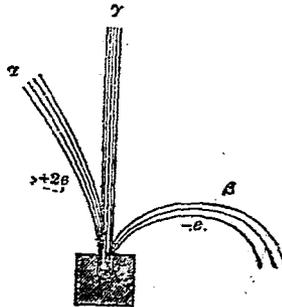
總稱之曰放射性物質，其特性稱曰放射能。

由上實驗，明示此等放射線，有透過通常光線不能透過之物質之性質，從數量的檢查其透過度，例如疊若干葉薄鋁箔，而檢查其透過之程度，則通過厚為二千分之一之鋁片一葉，而放射線之量減半，二葉復減其半，三葉仍減其半，至四葉以上則不易減，疊至百葉，僅減四葉時通過之量之半，蓋能通過最初三四葉者雖二三十葉亦通過無阻，故知有易被鋁片所吸收與難被吸收之二種，前者稱為 $\alpha$ 線，後者稱為 $\beta$ 線。

若以鉛箔代之，則 $\alpha$ 線與 $\beta$ 線皆被吸收，然仍有能呈離化及攝影作用之放射線之存在，稱之為 $\gamma$ 線。 $\alpha$ 線之透過度最小若以為一，則 $\beta$ 線之透過度百倍之， $\gamma$ 線之透過度千四百倍之。更自其他之研究，知 $\alpha$ 線帶陽電與陽極線同類， $\beta$ 線帶陰電，與陰極線同類， $\gamma$ 線與X線同類。

試將放射性物質所放射之 $\alpha$ 線，集於容器之中而觀之，則見有氮殘留。故其結果若非 $\alpha$ 線為帶有陽電之氮原子，以甚大之速度而飛出，則為組成 $\alpha$ 線之陽性之核，與陰性之電子結合而為氮，二者必居其一。

第四十七圖



據從來之學說，鈾與錒與釷，皆為一種之獨立元素而元素為最終之物，一元素不能變化為他元素，故自放射性物質飛

## 放 射 性 元 素 蛻 變 順 序

原子 號數	原子 價	元 素 名	鈾系	錒系	釷系
92	6	鈾	$U_2$ 294.2		
91	5	鈾 X <sub>2</sub>	$UX_2$ 294.2	$UZ$	
90	4	釷	$Th$ 230.2	$UY$	$Th$ 232.2
89	3	錒		$RaAc$	$RaTh$ 232.2
88	2	錒	$Ra$ 226	$Ac$	$MeTh_2$ 230.2
87	1			$AcX$	$MeTh$ 228.2
86	0	氣 (錒核)	$Ni$ 222	$AcEm$	$ThX$ 224.2
85	7				$ThA, Em$ 220
84	6	錒	$RaA$ 218	$AcA$	$ThA$ 216
83	5	錒	$RaC$ 214	$AcC$	$ThC$ 212
82	4	鉛	$RaB$ 214	$AcB$	$ThB$ 212
81	3	錒	$RaC'$ 210	$AcD$	$ThD$ 208

⇌ 放射 α 粒子者

→ 放射 β 粒子者

出  $\alpha$  線，若  $\alpha$  線果即為氦，則化學之根底，竟為所破，豈非一大要事？鐳之發見，為理學界所重視，其原因即在於此。至治病之作用，則未必有何等價值。由是觀之，元素非獨立之物，鈾經鐳及其他種種元素終至於鉛，此種現象，稱為物質之蛻變。

#### 第四十八節 元素進化說

物質蛻變之際，若氦飛出，因氦之原子量為四，故各元素之原子量，當順次成以四為等差之級數。事實上鈾之原子量為 238，鈾 X 為 234，釷為 230，鐳為 226，氣即鐳射氣為 222，第一變質鐳為 218，第二變質鐳為 214，第四變質鐳為 210，鉛為 206，略言之，鈾失三個氦原子，則成為鐳；鐳失五個氦原子，則成為鉛。

然則物質果自原子量甚大如鈾者先行發生，而後次第生氦，氦原子量較輕之物質乎？此種想像，理論上殊無趣味。不如以物質為先由簡單之元素而生，次第進化而至複雜較有秩序。此元素進化說之所以盛唱於今日也。

據天體物理學研究之結果，在幼稚之天體如星雲等，僅有氫、氦及星雲素等極簡單之元素。及進為恆星，而元素亦次第複雜，終發見有化合物存在。由是觀之，元素次第進化而至複雜，不安定之度，逐漸增加，終至於崩壞，此即放射作用之所由生也。

原子量較大放射性物質之原子，次第蛻變而化為鉛，若同

時原子量較小之他原子，亦進化而至於鉛，則此兩種之鉛間，可尋何等之差別乎？世之學者有懷此疑問而研究者，例如鈾之礦石中所含之鉛，若視為礦石結晶之後蛻變而成者，則當為比較的青年之元素，此鉛與老衰之鉛，果有同一之原子量與否？誠一疑問。實際上博黑米亞<sup>(1)</sup>產之鈾鉛與普通之鉛，其原子相差百分之三。一般吾人所測定之原子量，可視為種種之物混合之平均原子量。

綜合實驗之結果觀之，鈾經幾次放射 $\alpha$ 線及 $\beta$ 線而成為鐳，鐳更放射 $\alpha$ 線而化為氣（即鐳射氣），更順次蛻變而為第一變質鐳（ $RaA$ ）第二變質鐳（ $RaB$ ）第三變質鐳（ $RaC$ ）第四變質鐳（ $RaD$ ）等。此處所稱鐳變為氣，非謂鐳之原子同時皆變為氣也，個個之原子得任意蛻變，故自成鐳以迄蛻變為其次之原子，若稱為鐳原子之壽命，則其壽命當有長短之差，吾人雖不能知各個原子之壽命，然其平均壽命則易知之。

今設有 $N$ 個之鐳原子於此，隨時間之經過次第減少，若測定減至最初之半所需時間，則非難事。此時間稱曰半減期。鐳之半減期約二千年，鐳射氣之半減期不過四日弱。更由高等數學之證明，知此半減期，等於平均壽命之六成九分三釐，故鐳原子之平均壽命為二千六百年，鐳射氣之平均壽命為五日半。

(1) Bohemia

原子名  $U \longrightarrow UX \longrightarrow Io \longrightarrow Ra \longrightarrow Rn \longrightarrow$

平均壽命  $7,2 \times 10^8$ 年 36日  $1,5 \times 10^5$ 年  $2,6 \times 10^3$ 年 5.5日

原子名  $RaA \longrightarrow RaB \longrightarrow RaC, \longrightarrow RaD \longrightarrow RaE \longrightarrow PoI \longrightarrow$

平均壽命 4,3分 38分 28分 23,6年 5日 5月

由是觀之，生死之事，不限爲人類與動植物之現象，最簡單之原子，亦不免有此運命，特吾人通覽物質之全體，不能各偶見之，故以爲無生死而已。卽如人類若僅就中國人一點觀之，則僅見其次第增加，寧知其內部之有生有死耶？物質之內如  $RaC'$  最爲短命，其平均壽命不過一秒之百萬分之一，然則與此比較，人類之平均壽命爲五十年，決不能稱之爲短。

放射作用，唯原子量較大之物質，卽自鈾至鉛之間，曾經實驗。然據各方面之推論，有可信爲一切原子之共通性質之理由。唯鉛以下原子量較小之物質，原子之構造比較的簡單，故蛻變之信率亦少，因而平均壽命甚長，故吾人誤認之爲不生不死而已。

鉛更蛻變次第減其原子量，若至鐵屬，則幾達完全之安全狀態。此時蛻變之現象，可推察其成爲第二階級。易言之自星雲素及氦次第進化而至於鈾之際，鐵屬以下，幾全由安全之原子所集合，故其原子量皆爲氦之原子量卽四之倍數，或近於再加星雲素之原子量三之數。自鐵以上各原子，一面更進化而至於鉛，其中一部分復蛻變而歸於鐵，故鐵在於天體或地球之中最多，又進化至鉛以上者其不安定之度甚大，故

吾人甚易見其蛻變。

據地球物理學研究之結果，地球之內部，自密度言之，或自彈性言之，乃至自磁之現象言之，其大部分皆可推察為鐵屬。

更就四百四十三個之天降石而統計之，其成分之八成皆為鐵屬。隕石之中含百分之九十九以上之鐵屬者亦不少。故無論在天在地，鐵屬皆最豐富。

若元素進化說果確，則構成地質之一切物質，隨其原子量之多少而蛻變，故放射作用，即地球之內部亦當到處實現。據實際上之觀測，有名之放射性物質如鈾，釷，錒等，決不珍罕，地上地內，到處皆有少量分布。地下之水，尤以深處湧出之溫泉，溶解有多少

第 四 十 八 圖

之錒射氣與  
氦

氦之命名  
本為天素，初  
以為僅存於  
天體之中，地  
球上無之。今  
則地下噴出  
之井水，亦含  
有多量之氦。  
美國至立有



以採氦爲專業之公司，因氦可代輕氣而供輕氣球之使用故也。近日因放射之測定異常進步，五億石溫泉內雖僅含一合之鐳射氣，亦能檢出。鐳射氣爲一種氣體，一克之鐳每日能產生十分之一立方耗之鐳射氣，於冰點下六十五度液化，於冰點下七十一度而成有光輝之固體，故一名輝素，即呼爲氦。

### 第四十九節 原子之構造

古代德謨利圖所唱之原子即不可切體，僅有哲學之之概念而已，即使不然，但原子既爲物質之終極，在理論上已不能復論其構成矣。然十餘年前化學者所認之原子，已與此略異，以爲氫之原子與氧之原子，根本的各有相異之物性，故雖謂原子爲不可分爲更小之部分，然自然科學以性質的差別遠元於數量的差別爲本領，故由自然科學之立脚地觀之，此等不同之各種原子，更可由單純之同種元原子集合而成，一原子既由多數之元原子所構成，則當從元原子之數之多少，或成爲氫，或成爲氧，此種疑念，誠屬當然。

吾人正於此種推測之下，從事研究，適由真空放電，發見或種狀態之物質，既不屬於固體，復不屬於液體，亦不能視爲氣體，不得已稱之爲物質之第四狀態。更由放射作用之發見，知原子能自蛻變，已非單純之物，當有複雜之構造。

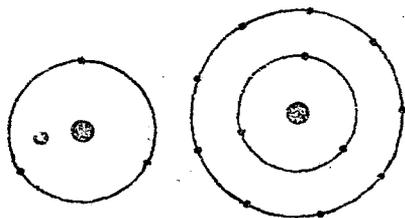
原子果由何構成乎？據博爾<sup>(1)</sup>之說，係由陽粒子與電子而

(1) Bohr

成。恰若月以地球爲中心而公轉，電子亦以陽粒子爲中心而公轉，其一個之體系，成一個之原子。然公轉於地球之衛星，只有一個之月，而火星則有二個衛星，木星土星則衛星更多，原子亦然，原子之內公轉於陽粒子之電子之數，自最少一個多至數十個，而有種種之差別，此即相異元素之所由生也。最簡單之氫原子只有一個電子。

其他原子，如氦公轉之電子，似有二個，即構成原子之電子數等於原子量之半，構成一原子之電子數，若在五個之內，則於同一軌道之上，隔等

第四十九圖



距離而公轉，故其狀態安定。若至六個以上，則由理論知其須分爲大小二軌道而公轉於其上，始得安定之狀態，若

達十七個以上，則須分爲三個軌道。例如電子之數若爲十三，則內部之軌道上當分三個，外部之軌道上當分十個。若爲十四，則內部四個，外部十個。故由十三個電子而成之原子，自其內部之軌道言之，則與由三個電子而成之原子有共同之性質。自其外部之軌道言之，則與由十個電子而成之原子類似。由是觀之，可知元素之週期律，自有其存在之理由。

自氫至鈾，原子總計雖有九十二個，然僅由中央陽粒子之荷電量，與公轉於其周圍之電子數而生差別。故若將各原子

從其原子量之順序而列之，以氫爲第一號，氦爲第二號，循序漸進，至鈾爲第九十二號，則如斯所得之原子號數，於順序之外當具有深遠之意義，例如構成某原子之陽粒子之電量，與原子之號數爲正比例是也。

從氣體運動說，二個原子所接近之最小距離，如視爲原子之直徑，則中央之陽粒子，僅占其萬分之一之小局部，故其他電子或線等，能自由通過於原子之內部——即陽粒子與電子之間。

由是觀之，原子非爲古人所謂之不可切體甚明，故元素與原子之定義，非改不可。即元素雖可視爲人工所不能破之最單純物質，而放射性物質之原子則自然崩壞，但其物理化學的作用仍與其他不能破之氫，氧原子，從同一之法則，故原子——不可切體——雖變爲可切體，而原子說仍不可放棄，至原子之存在，反可由實驗而證明之。

原子更可分爲陽粒子與若干電子之複雜體系，與太陽系及其他之天體相同。但在天體，由物質相互間之萬有引力而成體系。在原子則由陰陽二電間之引力而成體系。故同一系內，若有二個以上之電子存在，則互相斥，恰與二個以上之衛星互相吸引者相反；故原子安定上必要之條件，與天體有多大差異。

物質在高溫度所以呈發光之現象者，因原子之構造如是，其內部生電磁的振動故也。溫度高，即分子之運動烈，從能之

原				子				號			
號數	元素名	記號	原子量	號數	元素名	記號	原子量	號數	元素名	記號	原子量
1	氫	H	1.008	24	鉻	Cr	52.0				
2	氦	He	4.00	25	錳	Mn	54.93				
3	鋰	Li	6.94	26	鐵	Fe	55.84				
4	鈹	Be	9.1	27	鈷	Co	58.97				
5	硼	B	10.9	28	鎳	Ni	58.68				
6	碳	C	12.005	29	銅	Cu	63.57				
7	氮	N	14.008	30	鋅	Zn	65.37				
8	氧	O	16.00	31	銦	Ga	70.1				
9	氟	F	19.00	32	鍺	Ge	72.5				
10	氖	Ne	20.2	33	砷	As	74.96				
11	鈉	Na	23.00	34	硒	Se	79.2				
12	鎂	Mg	24.32	35	溴	Br	79.92				
13	鋁	Al	27.0	36	氙	Kr	82.92				
14	矽	Si	28.1	37	銣	Rb	85.45				
15	磷	P	31.04	38	銣	Sr	87.63				
16	硫	S	32.06	39	鈦	Yt	89.33				
17	氯	Cl	35.46	40	銻	Zr	90.6				
18	氬	Ar	39.9	41	鈾	Cb	93.1				
19	鉀	K	39.10	42	鉬	Mo	96.0				
20	鈣	Ca	40.07	43		?					
21	鈾	Sc	45.1	44	鈳	Ru	101.7				
22	鈳	Ti	48.1	45	銻	Rh	102.9				
23	鈳	V	51.0	46	鈳	Pd	108.7				

數 表

號數	元素名	記號	原子量	號數	元素名	記號	原子量
47	銀	Ag	107.88	70	鐳	Yb	173.5
48	鎘	Cd	112.40	71	鐳	Lu	175.0
49	銦	In	114.8	72	銻	Hf	178.3
50	錫	Sn	118.7	73	釷	Ta	181.5
51	銻	Sb	120.2	74	錳	W	184.0
52	碲	Te	127.5	75		?	
53	碘	I	126.92	76	銻	Os	190.9
54	氙	Xe	130.2	77	銻	Ir	193.1
55	鐸	Cs	132.81	78	鉑	Pt	195.2
56	鋇	Ba	137.37	79	金	Au	197.2
57	釷	La	139.0	80	銻	Hg	200.6
58	鈾	Ce	140.25	81	銻	Tl	204.0
59	鐳	Pr	140.9	82	鉛	Pb	207.20
60	釷	Nd	144.3	83	銻	Bi	209.0
61		?		84	鏷	Po	?
62	鐳	Sa	150.4	85		?	
63	釷	Eu	152.0	86	氫	Rn	222.4
64	釷	Gd	157.3	87		?	
65	銻	Tb	159.2	88	鐳	Ra	226.0
66	鐳	Dy	162.5	89	錒	Act	?
67	銻	Ho	163.5	90	釷	Th	232.15
68	銻	Er	167.7	91	鈾 <sub>2</sub>	UX <sub>2</sub>	234.2
69	銻	Tu	169.9	92	鈾	U	238.2

