



用校學範師校學中

英國愛丁堡大學
格致科學及藝術科碩士
王兼善編

民國新
教科書
物理學

(改訂本) 上海商務印書館出版



3 1773 3396 4

編 輯 大 意

MG
G634.8
52

1

編 輯 大 意

- 一. 是書係依照教育部新法令編輯。專為中學校女子中學校及師範學校女子師範學校之用。其要旨在授以重要現象及定律。器械構造之要理。並兼課實驗。使學者習得自然現象之知識。領悟其中法則及對於人生之關係。
- 二. 本書約供一學年之用。約計每一學年為四十週。每週合四小時。如各校時間有所伸縮。則教授事項亦不能不隨之增減。故本書排印。用四號及五號字。其為普通知識。所不可少者。則用四號字。其試驗。習題及非中等知識所必不可缺者。則用五號字。故時間充裕。則可全行講授。若時間稍促。則四號字各段照常講授外。其五號字各段。可酌量擇用。不必全授。
- 三. 是書次序務求明晰。文字務求簡單。講解務求詳明。自首至尾。一線相貫。由淺入深。循

序漸進。以啓學者之心思。而引起其進取之興味。均以蘄合乎教授法之原理也。又書中每節上角。均附有本節之要略。以便提絜綱領。使教者及學者易於會悟。

四. 書中試驗與理論。常相輔而行。理論常由試驗推出。或以試驗證之。俾學者知試驗之要用。而養成其崇尚實驗之心。又此種試驗。均爲鄙人所屢經試驗而知其爲確實可恃者。然猶恐學者易於差誤。故所有試驗。仍一一爲之詳細解釋。

五. 書中所用術語。均取其最通用者。每一術語之旁。必附註西文。以便參考。

六. 按教育部新法令。以八月一日爲學年之始。七月三十一日爲學年之終。故當教至本書之末章磁電學時。約在夏期六七月之間。或不便試驗。然磁電學若不試驗。殊難領解。故教員可相時將此章提前教授。以便試驗。

中華民國二年一月 編輯者王兼善謹識

再 版 附 識

本書出版數月。蒙社會歡迎。行銷頗速。茲特再版以答盛意。所有初版時爲手民誤排之處。已於付印時一律更正。倘此次仍有錯誤。經採用是書諸君覺察見告。或此外有何見教。鄙人無任歡迎。惠函請寄上海商務印書館編輯所轉交爲感。

中華民國二年十月 王兼善謹識

第十六版訂正附識

本書再版校正後。瞬越七載。第十六版將次發印。將書中特誤之處詳加校改。譯名亦酌易一二。理論算式。亦修整數處。以期完善。

民國九年十二月 商務印書館編譯所識

波
橫波
縱波

總目錄

第一章

緒論

物理學之界說——物質與能力之別(現象)——物 質之通性(物質不滅、填充性、不可入性、質量及重 量、慣性、有孔性、可分性)——能力之要性(能力不 滅之定律)——物理學之分類——物質之三態(固體、 液體、氣體).....	頁數 1—11
--	------------

第二章

聲學

I. <u>成聲之理</u> ——成聲之理——振動(橫振動、 直振動、振振動、單弦振動)——傳達(聲浪、密部 及稀部、浪長、等相位、振幅、振動週期).....	13—24
II. <u>聲之速率</u> ——(氣體傳聲之速率、液體傳聲 之速率、固體傳聲之速率).....	24—27
III. <u>聲浪進行遇阻力後之結果</u> ——反射 (回聲、雷震)——屈折(風折)——干涉及升沈.....	28—32

- IV. 強迫振動及感應振動——共鳴(球形共鳴器) 33—37 頁數
- V. 樂音——音之高低(振動次數、測音器、測音齒輪)——音之強弱——音色(原音、副音、倍音)——音階(和音、乖音、音比、八音階、加高、減低) 37—48
- VI. 附各種振動體之研究——弦線振動之研究(原音、節點、弦腹、腹點、副音)——空氣柱振動之研究——鐘板等振動之研究(克氏音圖、留聲機器) 49—62

第 三 章

光 學

- I. 光之直達及速率——光之直達(像與影之別)——光之速率(飛氏之法) 63—69
- II. 光之強弱(光度)——因物體離發光體之遠近——因射入角之大小——因各種發光體之不同(本生光度表、標準燭、燭光) 70—77
- III. 光之反射——光線反射之定律(射入角、射

出角)——平面鏡之反射(多次反射)——球面鏡之
 反射(凹面鏡、凸面鏡、中心點、焦點、共軛點)——
 一球面鏡所成物體之像——附球面收差(反射曲線)
 及散光……………77—98