等分法則，各種自由度依機會均等之主義，等分其能，故分子外之運動若烈，則原子內之振動，亦準之而烈，故放強光。

原子雖由電子與陽粒子構成，從其配合如何，中性者雖單獨成一個之物質分子，普通則由陰性原子與陽性原子化合而成分子。無數之分子集合，從其形式而生結晶體液體氣體等之區別。

民國以前，以論分子以上之事，屬於物理學之範圍，分子以內之事，屬於化學，而區別之。至於今日則不特分子以內之事，即進而論原子之構造亦屬於物理學之領域。如此之大革命，由 $X$ 線與放射能之發見而啓其端。 $X$ 線與鐳，為學術界所重視，其原因蓋基於此。今日化學者亦研究分子之構造，而物理學者則更從他方面而研究之。蓋化學者努力於決定構成一個分子之原子之種別，而物理學者則研究原子配列之方法，詳言之，即努力於決定原子間之相對的位置及其距離是也。

## 第五十節 原子之配列

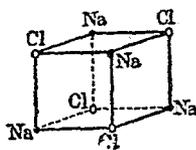
普通之光，若投射於迴折格子，則生干涉紋。然以 $X$ 線行相同之實驗則不成功，蓋因 $X$ 線之波長甚短，不過光之波長五千分之一，而普通之格子，其眼粗大故不迴折耳。然結晶體之外形，有一定之規律。自化學的立脚地觀之，同種物質之結晶形，不同形體大小，相對應之二面角，一定不變，而為互相相似結晶之一部如有變形，則類似之部分，亦作同一之變形。又結

晶之一面所切之軸之長，如各以  $a, b, c$  表之，他之任意之面，所切此等軸之長，如各以  $pa, qb, rc$  表之，則  $p, q, r$  必為整數，否則亦必以 2, 3, 4 等簡單整數為分子與分母。故一切結晶形，可總括為數個之種類，結晶體既可由外形而區別，故同一結晶形之種種物體，對於光之屈折，光之極化作用，熱之膨脹，及其他熱電等一切物理的性質，亦皆一致。故結晶物之外形，不僅皮相之關係。認為內部之固有物理的性質，從必然之結果表現於外亦可。

由是觀之，構成結晶體之原子，亦非亂雜集合，可推定其各從軸之方向，隔  $a, b, c$  之等距離作有規則之排列。果爾，則利用整列之原子，在理可作 X 線之天然迴折格子。若切結晶體為薄片，以 X 線投射之，因定距離排列之原子，與其間之空隙成一格子，故生迴折現象。如攝其影，則得明暗之模樣與干涉紋相當。據實驗之結果，由此模樣可反推迴折格子之粗密，即可推定結晶體內原子之排列方法。

據實驗岩鹽之結果，知鈉原子與氯原子交互並列於各立方體之頂點。然鈉之原子量為二十三，氯之原子是為三十五半，故岩鹽之分子比於輕氯之分子重五十八倍半。又一個氫原子之質量為  $1.64 \times 10^{-24}$  克，而岩鹽之比重為 2.17，其一立方厘米之質量為 2.17 克，故一立方厘米內岩鹽之分子數，為

第五十圖



為

$$2.17 \div \{58.5 \times 1.64 \times 10^{-24}\} = 2.24 \times 10^{22}$$

岩鹽一分子，由鈉及氯二原子構成，故一原子所占之體積，平均爲

$$1 \div \{2 \times 2.24 \times 10^{22}\} = 2.23 \times 10^{-23}$$

立方體。故立方體一邊之長，即二原子間之平均距離，爲

$$a = \sqrt[3]{2.23 \times 10^{-23}} = 2.81 \times 10^{-8} \text{ 厘米}$$

即約一寸一億分之一弱。

如是既知格子間之距離，故可照普通算定光之波長之法而算定 X 線之波長。據計算之結果，雖因種類而有長短之殊，大約爲上述距離之半。

更就岩鹽思之，其一個分子，雖由鈉一原子與氯一原子而成，然由 X 線研究之結果，知鈉與氯交互以相等之距離配列於各方。故就幾何學之見地而言，一個之鈉對於其上下左右前後六個之氯，皆處同等之位置，故鈉究與孰個之氯相結合而成分子，實無從判定。

若假定原子形爲球狀，各方向有相同之性質，則由上述之實驗，分子之概念當被否定。然綜合他方面各種之研究，分子之存在認有必要，故原子之形狀，決不能爲球形。然此等原子，非各方平等，有偏向於特殊方向之性質，故可視爲與此方向之原子構成一個分子。

如前所述，原子若果以陽粒子爲中心，一羣之電子公轉而成一個之體系，則電子軌道之面，當向一定之方向，宛與太陽系相似，故以原子爲偏平，亦屬合理。

更據白拉古<sup>(1)</sup>氏由結晶構造所決定之結果,以一億分之一種為單位,則各元素原子之直徑如下:

<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>Ba</i>	<i>Pb</i>	<i>S</i>
3.55	4.15	2.85	4.20	3.80	2.05

又一個原子,由公轉於陽粒子周圍之若干電子而成,引離其中一個電子所費之功之量,似當與核及電子之距離——即原子之半徑——為反比例。然此種之功,可由發生離化作用時必要之電壓而決定。故由實驗測定離化電壓,能反算原子之半徑。據最近之測定,以一億分之一種 ( $10^{-8}$ ) 為單位,原子之半徑如次:

<i>He</i>	<i>H</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Cu</i>	<i>Ba</i>
0.28	0.53	1.41	1.67	0.94	1.39

據他方面算定之結果,電子之半徑為

$$r = 1.38 \times 10^{-13} \text{ 厘米}$$

約合原子直徑十五萬分之一。設將構成鈉與氯原子之電子之直徑擴大為一尺,則構成岩鹽之鈉與氯原子,約距十四里許而並列為立方形。其中相鄰二個原子,構成一個分子,宛如駐紮山東河南直隸等圍之中某二圍為一旅相似。故號稱物體最小部分之分子,較之電子,其龐大直不可以道里計。

### 第五十一節 個體之質量

(1) Bragg

現今所採用爲質量單位之一克，即爲攝氏四度一立方厘米之水之質量。通常物體之質量，即由其體積或重量而決定之。密度之大小，可由亞幾默德之原理，測其比重而決定，密度既知之物體，僅測其體積，即能決定其質量。然如電子分子等極微之質量，或如地球天體等極大之質量，決非衡器所得而測，不特無可載地球之天秤，且重量由地球之引力而生，故謂地球之重量，已無意義可言。

吾人細分物質而得分子，更由分子而得原子，終達於電子，今日之所知，以電子爲最小。然電子一個之質量果爲若干克乎？電子之質量約爲氫原子千八百分之一。而氫原子之質量，因一克之氫所含原子之數，爲

$$N = 6.2 \times 10^{23}$$

故其質量，爲

$$M = \frac{1}{N} = 1.6 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

故電子之質量，不過

$$M_0 = M \div 1800 = 0.9 \times 10^{-27} \text{ 克}$$

然氫原子由中央之陽粒子與公轉之一個電子而成，故吾人若假定氫一原子之質量，爲中央陽粒子之質量及電子質量之和，因電子之質量僅爲千八百分之一，可以省略，故原子之質量，可視爲密集於中央之一小局部。在其他之原子，公轉之電子之數，雖有增加，然電子質量之總和，決非中央陽粒子之質量可比甚明，故上之說明，可適用於一般之原子。

據萬有引力之法則，二物體間之引力，與各自質量之相乘積爲比例，與二物體間距離之自乘爲反比例。故若自由懸甲體於地球之上，則受相互間引力之作用而取一定之方向，即鉛直線之方向是也。若置乙體於甲體之附近，則甲乙兩體之間，亦有引力，故甲離鉛直線之位置而接近於乙。故依照相當之裝置，由此傾斜，測定甲乙間之引力。如更知自地球重心至實驗場之距離，及甲乙二物體間之距離，並甲之質量，乙之質量，則可算出地球之質量。據實驗之結果，地球之質量，比於同體積之水球，約重五倍半強。

然地球表面岩石之密度，比水平均不過大二倍有半，故地球之內部，密度甚大，推定其大體與鐵相同。

月與地球之共同中心，回轉於太陽，上弦與下弦之際，月與地球太陽，成爲直角三角形，此時之太陽，傾於月約六秒餘，故知共同中心之位置。故地球與月質量之比，可以推定。其結果爲81.5。

其次地球以三百六十五日六時間公轉於太陽之周圍，月以二十七日十時間公轉於地球之周圍，據克卜拉<sup>(1)</sup>之法則，此等質量之比，各與公轉週期之自乘爲反比例，軌道半徑之三乘爲比例，故可算定太陽之質量。據計算之結果，知爲地球質量之三十三萬二千倍。

第二章之中，曾謂變光星者，甲乙一對之恆星互相公轉者

---

(1) Kepler

也。其公轉之週期，與質量與其軌道之半徑之間，亦從克卜拉之法則，故利用此法則，先視太陽與地球爲一對之恆星，若以其公轉之週期即一年爲時之單位，地球軌道之半徑爲長之單位，太陽之質量爲質量之單位，則由景之變位能知變光星公轉之週期，及其軌道上運動之速度。更由此二者能知軌道之半徑，故變光星之質量亦能算定。例如狼星，對於暗星之同伴者以五十二年餘爲公轉之週期，兩星間之距離，爲地球與太陽間距離之二十一倍，其質量約與太陽之三倍半相等。

吾人於本章論重要之物性及測定質量之方法，並明物體之構造矣。然關於物質之本體爲何？及如何而生質量？種種根本之問題，尙毫未提及。若論此問題，當先知電磁之作用。易言之，即非知電磁爲何物，則不能窮物質之本原。

## 第六章 電磁作用

## 第五十二節 磁

如以鐵片近或種磁石，則即密著於其上，此事自遠古時已知之。具此性質之礦石，稱曰磁石。若使二個磁石互相接近，則有時相引，有時相斥。同一磁石片之兩極，常帶有反對之性質。吾人認磁極之作用，為因其極帶有磁之特性所致，並從磁極作用之強弱，以測磁量。故磁亦有正負二種，與電相同。連結兩磁極之直線，稱曰磁石之軸。

試將磁石片懸之，使能自由變其方向，則常指南北而靜止，故稱向北者曰正極，向南者曰負極。

如懸小磁石於大磁石之附近，使之自由運動，則小磁石之正極，常為大磁石之負極所吸引，正極所排斥。故小磁石對於大磁石常取一定之方向而靜止。即兩磁石之軸，在同一平面上，取反對之位置而安定。由此理推論，知地球亦為一大磁石，正極向南，負極向北。故懸於地上磁石片之正負兩極，由地球磁石之作用，而靜止於南北之方向。

由實驗上知二個磁極互相吸引之力，與相互間距離之自乘為反比例，其比例常數，從空間之媒質而變化。帶有同量之磁之二極在真空中相距一輻之處，其互相作用之力，若為一達因，則稱此等磁極為各帶有單位量之磁。磁量為 $m_1$ 與 $m_2$ 之兩極，相距為 $r$ 時之力，可以

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2}$$

表之，式中之常數  $\mu$  之值，為媒質所固有，故稱之曰媒質之透磁率。透磁率通常近於一，較一大者稱曰常磁性體，小者稱曰反磁性體。常磁性體之中，透磁率之值甚大者，特稱曰強磁性體。例如鋁之透磁率，為 0.99983，故鋁屬於反磁性體；養氣之透磁率，為 1.000015，故養氣屬常磁性體。同為大於一之中，鐵之透磁率達於五千乃至一萬，故鐵屬於強磁性體。

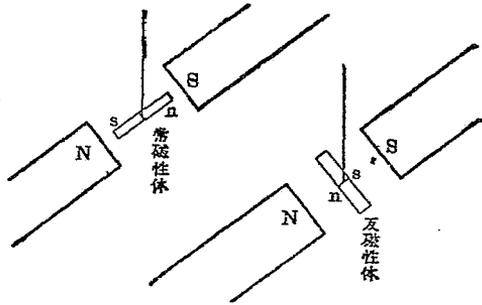
磁性作用之範圍，稱曰磁場。於磁場中之一點置單位正磁極，以其作用之力，測定此點之磁場之強。毫無拘束之正磁極，在磁場內運動之通路，表示是處磁力線之位置。故地球磁石之磁力線之方向，在中國大約自北向南。懸於磁場之磁石，其軸取與磁力線同一之方向而得安定之位置。通過垂直於磁力線之單位面積上之磁力線之數，與是處磁場之強，定為有同一之數值。

磁力線若貫通於磁性體，則生新磁性，稱曰感應磁。例如以鐵片使接近於磁石之正極，則由感應，近於磁石之端成為負極，遠於磁石之端成為正極。故此鐵片臨時亦成一個磁石。鐵片既成磁石，而異名之極又相接近，故為原有之磁石所吸引。嚴格定之，非鐵與磁石互相吸引，乃鐵由感應作用先成臨時磁石，而後二磁石互相吸引是也。鐵片由感應臨時成為磁石之後，若取出於磁場之外，即失磁性，成為普通之鐵。若以鋼行同樣之實驗，則在磁場之內，所生感應之磁，雖較弱於鐵。然若

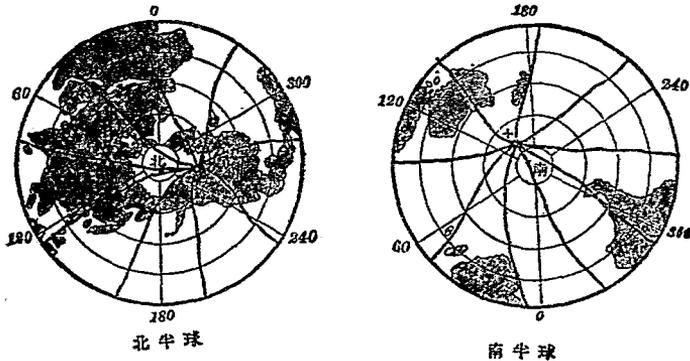
取出磁場之外，仍不失其磁性，永久成爲磁石。

次就一片之鋁而行同樣之實驗，則亦因感應而生磁，但接近於原有磁石正極之端，成爲正極，遠於正極之端，成爲負極。故與原有磁石，互相反斥，此常磁性與反磁性所以有區別之必要也。由是觀之，愛憎好惡之念，即物質亦有之，非人類特有之性質也。

第五十一圖



第五十二圖



### 第五十三節 地球之磁

磁針所以常指南北者，因地球上之各點，皆在地磁之磁場內故也。磁場之強度，雖因時地而有變化，然在較狹之範圍較短之日月，地球之磁場，可視為一定。通過任意點包含地球磁場之力線之垂直面，稱曰該處之磁子午面。此面與星學上子午面所成之角，稱曰偏角或方位角。故磁針不指正北，而有偏斜。

偏角因地而不同，磁針或偏於東，或偏於西，鮮有指正北者。吾人若從磁針所示之方向北進，不能達地球之北極，而至北美洲北方布西亞<sup>(1)</sup>半島。蓋因地球若視為一大磁石則其負極在北緯七十三度三十五分東經二百六十四度二十一分之地下，去北極迤南約五百里。

取鋼一片，使於磁子午面之垂直軸上，自由而回轉之，若調整其重心，則取正南北之位置作水平而靜止。次由感應使此鋼片化為磁石，仍置於前處，雖大體仍指南北，然不靜止於水平之位置，在我國南端向上北端向下。此時磁針與水平面所成之角，稱曰伏角。北進則伏角次第增加，至於地磁負極之處，則為九十度，磁針遂致直立。反之，南進則伏角次第減少，至南緯七十二度三十五分，東經百五十二度三十分之地點而再

(1)Boothia

直立，此地點即與地球磁石之正極相當。

雖在同一之處，偏角、伏角及磁力之強度，亦非一定，隨歲月而變化。例如法國巴黎之偏角，在西歷千五百四十一年，為東七度半，在千八百十四年為西二十二度半，二百七十年之間約生三十度之變化。故十六世紀之中，從磁石所示之方向，朝南而建之屋，至十九世紀之初，更以磁針測之，則偏西三十度矣，豈非一奇異之現象耶！

地磁不特因時間之經過而生變化，並隨季節晝夜之變化，亦畧有增減。有時且因所謂磁狂突然大起變化。此種現象，多亘全球同時發生，其原因當在地球以外，與太陽面上之黑點及紅焰之出沒等太陽之活動有直接關係。自太陽放射之電子，其一部若近於地球，則受磁場之作用，沿磁力線，流於正負兩極之附近而發光，此光與蓋斯拉管中低壓放電之際所生之光相同，即所謂極光是也。此時正負兩極，一面呈極光之壯觀，一面起電磁之現象。故不特使地磁起一大變動，地中並生電流，致電信電話全被擾亂。昔瑞西嘗於此際，利用自然發生之地下電流，而打一音信之電報。蓋因電子之運動，成為電流而生磁場，又因磁場之變化而生感應電流故也。

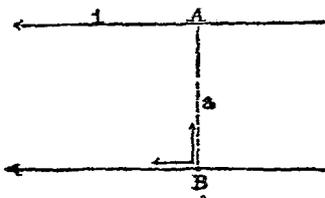
#### 第五十四節 電磁力

電流通過之時，附近之磁針，受其作用而生傾斜，此事可由實驗證之。蓋電當靜止，則僅其附近成為電場，若以極大之速

度運動時，則生與運動方向有一定關係之磁力線，而其附近化爲磁場。即電流之附近，既生電場又生磁場，故置於此種電磁場之磁力，受其作用，稱之曰電磁力。

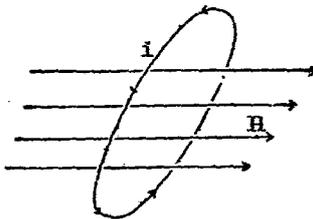
電流  $i$  於紙平面上自右至左以一直線通過之時，其下隔  $a$  之距離處， $B$  點上磁場之強，爲  $\frac{2i}{a}$ ，其方向爲自紙背向於表面。例如電流自北至南通過於架空線之際，其直下之磁力線，則自西向東，磁場之強度，與電流爲正比例，與由電線之距離爲反比例。故在此電線下之人所持之磁針不指於北而偏於東。故於電流附近，若欲以磁石決定方向則必生誤差無疑。

第五十三圖



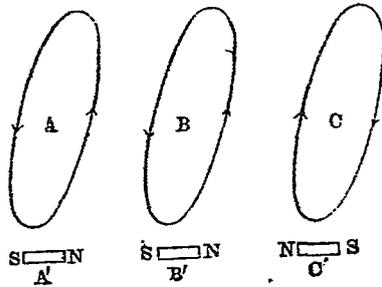
電流  $i$  所通之輪道若爲圓形，則磁力線  $H$  當垂直於其面，電流  $i$  方向，如與時計之運動方向相反，則磁力線  $H$  之方向，在圓周內爲自時計之裏向表，在圓周外爲自表向裏。故地下若有與太陽共同自東向西之電流，則在理當生如今之地磁。電子荷負電，一切物質皆含有電子，故由地球之自轉，構成地球之岩石內之電子自西向東而運動。然負電自西而動於東，與電流自東而通於西相同，故地磁可視爲地球自轉之必然結果。

第五十四圖



電流通過之輪道，可視為與輪道同形之薄磁石，由上述之事實自明。故同方向通電流之  $A, B$  二個輪道，恰若  $A', B'$  二個磁石之異極相接而互吸引；異方向通電流之  $B, C$  輪道，恰若

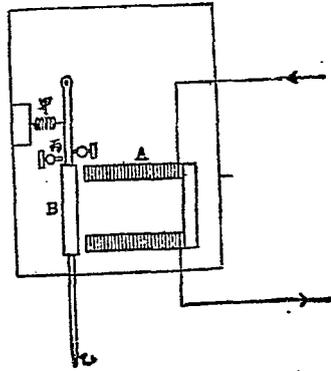
第五十五圖



$B', C'$  磁石之同極相接而互反斥。又由電流而生磁力線，由磁力線而生感應磁，故若置磁性體於電流附近，則由感應而成磁石，稱曰電磁石。

若以絕緣之金屬線迴卷軟鐵  $A$  之周圍數重，為輪道而通電流，則由前述之理，此軟鐵  $A$  成為電磁石。此際如有第二軟鐵片  $B$  在其附近，則亦由感應而生磁石，故  $AB$  兩磁石互相吸引。其次若斷電流則電磁場消失， $A, B$  皆復歸於軟鐵之舊狀而喪其吸引力。此種事實，各方面多應用之。俗稱二十世紀之文明，為電之時代；然單獨利用電流者，不過電燈電鍍之小範圍而已，其大部分則應用電

第五十六圖



磁相互之作用也。

電磁石  $A$  與  $B$  互相吸引，若適當利用其引力，則可使之爲功。電鈴、電話、電報及電車等，其外形雖全相異，然自物理上觀之，其原理則一，特工學的之考案畧有差異而已。上圖軟鐵  $B$  若由發條(甲)安於適當之位置，而通電流，則由電磁之作用，急爲  $A$  所吸引。故若有鈴在  $B$  之尖端(乙)附近，則擊之而生響。 $B$  乃電輪道之一部，爲  $A$  所吸引，故若於丙點之處調整之使斷此輪道，則電磁力於擊鐘之時消失，由發條之彈力復於原位。然因電流再通，故擊鐘斷續不絕，即電鈴之裝置是也。

在電報機， $B$  不爲輪道之一部，若置筆尖於乙之尖端，於裝鈴之處以時計之裝置使紙片運動以代之，則發信通電流之時， $B$  爲  $A$  所吸引，故筆尖劃黑線於紙片。若將電流斷續之時間適當加減之，則受信局之紙片，劃有由點與線而成之符號。



實用上此等符號，不必印於紙片，熟練之受信者，聽與此符號相當之音響，即能了解。又或不藉符號，竟作文字於打字機之上。

在電話，若向送話機發音，則因音而薄板振動，使與板接觸之炭粒，變其對電之抵抗，故所通之強度，隨聲音而變化。其次將電流流入受話機內，則生電磁力而起電場之變化，內部之鐵板因而振動，使空氣共振發爲音響。

由是觀之，在用電磁作用之機械，電流通過於軟鐵  $A, B$  之

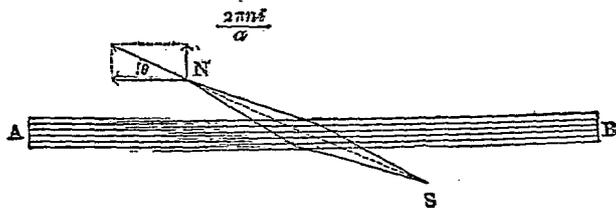
時務使化爲強磁石，爲有利之條件；及電流斷絕之時，務使卽失磁性，亦爲必要之條件。設爲永久磁石，則毫無用處矣。

### 第五十五節 電之單位系

吾人嘗由兩電在靜止之位置時其間作用之力，定電量之單位，且以此爲基本，而引導關係於電種種之量之單位矣。例如由輪道上一點之正斷面一秒間所通過電量之多少，而決定電流之強弱是也。如此之單位系，稱曰靜電單位系。

然電流與磁之間既有電磁作用，故以磁量爲基本，亦可以定關係於電種種之量之單位。例如電流通過於單位半徑之圓周上時，可由其弧之每單位長上所通過之電流，對圓周中心單位量之磁所作用之電磁力之強弱，而決電流之大小。今若懸磁針於有一定強度( $H$ )之磁場內則其軸取與磁力線一

第五十七圖



致之位置而靜止。次以此磁針爲中心，作卷線  $AB$  使其面含有磁力線  $H$  以爲輪道，而通電流；則所生之電磁力  $F$ ，作用於磁針，生  $\theta$  角之傾斜而靜止於  $SN$  之位置。因

$$F = H \tan \theta$$

故若觀測  $\theta$ ，即能算出電磁力  $F$ ，並可知此際通於輪道之電流之強度。應用以上原理，可得一種之電流計。如此以電磁作用為媒介由磁量單位而誘導者，稱曰電磁單位系。

實際上電之應用，以電流或電磁作用為主，故實業界之所採用及通俗上所知關係於電磁之單位，皆以電磁單位系為基本也。但如固執厘克秒之單位系，則其值或為過大或為過小，故以十之整數幂乘之而後採用。即就電流而論，若從電磁單位系，則電於半徑一厘米之圓弧上流一厘米之長，且其作用於中心之單位磁極之力，為一達因時為電流之單位。實用上以其十分之一為單位，稱曰一安培或略作安。又電抵抗之單位一歐為厘克秒單位系之十億倍；電勢差即電壓之單位一弗，為厘克秒單位系之一億倍。

靜電單位系與電磁單位系之差異，果在何處乎？不外一方以靜止之電為出發點，而他方以磁為出發點是已。然磁之作用，畢竟為電以甚大之速度而運動之電流所生現象，故其結果，即以靜止之電為標準抑以運動之電為標準之差別而已。故以兩單位系各測同一之量，其所得數值之相異，當直接與形成電流之電即與電子之運動速度相關連。據實測之結果而計算之，此速度為每秒三十萬呎，適與光之速度相等。而此決非偶然一致，從現今之學說，光亦為一種之電磁波，故其速度相同，實為理論上當然之結果。

## 第五十六節 感應電流

電之輪道，與相當於此之磁石，有同一之作用；故若置之於磁場，則其面當取垂直於磁力線之方向而靜止。今置輪道於水平，使電流從與時針相反之方向而通之，若以輪道之上方為表面，下方為裏面，則磁力線自輪道之裏面通過輪道之表面，如此通過之磁力線之數，取最大之位置而靜止。故磁場若不一樣，此輪道向磁力線密集之點而運動；又輪道若能伸縮自如，則當自伸而增加其面積，務使貫通於此之磁力線，其數增多。

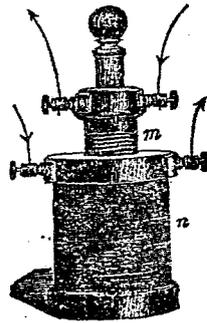
欲使輪道如斯而動，則必須有力作用。詳言之，置於磁場之電流，當有一種之力，作用於其間，方向垂直於含有磁力線與電流之平面，其大與兩者間之角之正弦為比例。故兩者若平行則等於零，若垂直則為最大。又若將磁場內之輪道，人為的使其移動，且令貫通其面之磁力線增加其數，則輪道之內，自能發生電流，稱之曰感應電流。感應電流之強度，與單位時間內磁力線數變化之多少為比例；其方向因磁力線數之或增或減，當然完全相反，磁力線增加時，電流之方向，恰與增加之磁力線相反，其作用不啻互相抹殺。

地球上到處有地磁之磁場，故若動輪道則生感應電流。若更利用此電流以使磁場增強，則生更強之感應電流。吾人使用此種電流可得種種之功，為當然之事，此功之源即最初動

輪道時所施之功是也。

如圖有  $m$  及  $n$  二個卷線之時，若通電流於  $m$ ，則其附近成爲磁場，此磁場之磁力線貫通  $n$  卷線，故  $n$  生感應電流。其次若斷  $m$  電流，則磁場消失，故貫通於  $n$  卷線磁力線亦消失，此時發生反對之感應電流。以上爲  $m$   $n$  兩者間之相互感應，當  $m$  電流增減之際，根據磁場之磁力線貫通  $m$  卷磁者在理亦當增減，故感應電流亦當發生於  $m$  自身之內，稱之曰自己感應。當切斷電流之際，由自己感應而生之電流，其方向與欲使最初之電流繼續之方向相同，宛如電亦有惰性之觀。自外觀

第五十八圖



上言之，甲乙兩體宛如孤立而無關係，但因有相互感應之作用，故甲所起之變化，影響必及於乙。此現象不限於電磁而已，在論宇宙間之現象上有重大之意義，此吾人所當留意者也。

由貫通於輪道內之磁力線，或磁之感應線之增減，而生感應電流，故不於一定磁場之內而動輪道，即固定輪道而變磁場，亦當生同一之結果。然一樣磁場之內，若置強磁性體如鐵則磁力線亦密集於此。故如第五十八圖置鐵片於由  $m$  卷線所生之磁場之內，而動此鐵片，則雖不動通過  $m$  卷線之電流，而磁力線亦或集或散，故貫通輪道內之磁力線，致受變化，而發生感應電流。故雖動同一之鐵片，亦因附近有無輪道其所

需之功亦大有差異。

### 第五十七節 電磁波

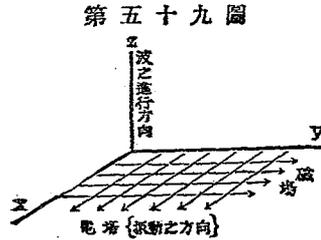
欲發生多量之感應電流，當將輪道之一部之卷數特別加多，然後於磁場內轉動之，卷數愈多，則所起之感應電流愈強。電燈電車等所使用之電流，不問其為水力或火力，概取之於發電機，即本上述之原理而得之感應電流，鮮有取之於化學作用之電池者。所謂水力與火力，乃一種動力，使發電機之主要部之卷線，回轉於磁場之內。

磁場上以等角速度迴轉卷線之際，所生感應電流之強度，不能一樣。蓋因等角速度回轉之時，所通過磁力線數之變化，本非一樣，若其初增加則非至達於極大之地位增加不已，既達於極大值之後，立即漸次減少，以達於最少，照此順序由極大減至極小，又由極小增至極大，成週期的之變化。故此時所生之電流，亦為週期的。如此之電流，稱曰交流。但用適當之裝置，不難使成直流。

如第五十八圖，將甲乙二個之卷線相重，而通交流於甲，則由此所生之磁場，成週期的之變化。故乙所發生之感應電流，亦為交流；此新生之交流，因其卷線回數之多少，較之甲卷線中之電流可強可弱，故所生電流之強弱，可從吾人之意思而定之。但電流弱則電壓低；強則電壓高，通常因變化電壓之目的而使用此種裝置。故稱之為變壓器。如由變壓器能使電流

化弱為強，則外觀上似可由此增加電能，然電壓為“能常住定則”所支配而變化，故所成之功，仍一定不變。

電場由媒質之變形而有勢能，磁場亦然，故亦有相當之勢能。帶電之能，儲於媒質之變形中，故生交流之際，其變形恰若普通彈性體之振動，而成週期的變化。磁場亦與電場同受週期的變化，故生電磁波，若用適當之裝置使之放電，則更能起激烈之電振動，而為傳播電磁波之源。如此裝置，稱曰振動器。電磁波之確實存在，可由稱為檢波器之簡單裝置證之。據實驗之結果，知電波與磁波皆屬橫波，而垂直於其振動之方向；其速度等於電媒常數與透過率相乘積之平方根。通常合此二者，單稱之曰電波。



熱能得以輻射線之形，不藉導體而傳播於各方；電能亦然，不藉導體之助，由電磁波而輸送於遠隔之地。然在適當電壓之下，金屬之粉末及某種之礦物，若遇電磁波，則其接觸面之電抵抗，急遽減少，突然可通電流。無線電報，即利用此事實而發明者也。

電磁波傳播之際，單位體積內所儲電場之能與磁場之能相等，且以等於此能之壓力，作用於電磁波進行之方向，稱之曰輻射壓。光亦電磁波之一種，故光對於入射之面，當有光壓

作用；每單位面積作用之光壓，與是處單位體積內所儲之能之量相等。故日光若直射於微細物質，則有時其所受之太陽引力，轉不及其所受之光壓之斥力。蓋光所照之面積，與粉末半徑之自乘為比例，其質量與三乘為比例；而光壓則與半徑之自乘為比例，引力與其三乘為比例故也。