IV. 光之屈折——光線屈折之定律(射入角、屈
 折角、離角、屈折率)——光線經過平面厚玻璃之屈
 折——光線經過三稜鏡之屈折(三稜鏡、折角)——
 光線經過透鏡之屈折(透鏡、聚光透鏡、散光透鏡、
 雙凸透鏡、凹凸透鏡、平凸透鏡、雙凹透鏡、凸凹
 透鏡、平凹透鏡、光點、副軸、焦點距離)——透鏡
 所成物體之像(單顯微鏡、複顯微鏡、星學遠鏡、加
 氏遠鏡)——附球面收差及臨界角(全反射)……………98—129

V. 光之分散——分光鏡——光帶分三大類(連
 續光帶、輝線光帶、吸收光帶、光帶分析術、發氏
 黑線)——關於分散所起數種緊要現象之釋明(成虹
 之理、正虹、副虹、色收差、減色透鏡)——附顏色
 之研究(補色、原色)……………129—149

VI. 成光之理——光係一種波浪之作用——光

浪發生之根源——光浪傳達之媒介(以脫)——光浪 之狀況.....	頁數 149—159
-------------------------------------	---------------

第 四 章

固 體 力 學

I. <u>運動學</u> ——數種緊要名稱之界說(運動、直線運動、曲線運動、速、速率、等速運動、不等速運動、等速率、不等速率、加速率、等加速率、不等加速率)——等速運動之公式——等加速運動之公式——數速率之合併(結果速率)——一速率之分解	· 163—178
II. <u>動力學</u> ——數種緊要名稱之界說(力、運動量、外力)——奈端運動之定律——奈端運動第一律之討論(慣性律、離心力、向心力、)——奈端運動第二律之討論(絕對標準、重力標準、達因、磅度)——奈端運動第三律之討論(主動力、反動力)——物體關於吸力之運動(吸力、地心吸力)——墜體之運動(物重之公式、墜體速率與時間相關之公式、墜體所經之路與時間相關之公式)——擺之運動——奈端吸力之定律.....	178—212

III. <u>靜力學</u> (平衡)——二力之平衡——三力之平衡(平行方形定律)——數力之平衡——重心——物體之三種平衡 (安定平衡、中立平衡、不安定平衡).....	212—224
IV. <u>工作及能力之研究</u> ——工作 (愛格、尺磅度、克裡、尺磅、佳爾、工率、馬力、瓦德、千瓦德)——能力(位置之能力、運動之能力).....	227—231
V. <u>機械學</u> (機械、主力、抵力、機械之利、機械之定律、有效率).....	237—242
<u>槓桿</u> ——槓桿之種類(支點、抵力點、主力點、第一類槓桿、第二類槓桿、第三類槓桿)——槓桿機械之利——關於槓桿類之數種緊要器械(天平、稱)...	242—247
<u>滑車</u> ——定滑車及動滑車之別——數滑車之合併(第一類合併滑車、第二類合併滑車、第三類合併滑車).....	247—254
<u>輪軸</u>	254—256
<u>斜面</u>	256—259
<u>尖劈</u>	259—260

<u>螺旋</u> (旋距).....	頁數 260—262
---------------------	---------------

第 五 章

流 體 力 學

- I. 關於液體中分子力之研究——凝聚力——
 一 表面張力——微管之現象.....264—269
- II. 關於流體中壓力之研究——巴氏流體傳
力之定律 (水壓機)——由地心引力所起之壓力之研
究 (密度、液體靜止時之面、連通管中之液體).....269—281
- III. 關於流體浮力之研究——亞幾默德氏
之定律——密度之測定法 (比重瓶浮秤).....281—291
- IV. 關於空氣壓力之研究——空氣有壓力
之證明 (麥葛得堡半球)——空氣壓力之大小 (脫而
 昔里試驗、氣壓)——氣壓表——各種唧筒 (抽氣筒、
 壓氣筒、抽水筒、壓水筒)——附波以耳氏之定律及
空氣之浮力 (氣球、飛艇).....291—311

第 六 章

熱 學

- I. 熱與物體漲縮之關係——物體漲縮之試

驗(葛氏球圈)——寒暑表(熱度、冰點、沸點、度、攝氏表、華氏表、列氏表)——物體之漲率(長短之漲率、面積之漲率、體積之漲率、固體之漲率、液體之漲率、氣體之漲率、查爾氏之定律)	314—327	頁數
II. <u>比熱之測量法</u> (加路里、比熱).....	327—330	
III. <u>熱與物體變態之關係</u> ——融解、(融解度、隱熱、融解熱)——氣化(蒸發、沸騰、氣化熱) ...	330—336	
IV. <u>熱之傳佈</u> ——傳導——對流——輻射(熱射輸)	336—342	
V. <u>熱與工作之關係</u> ——工作可變為熱(往爾之試驗、工作當量)——熱可變為工作(汽機).....	342—345	