彗星通常因有長大之尾，故呈一種奇異之現象，使吾人之祖先恐怖。然多數彗星就軌道上種種之位置測之，其尾常向於太陽反對之側，即因光壓之作用故也。若構成其尾之物質，為密度迥不相同數種物質之混合物，如氫與鐵等，則對於同一引力所受之作用不同，光壓因亦有多大之差，故致分離。有時一個彗星所以生二三之尾者，即依此理，因其尾由異種之物質所構成故也。

### 第五十八節 電子說

綜合各種電之研究，而統一之學說，則電子說是也。茲試述其概念。電量有一定之最小限，非吾人所能任意增減。即電亦為粒狀非連續者，此粒狀之負電稱曰電子。若以  $e$  表構成一個電子之電量，則其值如下：

$$e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位} = 1.59 \times 10^{-29} \text{ 電磁單位}$$

若以電子為球狀體，而算定其半徑，則其值如下：

$$a = 1.88 \times 10^{-13} \text{ 厘米}$$

構成原子之電子拘束於一定之位置者，稱之曰束縛電子。

此外尚有一羣電子在物質之內，自由運動於分子之間者，稱之曰自由電子。攝氏零度時，自由電子之運動速度，大約如下：

$$v = 1.12 \times 10^7 \text{ 浬/秒}$$

此等自由電子平時亂雜運動毫無制限。然因某種之理由而限定其運動方向之時，則其物體呈帶電之現象，或生電流。

自由電子運動之際，不特互相衝突，且與分子相觸而交換其動能。故自由電子若僅向一方運動，則生電流之外並能傳熱。此電之良導體，所以亦為熱之良導體也。

電子之平均行程，因物質之種類及熱之高低，當然差異。攝氏零度之白金，為

$$l = 1.54 \times 10^{-6} \text{ 浬}$$

故一秒間衝突之回數，為

$$z = \frac{v}{l} = 7.3 \times 10^{12}$$

即每秒約衝突七十三萬億次。

如假定太陽系為一個原子，則遊星與束縛電子相當，有拋物線的或雙曲線的軌道之彗星，與自由電子相當。因彗星之往來，太陽系與他星界之間，生能之授受，分子之間，亦因自由電子，而能亦得授受。

束縛電子之公轉運動，為輻射線之起源。故各元素從構成原子之電子之數及公轉之週期等，而放射固有之輻射線，生獨特之景。

原子必有公轉之電子；而電子之運動，生垂直於軌道面之

磁場，故一切物質之原子，其自身已成一個小磁石。此等無數之小磁石，亂雜運動，故自全體觀之，似不帶磁性。若用適當之方法，能使原子之方向限於一方，則其物質，成爲磁石。例如置於磁場之軟鐵，所以由感應而生磁石者，因其分子從磁力線之方向整列故也。

如此整列之原子，永久保其位置者，則爲永久磁石，然普通之物，若置磁場之外，則復爲亂雜之運動，而失其磁性。又雖永久磁石若熱至高溫度，使分子生激烈之運動，或加打擊，機械的使分子振動，當然亦失其磁性。

### 第五十九節 質量之變化

電當靜止，不過其附近成爲電場；若電運動而爲電流，則更生磁場。磁場若亦如電場而儲能，則此磁場之能果何自而生乎？帶電所費之功，可化爲電場之能，故使電運動所費之功亦可化爲磁場之能，其理正同，不難解答。易辭言之，吾人欲使靜止之電運動，必須費相當之功，即欲以加速度  $A$  與電，則必須以力  $F$  作用之。

然從牛頓之運動法則，加力  $F$  而生加速度  $A$  時，其質量爲

$$M = \frac{F}{A}$$

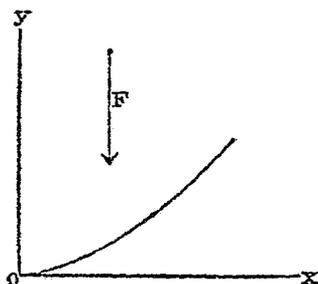
故電亦有與此相當之質量。如此，由電磁說所引導之質量，稱曰電磁質量，故電子亦有相當之質量。真空放電之際所生之陰極線，不過爲自陰極板飛出之電子中自由運動行程最大

之一羣而已，故據陰極線之研究，可知電子之質量。陰極線因為甚大速度而運動之電子羣，故受電磁力之作用。詳言之，因其有電，故受電場之作用，而運動之途彎曲；又因其為運動之電，即一種電流，故與磁石相同，亦受磁場之作用，而運動之途亦當為此而彎曲。

先就電場  $F$  之影響論之，如電場與  $y$  軸平行，而電子與  $X$  軸平行運動之時，因電子之

第 六 十 圖

荷電量為  $-e$  故  $F_e$  之力沿  $y$  軸而作用。故其軌道之形，恰與重力作用時向水平拋物體於空間相同，而為一種拋物線。即若以  $v$  表電子之水平速度，以  $m$  表質量，則出發後  $t$  秒之位置如下：



$$x = vt; \quad y = \frac{1}{2} \frac{F_e}{m} t^2;$$

由兩式將  $t$  消去，則軌道之形，可以

$$y = \frac{1}{2} \frac{F_e}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2$$

表之， $x$  及  $y$  可於直接實驗之際測定之， $F$  亦得測定，故可算定

$$\frac{m_e}{e} = \frac{F}{2} \frac{x^2}{y} = A$$

次就磁場之影響言之，電子之荷電量為  $-e$ ，速度為  $v$  之時，

垂直於軌道面之磁場之強為  $H$ ，則由此所生  $-evH$  之力，使電子為圓運動。又作用於電子之遠心力，當盡與此平均之圓。若以  $r$  表圓之半徑，則當得如下之結果：

$$-evH + \frac{mv^2}{r} = 0$$

然  $H$  與  $r$  可由實驗測定，故可算定

$$\frac{m}{e}v = Hr = B$$

故自

$$\frac{m}{e}v^2 = A; \quad \frac{m}{e}v = B$$

二式，由

$$\frac{A}{B} = v; \quad \frac{A}{B^2} = \frac{e}{m}$$

能算定  $v$  與  $\frac{m}{e}$  之值。

據實驗之結果，

$$\begin{aligned} \frac{e}{m} &= 1.77 \times 10^{17} \text{ 電磁單位} \\ &= 5.31 \times 10^{17} \text{ 靜電單位} \end{aligned}$$

於此見同一之量，用兩種之單位系表之，其數值相差甚遠。依第五十五節之說明，其比

$$\frac{5.31 \times 10^{17}}{1.77 \times 10^{17}} = 3 \times 10^{10} \text{ 樞/秒}$$

為光即電磁波之速度。又此處所得電子之速度  $v$ ，比於光之

速度，約為十分之一。電子之荷電量  $e$ ，可由電解及其他方面測定而知其值。

$$e = 4.77 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位,}$$

故電子一個之質量

$$m = e \div \frac{e}{m} = 0.9 \times 10^{-27} \text{ 克}$$

此蓋構成質量之最小部分也。

然更據精密測定之結果，質量非一定不變，從其速度之大小而異。例如 白斯特馬耶<sup>(1)</sup> 氏就  $\beta$  粒子觀測之結果，以光之速度為單位以  $v$  為粒子之速度則其值如下：

$v$	0.1951	0.2469	0.3222
$\frac{e}{m} \times 10^{-7}$	1.697	1.678	1.643

即粒子運動之速度自光之速度約五分一增至約三分一時，其質量約增三十分之一。

質量不必為物質所固有，電所以亦有質量者，畢竟因質量由電磁作用而生，與媒質含有之能共相增減之故。以加速度給與物體之時，動能增加，故與此相當之質量，在理亦應增加。若以  $E$  爾表能之增加，則由此而生質量之增加為  $\frac{E}{c^2}$  克， $c$  表光——即電磁波——之速度，其值為

(1) Bestmeyer

$$3 \times 10^{10} \text{ 瓩/秒}$$

故靜止時一尅之砲丸,若每秒以百呎之速度而發射,則其時所有之動能,爲

$$5 \times 10^{-10} \text{ 克瓩}^2/\text{秒}^2$$

即五十億爾;因此所生質量之增加,爲

$$5 \times 10^{10} / (3 \times 10^{10})^2 = 5.6 \times 10^{-11} \text{ 克}$$

不過十億分之五十六尅,其量甚微,決非天秤所得而測;故須如前例之粒子,達極大之速度,質量之變化始明。

要之物體之質量,以靜止時爲最小,運動時隨速度而增加。然運動之時作用於物體之力,雖其量相同,但因作用於運動之方向,或垂直之方向,其結果不能同一,至爲明顯。故運動體之質量,就運動之方向測之,與就垂直之方向測之之時,在理亦不一致。故有縱質量與橫質量之區別。

一克之質量,與

$$9 \times 10^{23} \text{ 爾} = 2 \times 10^{11} \text{ 加路里}$$

之能相等,故物質之原子內,殆含有無量之能,特吾人未握有開此寶藏之鑰而已。放射作用,乃原子內之能自然飛出於外界之現象,他日如發明由人爲助成放射作用之方法,則宇宙之經濟界,當起一大革命。

## 第六十節 羅倫徹收縮

今有能以  $c$  之速度游泳於靜水之人,如於水流之速度爲

$v$  之河，順流泳  $l$  之距離，則所需之時間，爲

$$t_1 = \frac{l}{c+v}$$

若更逆流而泳，則需

$$t_2 = \frac{l}{c-v}$$

之時間，故往復所需之全時間，爲二者之和。

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

若從河流直角之方向而橫泳之，則往復於  $l$  之距離所需之時間，往與復相等，而其合成速度爲  $\sqrt{c^2 - v^2}$ ，故其全時間爲

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

故兩者所需時間之比，爲

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

即從水流之速度對於游泳之速度之比而變化。

光以每秒三十萬浬之速度，傳播於真空之中，前既述矣。然地球非靜止者，常以三百六十五日餘之週期公轉於太陽之周圍，而光通過於軌道之半徑，須四百九十九秒，故軌道上地球之速度，爲

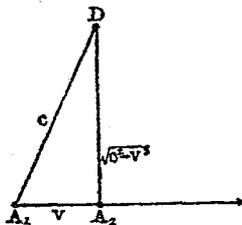
$$v = \frac{2\pi \times 499 \times 3 \times 10^{10}}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \doteq 3 \times 10^6 \text{ 浬/秒}$$

即每秒約三十萬杆。故光於地球上以  $c$  之速度往復於  $l$  之一定距離所需之時間，從其行路為平行於地球運動之方向，抑為垂直之方向，而生恰如前例之差。然據邁克爾遜<sup>(1)</sup>及莫勒<sup>(2)</sup>兩氏實測之結果，不見此差。即無論於運動系抑於靜止系皆以同一之速度而傳播。光之速度不論其為運動抑為靜止，對於一切觀測者皆為同一，易辭言之，即雖加減觀測者或發光體之運動速度，然其結果，於光之速度，無所增減。此事在迄今之計算，唯無限大始有此特別性質。然光之速度，非無限大，每秒約三十萬杆，故於此生一大問題。

速度由距離與運動所需之時間之比而定，故速度上生如此不可解之事實，畢竟為距離與時間之測定，二者全有疑點，或其中之一，有未曾完備之處。

第六十一圖

今自  $A_1$  發光以  $v$  之速度而運動，單位時間之後若至於  $A_2$ ，則其時到達於  $D$  之光，自運動之  $A_1$  觀之，為有  $c$  之速度；自靜止之  $A_1$  觀之，雖亦有  $c$  之速度，然較其距離，



則得  $A_1D$  與  $A_2D$  之比，即  $1 : \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 。此時設吾人假定單位

(1) Michelson (2) Morley

尺度，非爲不變，靜止時單位長之尺度，較運動時收縮  $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$  則光速度之不變，爲必然之結果。稱之曰羅倫徹收縮。(1)

物體若果從運動之方向而計算，則由尺度直接測量，不能判定其真否。蓋因即用同一之尺度，若置於運動之方向，亦以同一之比例而收縮，故其數值不變故也。就地球而計算之，運動方向之直徑，當縮六種半左右。

在前述之收縮說，固明白假定時間爲絕對的，然果爲絕對的與否，則不能決定。例如吾人於第二章第五十節，知同時刻一語離空間則無意義，更於第三章第二十二節，知時間不特從屬於空間，而時間之單位，且因運動之速度而變化。由是觀之，承認羅倫徹收縮之前，對於空間與時間，當有再行研究之必要。

---

(1) Lorentz

## 第七章 相對律

### 第六十一節 運動之相對性

就以上所述種種事項觀之，吾人知運動之時與靜止之時生相異之結果。然則運動與靜止，根本的果為相異之狀態乎？先就力學上之運動言之，吾人以空間內任意一點，與他點區別，而定其位置，如此所定之位置，非為恒常，從時間之經過而變化。故欲論運動之有無，而決定必要之位置時，必須用任意選定之基點與方向。易言之，即須以選定之基點與方向——即一組之坐標系——為標準，而後始可談行進及回轉之運動。

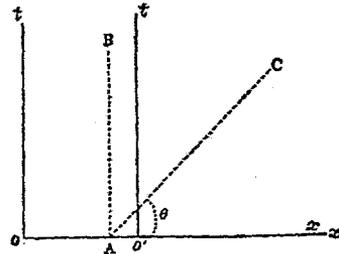
立於河岸而送小船解纜者，所云「船體已動」一語，具如何意義，盡人知之。又此送客之人，對於船上之小兒誠之曰，「靜止勿動」其義亦頗明瞭。即訴之常識而求判斷，亦當無應行反問之疑點。然詳加推究，則知其不盡然。

自上述運動之定義言之，陸上送客之人，當說船之運動之際，明採自己所立之陸地，為固定之坐標系。對此坐標系認船之位置，隨時間而呈變化。其次對於船中之小兒誠其勿動之際，果仍取陸上所定之坐標系而命小兒固守其位置乎？果爾，則船體離岸前進，小兒非留於水面不可。然送客者之要求，明使小兒與船體共同運動，離岸前進。故「勿動」之訓誡，事實上與「同船體共動」相等。然則靜止與運動，果為同意義之語乎？

送客者其初所言之船體運動，若用力學上之術語表之，係採自己所立之陸地為坐標系。其次命小兒靜止之瞬間，忽將坐標系移於船體，而無何等之意思表示；易辭言之，即使其對於船體靜止是也。由是觀之，自一坐標系而觀之運動，與自他坐標而觀之靜止，為同一之事實，且無論以如何速度而運動，在運動系內之人觀之，皆常為靜止。

運動及靜止之現象，以圖表之如下。任何現象之發生，空間與時間，皆屬必要。因吾人之空間，為三次元，故正確記述某種現象之時，以時間  $t$  與空間之三次元  $x, y, z$  之四變數為必要。故吾人所認識之現象，無論其為電抑為物質，皆於某時刻  $t$ ，存於某處  $x, y, z$  之點。更於他時刻  $t'$  亦

第六十二圖



得於某處再認識之。今為簡略說明起見，就一次元之空間論之；例如鐵路線上，自某站基點隔  $x$  距離之處若曾於  $t$  之時刻見一火車，則其他任意之時刻  $t'$  亦當於該線上  $x'$  之某處復見此火車。設不關  $t$  為何值， $x$  與  $x'$  若常相等，則此火車靜止。設車運轉，則  $x$  與  $x'$  不等。

以  $0$  表坐標之基點，取火車運轉之徑路上為  $x$  軸，若以垂直之線  $ot$  表時間，則時間之始——即  $t=0$  之時刻，——在  $A$

點之火車，如靜止於此線上，因無論  $t$  之值為何，自  $ot$  線至  $A$  點之距離  $l$  恆不變，故通過  $A$  點平行於  $ot$  之直線，表示靜止狀態時  $A$  之經歷。若以  $v$  之速度運動之時，因經過  $t$  時後之距離為

$$x=l+vt$$

故  $AC$  之直線，表示等速運動時  $A$  之經歷。 $AC$  線與  $ax$  軸所成之角，若以  $\theta$  表之，則  $\theta$  之餘切，與運動速度  $v$  有相等之傾向。

吾人以空間為宇，時間為宙，故時間與空間合一之體系，稱曰宇宙。前舉火車之例，知此等經歷可於宇宙內所列之一線表之。所謂發見宇宙現象之法則者，即於表示森羅萬象之無數經歷線間而求得其相互關係是也。

反而思之，在一坐標系內，用  $AC$  之傾斜線所表示之現象，若於自己系內另採其他之固定坐標系，亦可以  $AB$  之垂直線表示之。即  $AB$  線之式，雖為

$$x=l$$

$AC$  線之式，雖為

$$x=l+vt$$

因此式可改為

$$x-vt=l$$

故若以  $x'$  代  $x-vt$ ，則

$$x'=l$$

明與  $ot$  線平行。但因有

$$x=x'+vt$$

之關係，故屬於  $x$  之坐標系，對於屬於  $x'$  之坐標系，當然以  $v$  之速度運動。就前舉火車之例言之，與置基點於連結於此火車之機關車相當，自機關車視之，火車之位置恆不變。

## 第六十二節 時刻之決定

前節所述，一切運動皆為相對的，在牛頓之力學既已認之，尤以當時之學者屬於笛喀爾與賴白利次<sup>(1)</sup>派者主張最力，故相對論之由來甚古。等速運動與靜止，皆可作同樣之處置，故在牛頓之力學，對於地球之公轉，即在其軌道上之行進運動，不能證明之。故絕對靜止，與絕對位置等語，在力學上其意義不明。序論中曾謂科學本由宗教之家僕發達，尤以西洋人之思想，傳統的為基督教所束縛，雖在牛頓時代，仍不能解脫迷信，故在超越的實在論之立脚地，仍信自然法則之背後處絕對之神存在，故一切議論，暗中皆含有空間與時間為絕對性之假定。

自吾人之經驗言之，恆星與地球之間僅有相對運動。但在牛頓之力學，則假定恆星界為靜止而成一體系，故承認引力與遠心力等。反之，若以地球為靜止，而欲說明天體之運動與地球扁平之理由，在理須組織別種之力學，而愛因斯坦即提出新式之力學者也。

自然界一切現象之發生，須豫想及時間與空間之關係，時

(1) Leibniz

間之認識亦然。當以現象之發生爲必要，而空間之測定，則以物理的對稱爲必要。蓋離却物理的現象，非經驗的對象之絕對空間時間，不能存在。物理學上之要素，凡形而上超越的之實在，悉在排斥之列。而時間之概念，雖可於某處觀察任意之週期現象，自造時計以得之；然欲在甲乙二處判定二現象於同時刻發生，則非其所攜時計所能爲力。舊力學僅信賴吾人之思惟，而吾人之思惟無論遠近，不費時間可以到達。思惟之傳播爲無限大。故生牛頓一派之力學。

然現在之物理學，欲建設一切於實驗的基礎之上，故對於基礎之時間，須如何始能決定之一問題，當然不能除外。但如第二章第十五節之例，吾人知由光而認現象；光之速度非無限大，故二現象之發生，自甲之世界觀之，認爲同時刻者，在乙世界觀之，不必認爲同時刻；甚至有因選定空間，致顛倒時刻之先後者。又於第三章第二十二節，若假定週期的現象之等時性以測時間，則靜止時與運動時，同一現象之週期，生長短之差。故甲空間內之時間，與甲所觀測對於甲所運動之乙空間內之時間不同。故無論自何方面觀之，時間皆不能離空間獨立存在。

欲比較兩處現象發生之時刻，當先比較各地任意所製之時計。據從前之思想，以爲將甲世界之時計攜往乙世界或將乙世界之時計，攜往甲世界，卽能一致。然詳細研究之，其間實含有一個假定，卽將時計自甲世界攜至乙世界之時當不生

變化是也。此種假定，不必即認為真，故理論上當以由兩者間交換信號決定之，始為正當。

無論用何信號，然自甲所發之信到達於乙所需之時間，皆不能度外視之。譬如吾人用雙眼鏡以觀察遠在一杆之時間，再與自己手上之時計比較，已生約三十萬分之一秒之誤差。若將信號自甲而送於乙，復自乙而送於甲，取其平均，雖可得正確之答案，但吾人之世界本非靜止，從一定之方向，以速度  $v$  運動不已；如第六章第六十節所述，若從垂直於運動之方向通信，以  $c$  為光之速度則往復於  $l$  距離之時間共為

$$t_0 = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

若從平行之方向而通信則往與返不同，而生

$$t_2 - t_1 = l \left\{ \frac{1}{c-v} - \frac{1}{c+v} \right\} = \frac{2lv}{c^2 - v^2}$$

之差。吾人對於較遠之天體，即存而不論，然可假定地球以如何之速度從如何之方向運動，致地球上甲乙時計之比較，因此生種種之結果。然由運動之相對性，知地球之速度，不可得知，故甲乙兩地同時刻之意義，終不能明。

然運動為相對的，故就自己系內論之，即視其系為全靜止亦無不可。故前述往復所需時間之差，與  $v$  共同消失，故同時刻之意義，唯一的可以決定。但科學上最後之判斷，須待實驗之結果。故任何理論，其前提若含有假設，雖理論上毫無矛盾，而其結論如不與實驗之結果一致，則不能採用。據第六章第

六十節所舉邁克爾遜及馬勒之實驗，就地球上論之得

$$t_0 = t_1 = t_2$$

之結果，故於地球之上，視地球為靜止，而比較甲乙兩地之時計，又於月世界上，視月為靜止，而決定同時刻之意義，與實驗一致。如斯地球與月之間因有相對運動，故地球上之時間不通用於月世界，月世界之時間，不通用於地球甚明。故時間為各體系所固有。然則月世界之時刻與地球之時刻，其間果有如何之關係乎？此問題當於下節討論之。

### 第六十三節 相對性原理

若視時間為各體系所固有，則甲系之時間，與對於甲系速度為  $v$  之乙系之時間，其間之關係，如何成立之問題，愛因斯坦提出如下之假定以解決之。

第一，「支配物理的現象之法則，無論為靜止系，抑對此為等速運動之運動系皆可適用」之相對性假定。

第二，「光之速度與光源及觀測者之運動速度無關，其值恒為一定」之光速度不變假定。

以上之假定，非僅從便宜而提出者，最少為多數物理學者迄今所行電磁及光之實驗結果必然的而生之假定。

今就靜止系甲與對此運動之運動系乙觀之，即甲與乙之間有速度為  $v$  之相對的運動，以  $x, y, z$  表基點在甲系之直角坐標，以  $x', y', z'$  表原點在乙系之直角坐標，論者靜止於甲

系之內，此時以  $t$  表甲之時間，因自甲所見乙之時間，不等於  $t$ ，故以  $t'$  表之。在牛頓之力學時間  $t$  為兩系所共通，且運動之方向，若採取  $x$  軸與  $x'$  軸，則如第六十一節所說明，

$$x' = x - vt$$

且  $y$  與  $z$  之方向，無相對的運動，故

$$y' = y; \quad z' = z$$

但時間上同時刻之定義，若如前節所述，則甲之時刻為  $t$ ，自甲所見乙之時刻為不同之  $t'$ ，吾人當求  $t$  與  $t'$  間之關係。

甲之原點與乙之原點互相一致之時，若在此共通之原點發光，因光波以  $c$  之速度，傳播於各方，故其波面，自靜止系之甲觀之， $t$  秒間之距離為  $ct$  程，故可以

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

之球面表之。然自運動系乙觀之，若從牛頓之力學， $x'$  方面之速度，雖不與垂直方向之速度相等，但據光速度不變之假定，非為

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

之球面不可。故得

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2$$

之關係。自數學上之見地言之，則滿足此式之  $x, y, z$  與  $x', y', z'$  當有種種，但在必要之物理的條件之下，羅倫僅引導一組如下：

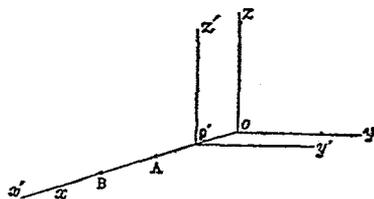
$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

$$y' = y; \quad z' = z;$$

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

以上之關係對於空間與時間，所得之結論，至可驚異。運動系  $x$  軸之上，有  $A, B$  二點，其坐標在靜止系與運動系各為  $x_1, x_2$ ，及  $x'_1, x'_2$ 。而  $AB$  間之距離在靜止系為

第六十三圖



$$l = x_2 - x_1,$$

在運動系，為

$$l' = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

此即與第六章第六十節所述羅倫微收縮一致。蓋自運動系觀固定於運動系內者，即見其為靜止；自靜止系觀固定於運動系內者，即見其為運動，故  $AB$  間之距離，於靜止之狀態觀之，見為  $l$ ；於運動之狀態觀之，則見為  $l'$ 。然因有

$$l = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

之關係，故若以

$$l'=1$$

則

$$l = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

即於靜止狀態時單位長之尺度，如以  $v$  之速度從其長之方向而運動之時，縮短為

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

又因速度  $v$ ，為自乘而入於式中，故無論向左抑向右動，其結果皆同。故由運動之相對性觀之，無論甲見乙運動於右與乙見甲運動於左，自甲則見乙之尺度縮短，自乙則見甲之尺度縮短。由是觀之，空間之大小非絕對的，自與光以同一之速度而運動者見之，則

$$l=0$$

即空間竟歸於無。

其次就靜止系之時間，與運動系之時間比較觀之，準前以  $r'$  表運動系  $t'_2$  與  $t'_1$  時刻之差，以  $r$  表與此對應之靜止系中時刻之差，則

$$r = r' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

故靜止狀態之一秒，在運動狀態則變為

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

秒。由是觀之，哲學者所認為直感形式之空間，亦與時間相同，均非絕對的，因觀察者之立脚地不同，遂有此伸縮自如之結果。

於第六章第五十九節，曾稱質量從速度之大小而增減，從運動之方向與其垂直之方向，而有不同。自相對性之原理論之，以  $m_0$  表靜止狀態時所測定之質量，稱之曰初質量，若於速度為  $v$  之運動狀態下測之，則得縱質量為

$$\frac{m_0}{\left\{1 - \frac{v^2}{c^2}\right\}^{\frac{3}{2}}}$$

橫質量為

$$\frac{m_0}{\left\{1 - \frac{v^2}{c^2}\right\}^{\frac{1}{2}}}$$

實驗上  $\beta$  粒子有種種之速度時所得  $\frac{e}{m}$  之值不同，已於第五十九節述之。在此實驗，因受電磁場之作用，其進行之方向彎曲於橫側，故所測定者當為橫質量。由理論上所得前記之公式，而計算對於此等速度之質量之值如下：

$$1.694 \quad 1.678 \quad 1.647$$

其結果僅最後之數字相異而已。故此結論可稱為曾經實驗之證明。

更以  $w$  表同一方向上二速度  $u$  與  $v$  之和，則不能與  $u+v$  相等。蓋其中一速度例如  $u$  若為光速  $c$ ，則  $c$  與  $v$  之和，從光速

度不變之假定，當等於  $c$  故也。若自既得之關係引導之，則為

$$w = \frac{u+v}{1 + \frac{uv}{c^2}}$$

### 第六十四節 力之相對性

凡由等速度而運動者皆為相對的，不能與靜止區別，前節已說明之。在海波不與水面如鏡之太平洋船內，不能見船之進行，猶吾人不自覺地球軌道之運動也。然若至風動浪湧，振動船體，則縱密閉於暗室，不能見動者為何物，亦能感知其振動。推原其故，因有速度之變化——即加速度——甚明。故若有加速度，則不特可由意識而得，並可由機械的觀測而證明之。例如天體之運動，不必藉地球以外之物，可以測之；傅可<sup>(1)</sup>擺，可以證明地球之自轉，即其一例。

地球軌道之上行進運動，不藉地球以外之物，不能證明。然則地球之自轉，又何以能證明乎？回轉之角速度  $\theta$  雖不變，然使由直線運動彎曲而盡成曲率半徑為  $r$  之軌道，故與比例於  $r\theta^2$  之遠心力相當之力，向軌道之中心作用，故有與此相應之加速度存在。在牛頓之力學，若為等速之直線運動，無論其方向如何速度之大小如何，皆無判定之方法；若有加速度，方可識別。故以速度為相對的，加速度為絕對的。

然加速度果如從前之力學，為絕對的乎？加速度由力而生；

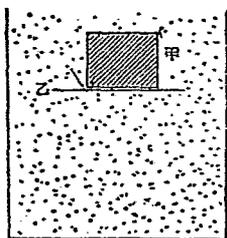
(1) Foucault

加速度爲絕對的者，即力之有無爲絕對的是也。詳言之，一坐標系內不爲力場之空間，縱與任何其他坐標系關係言之，俱不能成爲力場。或由一坐標觀之，若有力作用，則無其他之坐標系能見其爲無力作用。力之性質果如是乎？試就重力場思之。

在重力場，若有甲物體，則有相當之重量，置諸掌上，則感壓力。故吾人若能依適當之裝置，利用此壓力，當可使他物體得加速度。今有薄板乙置於與己同一比重之流體中，而靜止於空間之某處；若載甲物體於乙板上，則甲之壓力及於乙，乙得加速度，從壓力作用之方向，向下運動，此至明之事也。然則乙果不論爲如何狀態，甲皆能以壓力及之乎？則又不然。

古之哲學者，以爲重物比於輕物，自由落下時當得較大之加速度。今以輕物爲乙，假定重物丙分爲甲乙二片，則乙單獨落下時，當得加速度  $A$ ；若載甲於乙，則甲以其重量而施壓力於乙，而乙當得與此壓力相等之加速度  $B$ 。故欲使載甲於乙之丙落下，其加速度當爲兩者之和即  $A+B$ 。此思想明與牛頓力學速度  $u$  與速度  $v$  之和  $w$  等於  $u+v$  之理論，從同一之徑路而來。然此說已爲愛因斯坦所破，前節業已述之。

第六十四圖



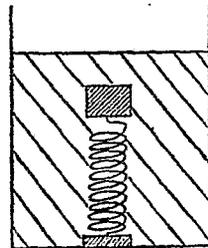
實驗物理學者之元祖噴利略氏因欲批判此結論之正否，

在庇薩<sup>(1)</sup>之傾斜塔上所行之實驗，明白否定此事。即重物與輕物同時到着是也。此事之所指為何？蓋謂甲施於乙之壓力，乙為靜止或等速運動之時，與加速運動之時不同，乙運動之加速度愈增加，則甲之影響愈減少；而最大之加速度，則有極限。此極限之加速度，即吾人從前所稱地球之重力而以  $g$  表示者也。故甲乙兩體自由落下之時，在上之甲，對於在下之乙不能施何等之壓力。易辭言之，靜止或等速運動之際，所現存甲乙間之壓力，因彼等於壓力之方向生適當之加速運動而消滅。故力亦因坐標系而存在，非絕對的。

暗室之內，有二學究，研究物體落下之現象。其一人曰：暗室外有天體在足之下，吸引室內之萬物，故此等物體依引力之作用而落下，若制止其落下，則感重量；此即牛頓一派之空間觀也。其他反對者曰：不然，空間之物體雖為靜止，然吾人所住居之暗室，因以一定之加速度，從頭之方向而運動，故運動為相對的，外觀上有落下之感，若不許其靜止於原有之位置，不過受其壓力而已。此愛因斯坦說之思想也。