第 七 章

磁 電 學

I. <u>磁之要性</u> (磁石)——關於磁之要性之試驗(南極、北極、磁力線、磁力場)——附磁之原理.....	348—352
II. <u>電之要性</u> (電、受有電力)——關於電之要性之試驗(陽電、陰電、驗電器、傳電體、不傳電體、感應作用)——附電與磁之要別	352—360

- II. 數種發電之要法——起電盤(火花)——
起電機(弗氏起電機)——電池(電流、弗氏電池、雷
氏電池、本生電池、戴氏電池、重鉻酸電池)——發電
機(發電子、電磁石、反向器)……………060—373
- IV 量電之法——電氣單位(可倫之定律)——
電位之差(動電力、弗打、弗打表)——電流之測量
法(電流之多寡、安培、安培表)——阻力之測量法
(阻力、歐姆)——電池之接線法(異極接線法、同極
接線法)——電氣容量(蓄電器 來頓瓶)……………373—386
- V. 數種工業上之緊要電具——電鈴——
電報(發信器、受信器、電報字母、無線電報、電浪、夸
希拉)——電話——電燈(白熱燈、弧燈)——愛克
司光線——摸托……………386—397

附 錄

- 科學中通用之緊要度量衡表…………… 399
- 英法二制互合表…………… 400
- 本書中應用器具及藥品表……………401—404
- 正弦及正切表……………405
- 中西名詞索引……………407—412

中學新教科書

物理學

第一章

緒論

物理學
之界說

吾人所有之學問。種類繁多。然大別之。可分爲二種。曰人爲科學 (Humanistic studies)。曰自然科學 (Natural sciences)。人爲科學者。自然界本無此種現象。由人類創造而成爲科學。如文學史學之類是也。自然科學者。自然界本有此種現象。人不過取自然之現象。而加以研究耳。如動物學植物學礦物學天文學化學之類是也。物理學者。亦係自然學之一種。專究自然界物質 (Matter) 及能力 (Energy) 之現象。惟不涉及異種物質相遇而生之物質現象。(例如二種物質相遇。有能起相互之變化而成新物質者。有不能起相互之變化而不能成新物質者。此乃因異種物質相遇而生之物質的現象。內容頗複。

亦不涉及物質與能力之關於生活作用者。（蓋此種生活作用。頗屬特別。且極繁複。須另在生物專門學中考之。）

物質與能力之別

物理學既係研究物質及能力之現象。則亟須先將物質及能力之界說與區別詳明之。考宇宙間之事事物物。紛紜萬狀。然究其極。則知皆爲物質與能力二者所成。如山川草木。皆物質也。如光熱電力。皆能力也。總之。凡能佔宇宙間之地位者。謂之物質。凡能顯作用者。謂之能力。例如懸壁之鐘係物質也。以其佔有壁上一定之地位。非將該鐘移開。不能使他種物體。亦同時佔其所佔之地位故也。然該鐘懸於壁上究爲何用乎。莫非欲其所懸之擺動搖工作以報時刻耳。然該擺不能自動。若欲其動。非先以人力緊上其發條不可。此所用之人力。即係一種能力。與鐘之物質異。加入此力後。則該鐘始能顯其作用。由是觀之。物質之與能力。顯然不同明

矣。學者若細察天地間萬物之現象。則可知其皆爲物質及能力二者所呈之現象也。

物質之
通性

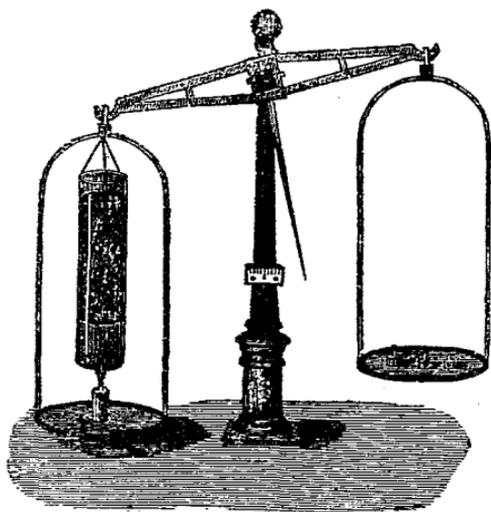
學者既明物質與能力之區別。今將物質之通性 (General properties) 擇其要者考之。蓋凡爲物質。莫不含有以下各種之性。故謂之通性。知其通性。則所謂物質者。更易明矣。