愛因斯坦氏乘從來之學說，主張自然力——如重力——及由加速度而生之人為力，完全相等，稱曰等價假說。驗證此理論之一法如次：今以一條

第六十五圖



(1) Pisa

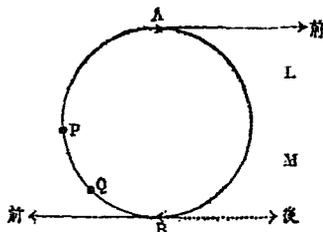
發條繫於器底，以木塞聯於其上端。若注水於容器，則木塞由浮力而上昇，發條延長，其彈力達於浮力相等之點而靜止。因浮力由水與木塞重量之差而起，故當與重力同生同滅。然彈力與重力無關，故此裝置若自由落下，則失浮力僅餘彈力，故木塞沈於水中。

### 第六十五節 四次元宇宙

吾人之空間為三次元，時間與空間皆為相對的，不能分離而獨存，可由以上之說明知之。生存於線上者僅有前後之區別，生存於面上者僅有前後左右之區別，而吾人之空間則加上下之區別者也。然前後左右，非絕對的，全從論者之立脚地而定；同一方向，可稱為右亦可稱為左，可稱為前亦可稱為後。例如甲乙對坐而談，甲所謂右者在乙見之不必為右，或可稱之為左；乙所謂前者，在甲見之，不必為前，或可稱之為後。然上下之區別，則異其趣，甲指天稱之曰上，乙決不能指地亦稱曰上；自此意義觀之，前後左右，皆為相對的，而上下為絕對的。

今假定有  $P, Q$  等之生物，以  $AB$  之軌道為全世界，而公轉於其上，則彼等僅知有前後之差別，且自己進行之

第六十六圖



方向與經過之方向全不相同，故必以前後之區別為絕對的。然自生存於含有此軌道之面上如  $L, M$  等觀之，則知  $P, Q$  在  $A$  點時之所謂前方，與在  $B$  點時所謂後方相同。故一次元世界所認為絕對的之前後區別，在二次元世界觀之，則為相對的。

固着地球面上而觀，上下之區別，雖似為絕對的，然地球本為一個球體，故就地球以外觀之，在中國者稱天為上地為下，在美國者亦稱天為上地為下，雖各相同，然中國之所謂上，與美國之所謂上，方向決不一致。故吾人現在所稱之上方，在地球上某地方之人必有稱之為下方者，由是觀之，上下亦非絕對的甚明。

上下左右前後之外，尚有時刻之過去與未來之區別。據從前之思想，過去與未來為絕對的。因吾人無論如何變更觀察之立腳點，決不能視過去為未來也。然閔可夫斯奇<sup>(1)</sup>於四次元宇宙，則謂過去與未來之區別，亦非絕對的。

一次元之線上，任意點之位置僅由原點之距離  $x$  而定。二次元之面上，若採用直角坐標，則由原點至  $(x, y)$  點之距離  $S$  由

$$S^2 = x^2 + y^2$$

表之。三次元之空間，則以

$$S^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

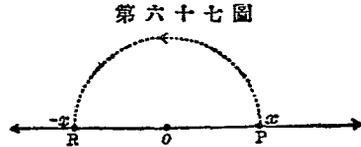
---

(1) Minkowski

表之，此既知之事實也。然在四次元之宇宙，原點與  $(x, y, z, t)$  點之距離，果由何以表之乎？時間之軸須各垂直於  $x, y, z$  之任何一軸，在三次元之空間上成爲不可能之問題。

今自原點  $O$ ，從任意之方向取距離  $x$  之處一點爲  $P$ ，又從相反之方向取距離  $-x$  之處一點爲  $R$ ，而觀察其區別，知僅以原點爲中心，將  $OP$  線

回轉百八十度即可使與  $OR$  線一致，故以  $-1$  乘  $x$  一事，依物理的之註解，卽爲施回轉百八十度之手續；



故亦可稱  $x$  與  $-x$  互成百八十度之角。今設以  $i$  表施行回轉九十度之手續，卽假定  $x$  與  $ix$  互爲直角，則  $i$  果爲何物乎？其初回轉一直角，其次復向同一之方向回轉一直角由回轉百八十度卽二直角之結果，

$$i \cdot ix = -x$$

故

$$i \cdot i = -1$$

卽

$$i = \sqrt{-1}$$

易辭言之，以  $-1$  乘之一事，欲求其正反對之意義，卽由以

$$\sqrt{-1} = i$$

乘之，而可表直角。

以  $c$  表光之速度，則  $ct$  表  $t$  秒間光之通過距離。第二章第十二節中所稱之光年，卽以光進行之速度表距離之一種單

位也。若  $x, y, z$  為互相垂直之坐標軸，而  $ix, iy, iz$  因坐標系全體，皆回轉一直角故不特互相垂直，且亦當與第四之坐標  $ct$  成爲直角。吾人於是得四次元宇宙之坐標軸焉。故原點與  $(x, y, z, t)$  點之距離，可由

$$s^2 = (ct)^2 + (ix)^2 + (iy)^2 + (iz)^2$$

或

$$s^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

表之。

由第六十一節之說明， $x$  軸上之點之經歷，可以  $x-t$  而之線表之，但因其非等速運動，故其經歷線不爲直線而已。何以言之。線之傾斜由運動之速度而決定，故在加速運動，則此傾斜始終變化故也。

在四次元宇宙，一切質點之經歷，當成一線，表示靜質點經歷之線，當爲平行於  $t$  軸之直線；等速運動之經歷線，當爲對於  $t$  軸有一定傾斜之直線；有加速度者——如公轉於太陽周圍之地球運動等——當爲螺旋狀之曲線。

飛行機於空中演橫轉逆轉等高等飛行之時，因欲使觀衆知其經過，設備特種裝置使噴出白煙以示之，此吾人所常見之事也。

在四次元宇宙中，表示吾人經歷之經歷線，視若白煙留於宇宙亦未始不可。宇宙中森羅萬象各自有其經歷線，吾人於某一瞬間所目擊之世界，乃將此四次元宇宙，從垂直於時間之軸之方向，以三次元之空間切斷之，斷面上點之配置即

吾人所目擊之世界也。故其次一瞬間所目擊之世界，爲與此平行之他斷面上之點之位置，宛如生物學者欲觀具有三次元肉體之動物骨骼組織，處處切斷其肢體，而檢查其配置者然。

### 第六十六節 過去現在及未來

於三次元之空間  $x, y, z$  三元，自力學上觀之，全取對等之地位，其間毫無區別，然自居住於地球之吾人之立脚地，以論吾人住所之空間，其前後左右之區別，全對於吾人之肉體而定，上下之方向，則不盡然。一切物體，若任其自然則自下降，欲使上昇必須加功。申言之，如給與一定之速度使物體運動之時，若其方向向上，則速度次第減少，向下則次第增加，向直角之前後左右則不變。故  $x$  與  $y$  對等，而  $z$  不然。特吾人在假定離去地球之理想時， $x, y, z$  之三元，方爲對等，而事實上則不能也。

在四次元宇宙縱可將地球置之度外，然空間之三元  $x, y, z$  與時間之一元  $t$  之間，有顯明之相異。質言之， $x, y, z$  之變位，得以任意，故欲使生變化，須待吾人之努力。反之時間之經過，無需吾人之努力，不能使之增速，亦不能停止。故吾人須離地球，始能將上下前後左右之方向視爲同一，須解脫生死之境界始能視空間與時間相同。蓋如後章所述吾人所感得個性時之經過，由自己內部發生之進化始能顯出故也。必如是

而後方有所謂過去有所謂未來，對於現在，並非絕對的，由此可知返昔爲今之事亦屬可能。

因欲使說明易於了解，試將四次元之宇宙

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = s^2$$

用  $(x, t)$  之面切斷觀之，斷面上任意之點，因  $y$  與  $z$  俱爲零故可以

$$s^2 = c^2t^2 - x^2$$

表之若特別就宇宙之一部

$$s = 1$$

時思之，則

$$c^2t^2 - x^2 = 1$$

明係  $(x-t)$  面上所引之雙曲線  $HAK$ ，由

$$c^2t^2 - x^2 = 0$$

即

$$ct - x = 0$$

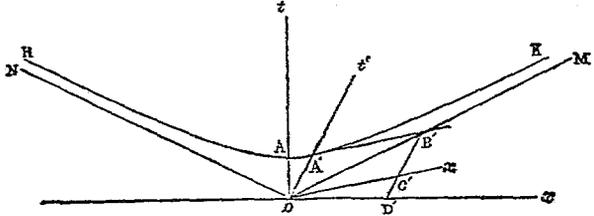
及

$$ct + x = 0$$

所表之  $oM$  及  $oN$  之漸近線。

今引任意之動徑  $oA'$ ，於雙曲線之交點  $A'$ ，引  $A'B'$  之切線，次引  $B'D'$  使平行於  $oA'$  更引  $oC'$  使平行於  $A'B'$  而作  $oA'B'C'$  之平面四邊形。吾人於此拋棄直角坐標軸，以  $oA'$  與  $oC'$  轉換爲時間  $t$  與空間  $x$  之軸，此新坐標系之時間及空間，各由  $t$  及  $x$  表之，或假定吾人之宇宙爲彈性體，於  $xot$  面上，沿漸近線  $oN$  而加壓力，沿  $oM$  而加張力，則生變形，而  $ot$  線取

第六十八圖



$ot'$  之位置  $ox$  線取  $ox'$  之位置。故  $(x-t)$  面上所畫之一切經歷線亦當受類似之變形，其始相交之二線變形後亦相交於同一之點，經歷線相互間之關係在理當不受何等之變化。特在  $(x-t)$  面上為圓形者變為橢圓形，宇宙之各部分皆受變形而已。易辭言之， $x-t$  之坐標系，即轉換為  $x'-t'$  之坐標系，表示事象間之關係之形式恆常不變。此蓋自然之法則，不因所用之坐標系如何而生變化故也。

如第六十一節所說明，在  $x-t$  坐標系內，以一定速度而運動者之經歷線，為與  $t$  軸成一定之角之直線。設此直線為  $ot'$ ，且若採之為新坐標系  $x'-t'$  之時間軸，則其在此新系內，當為靜止狀態。又如有加速運動者，其經歷線雖為曲線，然採其任意點之接線為  $ot'$  線，則亦無妨。如斯，故凡一切之加速運動，常因採用適當之坐標系，亦得轉換為在靜止之位置。

今以  $o$  為時間及空間之基點，就四次元宇宙

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 0$$

之錐面觀之， $(x-t)$  面之斷面，由前述漸近線  $oN$  及  $oM$  及其延長

而成。此錐面由

$$\pm ct = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

二式表之，其一為時間  $t$  負量之值，其他與正量之值相當。前者為送光於基點之宇宙部分，故屬於過去圈；後者為由基點送光之部分，故屬於未來圈。

然就未來圈  $NoM$  與過去圈  $N'oM'$  間任意之點  $P$  觀之，若吾人給與適當之變形於宇宙，使  $oP$  線成為空間之軸，則與此為一對之時間軸  $ot'$ ，當通過雙曲面

$$o^2t'^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 1$$

上之一點  $Q$ 。

此時對於舊坐標系  $(x, t)$ ，如以  $x_1, t_1$  表  $P$  之位置，因  $t_1$  為正量，故  $P$  明屬於未來。若以  $x'_1, t'_1$  表對於新坐標系  $(x', t')$  之  $P$  之位置，則由

$$t'_1 = 0$$

故屬於現在。然此證明之法，凡在  $NoM$  及  $N'oM'$  之間一切之點，皆能適用，故宇宙間此一部份，不為絕對的之未來，亦不為絕對的之過去，由所用之坐標系如何，或可視為過去，或可視為現在，或可視為未來。

## 第六十七節 相對律之證驗

四次元宇宙中，任意點之距離  $S$ ，由

$$S = \sqrt{c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2}$$

表之，既如前述，故相隣接兩點間之距離，——即  $P$  點  $(x, y, z, t)$  與  $Q$  點  $(x+dx, y+dy, z+dz, t+dt)$  間之距離  $ds$ ，為

$$ds = \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}.$$

然  $c$  為速度，故由

$$dr = \frac{ds}{c} = \frac{1}{c} \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}$$

之式，知  $dr$  表一種時間之微分。若從經歷線上之始點  $p_0$ ，至地之任意點  $p$  而積分之，則

$$\tau = \int dr$$

為其間之全時間。稱為在  $p$  之個性時。

今將  $p$  之坐標  $x, y, z, t$ ，以個性時  $\tau$  微分之，所得之結果若為  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{t}$ ，則此等四個向量之合成——即運動向量——因與在  $p$  點所引對於經歷線之切綫，有共通之方向，故表示在此點時間軸之方向。若更以個性時  $\tau$  微分之，則  $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}, \ddot{t}$  之合成——即加速度向量——，表示與前者為一對之空間之方向。

在二次元平面上，於  $p$  點以切於既知曲綫之圓之半徑為此曲綫之曲率半徑。在四次元宇宙亦然，若於  $p$  點以切於經歷綫之雙曲面，定曲率半徑  $\rho$  之時，則加速度向量，為  $\frac{c^2}{\rho}$ 。唯  $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}, \ddot{t}$  若共為零，則前述之雙曲綫化為直綫，而曲率半徑，為無限大。

在二次元平面，二點間之最短距離，盡人知為直綫而在有曲率半徑之面上——各球面等——，二點間之最短距離

不爲直綫，例如地球上自上海至桑港之最短航路，決不能與地圖上兩點所結之直綫一致。船舶僅能航行於二次元之海面，故不能從一直綫而進。因連結兩港之直綫通過於海水之內部，若非用可以運動於三次元之潛航艇決不能取直綫之航路故也。海面上最短之距離，所以非直綫之理由，因海面有曲率半徑，可視爲曾受一種變形，凡在受變形而有曲率之世界內，其最短行路，不爲直綫，而稱之爲最短綫。球面上之最短綫，爲通過球之中心及此二點之平面與球面所交之曲綫，即通過此二點之大圓弧是也。

運動於空間之放射體，自  $A$  點達於  $B$  點之最短行路亦不採直綫之程，其所以由通過  $AB$  二點之拋物綫，自  $A$  而至於  $B$  者，蓋因吾人之空間，實曾受變形，具有曲率半徑故也。此種變形或曲率之起源，由於生加速度之力，即由於生此力場之物質之存在，其理至明。申言之，凡有物質存在之附近，皆爲力場，故空間亦有一定之曲率，而在此處自由運動之最短行路遂化爲曲綫。

光有甚大之速度，其行路之曲否，常時無從認識，然在絕大物質——如太陽——存在之空間，則其力場，亦甚強大，故太陽附近之光之通路，不能成爲直綫，而有微小之曲率，據愛因斯坦之計算，接於太陽表面而通過之光，其進路全體當曲 1.75 秒。

然西曆千九百十九年五月二十五日白拉吉<sup>(1)</sup> 北部，日食

(1) Brazil

皆既之際，就散在於太陽背後許多恆星羣之攝影，及太陽不存時此等恆星羣之攝影而比較之，外觀上恆星間之距離，生有微量之差，假定為光綫之行路，因太陽存在而受彎曲之結果而精算之，得1.98秒，此即一般相對律所衍導之結果，曾經實驗證明者，故開動學界成為一大事件。又質量  $M$  與能  $E$  之間有

$$M = \frac{E}{c^2}$$

之關係，故如假定太陽之光，亦有相當之質量，則從牛頓萬有引力之法則，光之軌道，亦當因太陽之引力而彎曲。然自此立脚點計算之，當為0.87秒，而實驗上所得之值，則大於此遠甚。

用牛頓之力學，所不能說明之自然現象，可以愛因斯坦之力學說明者，尚有一事。即水星近日點之移動是也。遊星公轉於太陽周圍之軌道為橢圓形，其長軸之方向，由其他天體之引力次第變位。就地球之例言之，地球最近於太陽之日現在雖為一月五日左右，但隨年而少有變化，其週期約為十萬八千年。在地球及其他之遊星，此近日點之移動，由萬有引力之法則而算出者，與由觀測之結果而算出者，雖能一致，而水星獨有大差。

據十七世紀末葉以來觀測之結果，算出水星近日點之移動，知百年間為五百七十四秒。然從牛頓之法則，視為他惑星之影響，從理論上算定之，則得五百三十二秒，其差為四十二秒。如此之大差，非為觀測之誤差，可由他方面證明，故有疑為

有未知之惑星存在者，雖想像之說層出不窮，究無術以解決之。然由一般相對律之理論言之，近日點之移動，尚須四十三秒之補正，故與觀測之經果，幾能一致。

以上之驗證，不必為絕對的，自反對論者言之，亦有多少之缺點。例如在光之屈折，太陽之實體，雖假定如吾人所目擊有一定之形體。然太陽之溫度，在六千度以上，故構成太陽之一切物質，當為氣體之狀態。果爾，則其實質當延長於無限，待其密度漸次稀薄而已。故通過於太陽近處之光，其實不能保其不通過於太陽實質之內也。雖然愛因斯坦之力學，即假定為非最終之力學，然較牛頓之力學，為進一步，則可斷言。

自相對律之理論，所得之結果，更有從實驗的證明之現象，即日景之變位是也。然此變位，亦可由種種其他之原因而生，故在今日尚不能謂為確經驗證，而仍屬於疑問。

## 第八章 量子論

## 第六十八節 自然界之不連續性

物質爲連續的抑爲不連續的之問題，自太古之時，已引學者之注意。德謨頡利圖所唱之“不可切體”，縱屬於哲學方面，然隨近世科學之進步，實驗的觀測，愈臻精密，知不僅物質，即電，光，能，等亦皆爲不連續性，使非假定其爲粒子之狀，則不能說明實驗的事實。分子原子之存在，即表示物質之不連續。電子之說，不僅要求電之不連續性，即磁亦爲不連續性，有所謂磁子之最小部分存焉。至光量子及作用量子之說，則皆謂甲乙丙者之間如有能之受授，其量亦有最小限度，亦帶不連續性者也。

實驗上之事實，表示不連續性最早者，莫如化學變化。甲物質化爲乙物質之際，兩者之比一定不變。例如自百克之鋅而製白粉常得百二十克半是也。又甲與乙化合而生丙丁等二種以上之化合物之際，能與甲一定量化合之乙之量，其爲丙時與爲丁時當然不能相同，然此等諸量之比，可以一二三等最簡單之整數比表之。例如燃燒時碳與氧化合而生二種不同之氣體，然能與十二克之碳化合之氧之量，則爲十六克或其簡單整數倍之三十二克。前者係爲一氧化碳之有毒氣體，若更燃燒，則二十八克之一氧化碳，必更與十六克之氧化合，生二氧化碳。如有過或不足於此比例，則其中一部分之氣體，

必存留不變。

化學變化之時，不特化合者之質量間，有一定之比例，即其體積之間亦有簡單之比。例如溫度與壓力若為一定，則與氫二升化合為水之氧之量必為一升，此時所生之水蒸氣，有二升之體積。欲說明此等事實，當假定此等物質，由可分為細粒之原子分子而成，較小於一個粒子之部分，不能預於化學之作用。

吾人既以物質為各個分子之集合體為基礎而立分子運動說矣，依此假說如何理解氣體之一切性質及熱之本能等事，前已詳述。理學者測定一立方厘米內分子之數與政治家查定一國或一都市之人口比較，其精密之程度實遠過之，蓋用不同之機關各作一國人口之統計相差百分之十，實為常事，欲使相同至百分之一以內，在今日尚不可能。然從氣體之粘性係數，布朗運動及其他全異之種種方面所推定，分子之數，異常一致，一克分子之數常約  $61 \times 10^{23}$ 。

依據軸射之法則及布朗運動為基礎所算定之原子數，係由計算其自由度而得。依據天呈蒼色之事實所推定之原子數，則以光學的不連續性為基礎而得。依據放射作用之原子數，則由觀測其拋物線之數而得。如斯由全完不同之立脚地，所得之最後結果，一律相同，故可知，原子之為物，非盡屬於空想。放射能之發見，不僅更進一步能支持物質之不連續說，且就放射性物質所射出之  $\alpha$  粒子與  $\beta$  粒子之軌道而撮其影，

或就此等粒子與硫化鋅等之螢光體衝突時所生之燦光而數之，亦可知所放射之粒子之數，誠為異常之成功。

如以電極插入電導性之液體內，則正負兩極板間之液體，由電場之作用，分為帶正電之陽性粒子與帶負電之陰性粒子，即生所謂離化現象，(或作電離)各向負極板或正極板而進行，與之接觸而失其電，或化氣體而逸出於液外或成固體而附着於電極，此蓋化合物因電之作用而解離，故稱曰電解。然電解之際，所通過電流之量與所解之物質之質量比較，常有一定之關係。例如每通一庫倫之電，所分解之氫之量為

$$0.00001038$$

克，稱之曰電化當量。

物質由分子而成，電解若為分子分離各帶正負之電之現象，既知一克中所有粒子之數，故可算定一個粒子每次所運之電量。就氫之例言之，一庫倫之電量若以靜電單位表之，當為 $3 \times 10^9$ ，又因

$$N = 6.1 \times 10^{23}$$

故若以  $e$  表一粒子每次所運之電量，則由

$$3 \times 10^9 = 0.00001038 \times 6.1 \times 10^{23} e$$

故

$$e = \frac{3 \times 10^9}{1.038 \times 6.1 \times 10^{18}} = 4.74 \times 10^{-10}$$

更據他方面精密實驗之結果，此量有一定之值，以靜電單位表之，為

$$e = 4.774 \times 10^{-10}$$

故知電亦爲粒子狀，每一個由電量爲  $e$  之負電而成，電解之際，如此之電粒子，以一個或二個三個之數爲各物質之粒子所運搬。吾人所稱之電子，即此負電之粒子是也。

爲光所照之金屬面，亦逸出電子。此種現象，稱曰光電效應，逸出電子之速度，每秒爲百杆乃至十萬杆，與所生之光之強弱無關，而與其振動數共相增減。蓋光亦非連續的，由所謂光量子之粒狀而成，雖光量子之數從光之強弱，而有多少之差，然一個之光量子若已足追出一個電子，則所追出電子之速度，當然與光量子之數無關。

### 第六十九節 比熱之變化

吾人由物體之比熱上實驗之結果，遂引起熱能亦爲粒子狀而授受之思想。第四章第二十七節，吾人對於氣體之基礎的性質，得

$$pv = \frac{1}{3} nmc^2$$

之關係。而此等之各分子，所有可視爲熱之動能之量，爲

$$\frac{1}{2} nmc^2$$

故氣體之總量若爲一克即若爲單位量，則因

$$nm = 1$$

故在任意之溫度  $t$ ，爲

$$\frac{1}{2} t^2 = \frac{3}{2} pv$$

又在攝氏零度之溫度，爲

$$\frac{1}{2}c_v^0 = \frac{3}{2}p_0v_0$$

然據博以爾，夏爾之法則

$$pv = p_0v_0(1+at)$$

故綜合以上三式得

$$\frac{1}{2}c^2 = \frac{3}{2}p_0v_0\{1+at\} = \frac{1}{2}c_0^2 + \frac{1}{2}c_0^2at$$

或得

$$\frac{1}{2}c^2 - \frac{1}{2}c_0^2 = \frac{1}{2}c_0^2at$$

之關係。此處之  $\frac{1}{2}c^2$  爲  $t$  度單位量氣體所有之熱能， $\frac{1}{2}c_0^2$  爲零度之熱能，故兩者之差  $\frac{1}{2}c_0^2at$ ，當爲由零度暖至  $t$  度時，所需之熱量，此即氣體之定積比熱是也。通常以  $A$  表之。

以上計算，僅就加暖氣體時必要之能言之，通常在一定壓力之下，如使溫度增高，則從

$$v = v_0(1+at)$$

之式而起膨脹，膨脹者，反對外壓而增加其體積之謂也。每溫度增高一度，則因膨脹而費  $pv_0a$  之功，故在一定壓力之下，欲使溫度增高一度，則於定積比熱之外，尚須由外部供給與此功相等之熱，故一定壓力之下，氣體增熱一度時，必須之熱量爲

$$A + pv_0a = a\frac{1}{2}c_0^2 + a\frac{1}{3}c_0^2 = \frac{5}{3}a\frac{1}{2}c_0^2 = \frac{5}{3}A$$

此值稱爲定壓比熱。若以  $B$  表之，則定壓比熱與定積比熱之

比,爲

$$k = \frac{B}{A} = \frac{5}{3}$$

然據實驗之結果,水銀蒸氣及氫氮等之氣體,雖與此一致,養氣淡氣以及空氣等,則爲五分之七內外。

化學上一個原子即可視爲一個分子者,與理論上所得三分之五一致;如輕氣,養氣等由二個原子結合而成一個分子者,其比爲五分之七;如二氧化碳等由三個原子化合而成一個分子者,其比爲六分之八。蓋因由單原子而成之分子,於三次元空間,僅有三種之行進運動,而二原子以上之分子,隨其構造複雜之程度,更有轉動及振動而熱能均分於各種之自由度故也。

例如養氣一分子,由二原子而成,若假定其形如亞鉛,則於三種行進運動之外,尚有二種之回轉,故其自由度爲五。外部所給與之熱能,若從五等分而計算之,其理論上之值,亦爲五分之七。

據實驗之結果,由單原子而成之氣體分子熱爲

$$12.5 \times 10^7$$

爾,即三加路里,故一原子之分子,僅有行進運動,若就熱能等分於此三個自由度之間,而計算之,則每一自由度,可視爲各有一加路里之熱。果爾,則由二原子所成之氣體分子,有五個之自由度,故其分子熱爲五加路里。然欲諸實驗,輕氣於常溫爲五加路里,於絕對溫度二百七十三度爲4.75加路里,隨溫



此等各種之分配法，與發生之信率相同，三個之自由度皆能實現之信率為二十七分之六；二個之自由度可以實現之信率為二十七分之十八；其殘餘二十七分之三，為一個自由度可以實現之信率。故若平均之則得

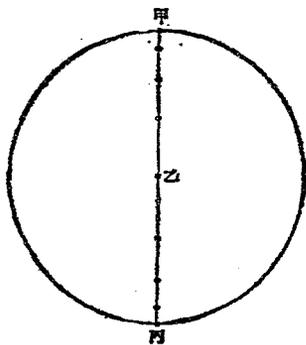
$$\left(3 \times \frac{6}{27}\right) + \left(2 \times \frac{18}{27}\right) + \left(1 \times \frac{3}{27}\right) = \frac{57}{27} \div 2 = 1$$

宛如自由度減而為二。但  $x, y, z$  之中，某特種之自由度，非會消滅，彼等同於總計二十七次內，六次受二個之量子，一次受三個之量子，若就二十七次之全部而平均之，每次當分配一個，而  $x, y, z$  之各自由度，互相對等而無變化。

### 第七十節 自然現象之不可逆性

由功所生之熱，其一部可使反而為功，既如前述，高地之水若流於谷底可以運轉水車，吾人若自外加力而反其動作，即若逆轉此水車可使流於谷底之水，復反於山頂。凡一現象所有之相，與其始發生時能以相反之順序而發生者，稱曰可逆之現象。例如物體落下之現象，如無空氣之抵抗等力，僅有地球引力作用之時，則沿地球之直徑

第六十九圖



作一貫通地心之孔，於其一端甲，有物體由靜止之位置自然落於此孔，則得重力之加速度，向乙猛進，達於地球之中心乙時速度最大，而加速度為零。自乙更向丙運動之際，已非落下而為上昇速度遞減，至丙復出於地面而速度為零。若不於此而止之，則復由重力之作用，自丙向乙落下，向甲上昇，及反於甲之瞬間，物體之速度為零，復反於從前靜止之位置。如此現象，為完全可逆。

然事實上空氣有抵抗之力，前進時其速度雖因抵抗而減少，而後退時則不因抵抗而增加。抵抗絕對為不可逆，故與抵抗相伴之一切變化亦不可逆。又如第四章第三十六節所述，熱之全部不能盡變為功，故與熱之發生相伴之一切現象，亦非完全可逆。

綜合各方面研究之結果，一切自然現象皆非可逆。且其所由不可逆之理由，根據於熱之特別性質，吾人所認為熱力學第二法則是也。自然現象皆不可逆云者，即自然現象逐漸進化，不再復於原始之狀態是也，故絕對無退化之事。此種事實若以物理學上之術語表之，則謂每當自然現象之發生，宇宙間之熱率僅有增加，決不減少；設此熱率，萬一達於最大之值，則自然現象，全不發生。

然則熱率果何物乎？其真相由前節所述之量子說知之。今命一系內自由度之總數為  $N$ ，所有之能若由  $P$  個之量子而成，則此  $P$  個之量子，配分於  $N$  個自由度之法甚多。設命甲分

$P_1$  個,乙分  $P_2$  個,丙分  $P_3$  個……爲第一種之分配法,則第一種之分配法實現之信率,不必與第二種之分配法實現之信率相等。如前節之例中, $x$  分一個, $y$  分二個, $z$  不分之信率,雖爲二十七分之三;而  $x$  分三個, $y$  不分之信率,則僅二十七分之一。據博爾茲曼之研究,某系內之能量子當分配於構成此系各自由度之際,與其中之某種分配法偶然可以實現之信率之對數爲比例之量,卽爲此系之熱率。故所謂每當發生自然現象,而系內熱率當爲增加云者,結局與謂能量子之分配歸於信率較大之一方面,爲同一之事。

至於如何分配,始得較大之信率之問題,則如前節所述,就三個量子分配於三自由度之例言之。

某特種之自由度  $x$ , 獨占量子全部之信率爲  $\frac{1}{27}$ ,

某特種之自由度  $x$  得二個量子其他一自由度  $y$  占一個量子之信率,爲  $\frac{3}{27}$ ,

各自由度平均各得一個量子之信率,爲  $\frac{6}{27}$

由是觀之,量子之分配,各自由度均等者,其信率最大。若偏於一方,愈不均等者,其信率愈小。故自然現象發生之最後法則如次:自然現象之發生,其一系內能量子之分配,每趨於公平,至若偏於一方之現象,則不能發生於自然界內。

## 第七十一節 自然界之進化及革命

自然現象之不可逆性,根據量子說可由信率論解決,前已

詳述。果爾則自然界之不可逆性以及熱力學之第二法則，亦非絕對的，有時亦可生相反之現象矣。茲試就信率之意義而詳論之。

試於分子之運動，就擴散現象觀之，單位體積內之分子數，約為  $3 \times 10^{19}$  個，今若將輕氣與養氣各貯於容器內，使之接觸，而去其界，則此等分子自由運動，輕氣分子突入於養氣器內，養氣分子，亦進輕氣器內，逐漸混合，實驗上決不能見輕氣與養氣仍如從前之自然分離。故氣體之擴散，不能不謂為全不可逆。然則此種不可逆性，果屬於絕對乎？

茲為便於理解之故，取白球十個代表輕氣，黑球十個代表養氣，使如右圖，疊於容器下方之管內，而後使  
第七十圖  
出於上部較廣之處而攪拌之，再返於細管之內，使自然相疊，而調查其順序之變化，則其結果如下：

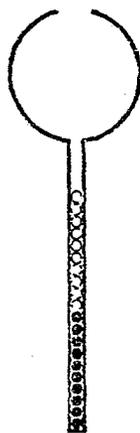
二球  $a, b$  置於一列之時其順序為  $ab$  與  $ba$  之二種，故可以

$$1 \times 2 = 2$$

之式表之。三球  $a, b, c$  之時，與順序為  $abc, acb, bca, bac, cab, cba$ ，六種故可以

$$1 \times 2 \times 3 = 6$$

之式表之。與此同理，總計二十個之球可以排列之順序，當為



$$1 \times 2 \times 3 \times \dots \times 20 = 2432902008176640000 \doteq 3.43 \times 10^{18}$$

種。故若假定此等之球，每實驗各取一種不同之順序而排列，縱一分間能實驗一次，每日即行八時間之實驗，非至  $1.4 \times 10^{12}$  年即十四萬億年之後在理不能得同一順序之排列。