(1) 物質不滅 (Conservation of matter) 凡物質。不能生滅。不能增減。不過可由此種物質變而爲他種物質而已。是謂物質不滅之定律 (Law of conservation of matter)。今試設一試驗以明之。

試驗 1. 如第一圖。用小天秤一架。左邊懸一大號玻璃管或竹管。其中實以固體之氯化鈣 (Calcium chloride) 及氫氧化鈉 (Caustic soda)。左邊盤中置一小燭。須適在所懸玻璃管之下。右邊盤中置以法碼或其他重物。使二邊等重。然後將小燭燃點。立待片刻。即見天秤失其平均而墜。燃燭之一邊反向下

墜。顯明較他邊爲重。

以尋常之意識測度。必以爲燭經燃後。則燭之物質漸歸銷滅。使燭之物質果能銷滅。則天秤燃



第 一 圖

燭之一邊。必當漸漸減輕。故左邊理當上升而不當下墜。今上試驗。證明其實係下墜而並非上升。可知該燭燃後。非但物質不滅。且必與空氣中物質相合。而變成一種新物質。此新物質係氣體。爲氯化鈣及氫氧化鈉所吸收。故左邊反較未燃之前爲重也。物質烏能滅乎。

(2) 填充性 (Extension) 凡物質均佔宇宙間之地

位。是之謂填充性。換言之。即凡物質均有長寬厚三者之謂也。故雖薄紙一片。有長有寬。然亦未始無厚。不過爲厚極微而已。若竟無厚。則不成其爲紙矣。

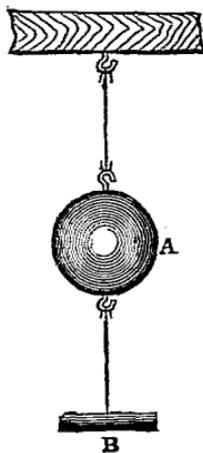
(3) 不可入性 (Impenetrability) 凡一地位既爲某物質所佔者。非將該物質移開。則他物質不克同時亦佔有之。是之謂不可入性。故若杯已滿水。再置入他物。則水必溢出。即此理也。

(4) 質量 (Mass) 及 重量 (Weight) 物質多寡之量。謂之質量。物質爲地心吸力所吸引。則顯有輕重之別。謂之重量。質量不隨地改而變易。而重量則常隨地以更改。故同一若干之質量。或置地球之赤道。或置地球之北極。其質量仍毫無變易。而其重量則更改。蓋赤道及北極二處之吸力大小不同。故重量亦不同也。然二物質若同在一地時。則其質量之比例。可以其重量表之。蓋既

同在一地。則每若干質量所受之吸力相同也。

(5) 慣性 (Inertia) 凡物質之靜者有恒靜之性。
動者有恒動之性。謂之慣性。例如火車初開時。
不能速行。及其既行之後。不能立止。蓋前者欲
其由靜而動。後者欲其由動而靜。均悖物質之慣
性故也。下列試驗。亦可證明物質之慣性。

試驗 2. 如第二圖。以線懸重物 A。
下端繫一線。線端更懸小杆 B。吾人若執 B
杆。向下漸漸加力。則線必斷於 A 上。以 A
上之線。受有 A 物之重。故加力後。較 A 下
之線所受之力為大故也。然若執 B 杆向下
急速加力。則線必斷於 A 下。因 A 物有慣
性。所加之力尙未傳至 A 上。而 A 下之線
已斷故也。



第 二 圖

(6) 有孔性 (Porosity) 凡物質中均有微孔。雖似

極密之物質。其中實亦有微孔。是之謂有孔性。
茲設一試驗以明之。

試驗 3. 取一-刻有度數之長玻璃管 (Burette)。中置清水 50 立方糵 (Cubic centimeter)。乃緩緩加酒精 50 立方糵。則管中總體積共為 100 立方糵 (即 $50 + 50 = 100$)。乃緊閉管口而搖動之。則酒精與水相和合。而體積即縮為約 97 立方糵。此曷故乎。蓋酒精及水。其中各有微孔。混和後。酒精及水之微點即侵佔微孔之地位。故體積縮小 3 立方糵也。

(7) 可分性 (Divisibility) 考物質均屬可分。故設取鐵一塊。可分為二。復可分為四。以至於達極微之點。謂之分子 (Molecule) 者而後止。然以化學之作用。分子尙可再分而成更小之點。謂之原子 (Atom)。學者學習化學後。自能詳明之矣。