然僅就白球觀之，因白球有十個故其排列方法，為

$$1 \times 2 \times 3 \dots \times 10 = 3628800$$

種。黑球亦同。若將白球與黑球各區別而排列之，先置全部黑球於下，置白球於其上；則黑球全部居下之方法，有三百六十二萬八千八百種，對於其中任何一種，白球全部居上之方法，皆有三百六十二萬八千八百種，故白球全部居上黑球全部居下之方法，當有

$$3628800 \times 3628800 = 13168189440000 \doteq 1.3 \times 10^{13}$$

故吾人隨意將十個黑球與十個白球攪拌而置於一列，各球如照其位次，各有對等之權利，則於

$$2432902008176640000$$

次之實驗中，僅有

$$13168189440000$$

次白球全部居上，黑球全部居下。即平均十八萬四千七百五十六次中僅有一次，例如，每分一次每日行八時間之實驗時三百八十五日始有一次，白球與黑球偶然分居上下與初時同。

上例不過十個白球與十個黑球混合，欲使其白球與黑球

分別如初之信率，當爲十八萬四千七百五十六萬分之一之至小之量。由是觀之，一立方呎內輕氣  $3 \times 10^{19}$  個分子與同容積中養氣  $3 \times 10^{19}$  個分子，自由運動，而能偶然如前全部之養氣集於一方輕氣集於他方之信率，其數小至如何程度，當可推察而得矣。

據清算之結果，知上部十個之內，九個爲白球一個爲黑球之信率，較全部爲白球之信率多十倍；八個白球二個黑球之信率，多二千二十五倍；七個白球三個黑球之信率，多一萬四千四百倍；六個白球四個黑球之信率，多四萬四千一百倍；各爲五個之信率，多六萬三千五百零四倍。自然現象從信率較大之方向而發生，故其初白球與黑球雖多別置之，若任意攪拌則白球與黑球逐漸混和，輕氣與養氣亦然，逐漸達於平均混和之狀態，故吾人認之爲不可逆。

然發生之信率，任若何微小，若不等於零，則其事象即非絕對不能發生，從其信率所示之比例偶有實現之日，此理論上當然之結果也。況某種現象發生之信率爲  $k$  云者，雖通常指全次數  $N$  中能發生  $Nk$  次。然嚴密言之，不過指全次數  $N$  與發生之次數  $n$  之比，若  $N$  爲無窮大，其極端之值近似於  $k$  而已。對有限次數  $N$  所實現之次數，有時可大於  $Nk$  有時可小於  $Nk$  亦爲必然之理。例如擲骰之戲，雖云得五之信率，爲六分之一，然非必擲骰六次即能得五一次，有時連續得五二次，有時連續十次亦不能得五，特平均爲六次之中可得一次之比例而已。

故千萬年始生一次之稀有現象，未必非俟千萬年之後不能發生，亦間有明日突然實現者。由是觀之，不可思議之現象突然實現，亦決非不合理之事。

綜合以上所說觀之，自然現象為不可逆云者，不過謂復返原始狀態之信率極小而已，並非絕無。自然現象，常從信率較大之方面發生，而不復於反對之方向，此為一般之法則，即自然界時時進化不止故也。然公算甚小之事象，理論上有時亦能發生，此即自然界上之一大革命。設有時起此革命，則此瞬間能量子之分配，忽不公平，宇宙之熱率，突然減少，自然又返於青年時代，而復登進化之程。故自然界終不達於其極，而得永續於無窮。

## 第七十二節 結論

就以上七十餘節之說明，綜合觀之，其初以為原子之不可切體所構成之物體，於絕對的獨立而存在之空間，在或時間之內，由各自之質量及相互之距離所決定之自然力而運動，因而顯呈自然現象。至質量之測定，最初雖以體積為標準，然因體積由溫度與壓力而變化，故不能為質量之正當代表者，乃以重量代之。又同一物體之重量亦因地而有輕重之殊，亦不足以代表正當之質量。故自牛頓以來，皆以慣性測之。同一物體之慣性，在昔以為決不受溫度壓力空間等之影響者，近始知其與運動之速度，固有密接關係存在也。

據放射作用之研究，原子並非不可切體，乃為極複雜之一個小世界。故古代之所謂原子，與今日所謂原子，其名雖同，而其實質則全然相異。今日之原子非物質之窮極的要素，尚可析為電子。故物質之最終要素為電，其質量僅由電磁作用而生。

然則電為何物乎？構成原子核心之陽性粒子與陰性電子合皆為電磁力之中心以外，無其他之意義。申言之，即由馬克斯配爾之微分方程式所規定，表示電磁力存在之中心，即為電子或陽粒子是也。

要之，宇宙最初無性無形，僅有存在。全宇相同而無差別，故不成形；渾然而無間隙，故無何等之特性。及其變動則生過與不足，始呈陰陽之性，而引力與斥力顯焉。其陰性之形者稱曰電子，陽性者稱曰陽粒子，陰陽互配而成一系，即為原子；原子者物質之最小單位也。

構成物質之原子，若果非單純而成一小世界，則物質所有之能，必可分為顯於原子之外部者，與隱於原子之內部者，此二者決非絕緣，潛在於原子內部之能，由輻射線之形式而顯於外部，輻射能自有電磁質量，故他物質吸收之而質量增加。故靜止狀態之物體，運動之時，因得速度而受必需之能，其質量亦當然增加。然運動與靜止為相對的，加速度與由此所生之力亦非絕對的，故為速度基礎之時間及空間亦失其獨立性，時間須與其體系之空間的位置相關聯，始有意義，全屬於

個性的，對於既知之空間雖有一定之時間，然對於不同之空間，則無共通之時間。

物質不能無限制分割，乃為原子或電子之微粒子所集合，能亦為不連續之物，無論於電於光於熱，皆以單位量之整數倍而授受。設此量子說同能常住之法則，亦果真實，則全宇宙間能之總量當由一定數之量子而成，故此等一定數之量子分配於自由度間之可能方法非無制限，某種分配方法實現之信率非為既定不可，故自然現象常從信率較大之方向而發生，誠為支配變化無窮之自然界全部之唯一法則。

據熱力學之第二法則，每發生自然現象，熱皆自高溫度之處移於低溫度之處，不能逆行，故最後全世界之溫度當趨於平等，停止一切活動，絕對不生變化，達於真正之常住態，而全世界終歸於無。然使量子說果真，則熱力學第二法則之根據，不過從發生信率之最大者而已，故反對事象發生之信率雖甚微小，然使不為零，則有時忽然實現，決非不合理之事。自然界一瞬不息，從信率較大之方向而進行，故有進化，絕無退化。特信率甚小之事象，偶然亦能突發，於是而生自然界之大革命。革命突發之遲速由偶然性而定，故其發生之時日雖不可期，然早晚必生，則為信率論上必然之結論。

蓋諸行無常，為支配自然界之最上法則，唯無常故進化不息。常住態者不過為極限之理想，而無實現之機會。革命者，當進化而致老熟之自然界未達極限之前，使得新生之唯一權道也。故天地雖非悠久不變，然必如斯而後宇宙始能永遠存在，而自然現象始克繼續於無窮。

## 跋

今日物理學界上最大之問題，且足以使哲學者及俗人驚駭者有三：因運動而生質量與時間之變化，及任何運動速度之和不能出於光之速度以上是也。此事若真，信有可驚之價值，但果出於理解而奇之乎？抑亦風聲鶴唳之類乎？則仍屬於疑問。

先就質量觀之，若果如吾人祖先素朴的之思考，以爲物體體積之大小，即表其質量之多少，則質量當隨溫度而變化矣，若果如今日實業界之思考，以爲物體重量之輕重，即表其質量之多少，則質量當隨場所而增減矣。而牛頓以來之物理學者，則以對於運動速度變化之抵抗即以慣性之大小，表質量之多少。故其結論質量當依運動之速度而變化。

牛頓氏既離却物體之體積及重量之關係，發見由慣性測定質量之方法矣。設今後學術界上，有人焉發見不依慣性而測定質量之法，則論者僅能謂物體雖因溫度壓力而變其體積，雖因運動速度而變其慣性，然而質量則當視爲不變。然科學以性質的之差別，誘致於數量的之差別爲本領，故自科學之立脚地觀之，構成自然界之最終要素，有一而已，此要素因以相異之數而集合故呈相異之性，而生相異之物體。故舍構成一物體最終要素之數之多少外，不能決定此物體之質量。吾人既知一定體積內分子之數，並知構成分子之原子之數，

又知構成原子之電子與陽粒子之數矣。使今後研究電子及陽粒子之構造，能達於唯一之要素，則一物體所含最終要素，若不由運動而生變化，則其質量不變，僅增加其惰性而已，可以斷言。

其次光之速度爲速度之最大限，雖加其他之速度亦不更大，此語初聞似甚奇異，但其實不必盡然。吾人試於現有之重力場上，研究其運動而觀之，就彈力，電磁力，以及爆發力等一切之力不能表現，僅有地球之引力作用之世界，而論其運動，若置石塊於水中，則以一種加速度下沈，如載鐵片於其上，則必得更大之加速度。故重物之落下速於輕物，此噶利略以前之哲學者所得之結論也。將重物使向橫運動之時亦然。若以繩繫棹上之物體，由滑車懸重錘於他端，則由錘之落下，而棹上之物體向橫運動，其加速度隨錘重之增加而俱增甚明。然無論如何，此等物體所得之最大加速度，決不能出於物體自由落下於真空中時之加速度  $g$  以上。

今於昇降機甲內就物體乙之落下觀之，昇降機甲靜止時，機內物體乙落下之加速度，命之爲  $a_1$ ，若昇降機甲以  $a_2$  之加速度落下，則其合成加速度，爲

$$A = a_1 + a_2$$

若  $a_1$  與  $a_2$  共小於  $g$  少許，則其和似當大於  $g$ 。此種理想果正當乎？甲乙落下之加速度共在同一重力之場而生，故以上加速度之加法不能適用。申言之，命

$$a_1 = g - \epsilon_1$$

$$a_2 = g - \epsilon_2$$

$\epsilon_1$  與  $\epsilon_2$  雖為極微之量， $A$  決不能大於  $g$ 。但  $a_1$  若為由重力以外所生之加速度， $a_2$  若為重力之加速度，則以上之加法當然可以適用。

由是觀之，在限於重力場之世界， $g$  為加速度之最大限者可理解；則在採用電磁的世界觀之力學，速度之最大限，為電磁波之速度一事當毫無不可思議之可言。或挽人力車或自其後推之，則行固快，然或挽或推之人數，任如何增加，決不能出於車夫單獨行走之速度以上，此理自人力車之性質上觀之，可以自明。故若離電磁的之世界觀，則可以有光速以上之速度。速度由距離與時間之比而測定，故由時間測定法之如何約束速度可為有限，亦可為無限。

更以他例說明之，最低溫度屬於有限。攝氏冰點下二百七十三度，為溫度之最下限，初觀似不可思議。然就氣體溫度計言之，不外為以攝氏零度時體積二百七十三分之一之增減，定溫度一度之昇降，由此定義所生之結果而已。攝氏零度，二石七斗三升之氣體，於冰點下二百七十二度變為一升，非使此一升之氣體體積至於全無，則不能達冰點下二百七十三度。反之，若以此時體積二百七十三分之一之增減下溫度昇降一度之定義，則溫度之最下限，當達於負無限量之結論。

第三為時間之伸縮一事。如照現在學術上之所採用，平均

太陽自一次南中至再南中時爲一日，而以其二十四分之一爲一時，則一時之長，非一定不變。吾人若從太陽運行之方向而前進，則時長，若從反對之方向而前進則時短，故吾人之住室，若於日中自其地出發以與太陽同一之速度而西行，則其室內常爲日中，一週地球之時間當爲零矣。相對性之原理，所下同時刻之定義，以光之傳達爲根據，故在與光以同一之速度而運動之空間，則時間毫不經過，亦不足異。

此處應注意者，即哲學者與俗人之誤解是也。在與太陽爲同一之速度而西行之室內，雖常爲日中，然遂謂午餐之後即行出發，至一週地球，仍無須晚餐，則其愚不可及矣。況若以太陽以上之速度而西行，則太陽且自出於西而沒於東，故遂謂歷史當一逆轉，自民國時代，經清、明、宋、唐、漢、周、商、夏，而返於太古，豈不成一大笑柄乎？若以太陽以上之速度而西行，則由太陽經過子午線所定之時間，當爲負量，故若以在光以上之速度而運動之世界，以光速爲根據而定之時間，自無意義。

西諺有「時間即金錢」一語，使吾譯之，欲改之爲「時間即貨幣」因物理學上所論之時間，不過貨幣之一種而已。世界大戰之影響，盧布與馬克等貨幣價大下跌。然戰前由盧布馬克等所評價之穀類肉類，其在人生上之價值，則不受其支配。因此等貨幣之下跌，而大受打擊者，僅爲此等貨幣之所有者，即德俄國民之有米穀及家畜者亦與貨幣下跌無關。哲學者之所謂時間，果爲貨幣之類乎？若幸而非貨幣，而與穀類及

肉類之價值相對應，則吾信其絕無因相對性原理而受動搖之理由。

自然界之進化，當為測定時間唯一之標準。甲之時間，唯由甲自身內所生進化之量可以決定。故真正之時間，全屬於個性的。進化急速云者，不過此系內時間之經過甚速而已。不進化云者，不外其個性時停止而已。如斯時間屬於個性的，殊見不便，故吾人當選共通之變化以為標準，即普通意義上之時間是也。學術上以地球自轉之回轉角表之，此與以金評定物之價值相同。依此意義故吾謂時間即為貨幣。

經過一日云者，不過地球自轉一次而已。故一日與一年，在地球誠有意義，由地球以外之物觀之，則不見其特別重要。馬齡一語足以盡此真理。蓋馬之老壯，不因馬生以後地球公轉若干次而決定，乃由馬齒加長之程度而表示之。故此種測定法，明為採用馬之個性時。蠶之熟否，不由蠶之孵化後地球公轉若干次而決定，乃由蠶眠次數而表示之。此亦由蠶之個性而測其老壯之例也。冰箱中之蠶卵，經過數百日亦不孵化，就蠶卵自身言之，其個性時未經過孵化所需之時間，特地球自轉數百回而已。

古人於上述個性時之後，假想有萬有共通之絕對時間。物與物若直接交易，則商學界上可除貨幣而不用。在物理學與力學亦然，亦可全置時間於度外。何以言之，運動之方程式，雖一般成立於時間  $t$  之變化，與距離  $x, y, z$  之變化之間，其實不

外地球回轉角之變化與 $x, y, z$ 之間所成立之關係而已。例如汽船一日航走三百海里云者，不外地球自轉三百六十度之間，汽船行三百海里而已，哲學者所認萬有共通之絕對時間，於物理學之議論毫無關係。然則物理學者何以於現在所有對於時間之概念生大變化，而哲學者反要求改造時間之概念乎？非魚者不能知魚之心，吾非哲學者不知哲學者本來以何為時間，故亦不能詳論其可否。

民國二十一年一月二十九日  
 敝公司突遭國難總務處印刷  
 所編譯所書棧房均被炸燬附  
 設之涵芬樓東方圖書館尙公  
 小學亦遭殃及盡付焚如三十  
 五載之經營墮於一旦迭蒙  
 各界慰問督望速圖恢復詞意  
 懇摯銜感何窮敝館雖處境艱  
 困不敢不勉爲其難因將需用  
 較切各書先行覆印其他各書  
 亦將次第出版惟是圖版裝製  
 不能盡如原式事勢所限想荷  
 鑒原謹布下忱統祈垂督

上海商務印書館謹啓

## 版 權 所 有 翻 印 必 究

中華民國十一年十一月初版  
 民國廿二年國難後第一版  
 三月印行

最近物理學概觀一冊

(四九九)

每冊定價大洋

外埠酌加運費

壹元肆角肆

原 著 者 日下部四郎太

譯 述 者 鄭 貞 文

校 訂 者 周 昌 壽

發 行 者 上海河南路  
 商務印書館

發 行 所 上海及各埠  
 商務印書館