以上係物質之通性。蓋物質莫不有此性也。此外尙有他種性質。因物質種類不同之故而殊異者。或因同一物質。因其所處地位之不同而性質亦異者。則謂之特性 (Special or contingent properties)。

此種特性。於下文聲光等類中及之。

能力之
要性

以上既述物質之性。茲將能力之要性言之。能力亦不能生滅。不能增減。

不過可由此種能力。變而爲他種能力而已。是之謂能力不滅之定律 (Law of conservation of energy)。

例如若將二手摩擦甚速。則覺手中發熱。摩擦愈速。則發熱愈大。是何以故。蓋摩擦之能力。變而爲熱力之能力故也。又如將重物高提。則須用力。然所用之力並不銷滅。蓋該物既至高處。則下墜時即可發一種能力。常有用以打樁入地者。故提高時消耗之能力。變而爲下墜時發生之能力。提之愈高則用力愈多。而下墜之力亦愈大。可知能力不能生滅。此處所顯之能力。卽爲他處所失之能力。且必相等。學者若細察自然界各種能力之作用。則知其莫不皆然。卽如火車之飛行。輪舟之捷駛。所用之力。莫非來自煤中者。蓋煤與空中之氧化合。放出極大之熱力 (Heat)。此

熱力使水膨脹。故變而爲運動之能力 (Kinetic energy)。此能力使機輪轉動。則車舟始得而行動。故機輪所得之能力。卽煤所失之能力。並無生滅於其間也。

註。 以後熱學中佳爾氏 (Joule) 之試驗。更可實行證明能力變爲熱力。毫無生滅。學者待後自能明之。

又前見物質不能生滅。今知能力亦不能生滅。可知自然界中物質及能力。恆有一定之數。且二者顯係截然不同之物。不可互相變化。否則能力及物質之數可有增減矣。

物理學
之分類

學者既明物質及能力之要義。乃可進而考求物理學之內容。蓋物理學係研究物質及能力之學。非先稍明物質及能力之要義不可也。考物質及能力所發之現象。共可歸成數大類。本書中將物理學共分爲六大類。以便分別研究之。如是則物理學變爲有次序之科學。而學者自有頭緒以從事考求矣。茲將六大類之名開列於下。

(1) 聲學 (Sound)

- (2) 光學 (Light)
- (3) 固體力學 (Mechanics of solid)
- (4) 流體力學 (Mechanics of fluid 又名 Hydrodynamics)
- (5) 熱學 (Heat)
- (6) 磁學及電學 (Magnetism and Electricity)

物質之 三態

註。物質共有三態(Three States of matter)。

即固體(Solid)液體(Liquid)氣體(Gas)是也。

液體及氣體均係可流動之物。與固體之不流動者異。故液體及氣體二者。可總名之謂流體(Fluids)。以別於不流動之固體。

固體本身有一定之形狀(Shape)及大小(Size)。例如冰係一種固體。有一定之形狀(如或方或圓之類)。且有一定之大小者也。液體本身無一定之形狀。而有一定之容積。例如水係一種液體。本身無一定之形狀。隨其所盛之器而不同。故盤圓則水圓。盤方則水方。然其容積固仍有一定也。氣體本身既無一定之形狀。亦無一定之容積。例如水蒸氣係一種氣體。本身無一定之形狀。亦隨其所盛之器而不同。且無論器之大小。均可滿佈其中。與液體不同。

習 題

1. 物理學研究何事。試詳言之。
2. 火車行時忽停。則人必向前倒。停時忽開。則人必向後倒。試以慣性之理詳釋之。
3. 將一空瓶倒浸入水中。若非將瓶中氣泡驅出。則水必不能充滿瓶中。何故。
4. 常有人思造一種機器。能永遠自動而不息者。可得而致之否。試詳釋之。
5. 吾國變戲法者。以爲可使物質自有變無。或自無變有。試言其謬。

聲 學

S O U N D

第 二 章

聲 學 (Sound)

1. 成聲之理

成 聲 之 理

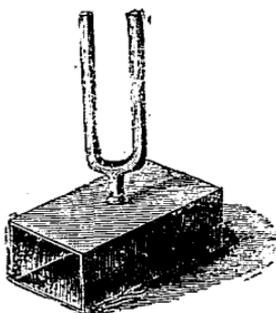
聲者何。乃物質急速
振動 (Vibration) 之結果

也。故鐘鼓係可發聲之物。然
非先擊之使震動。則不發聲。

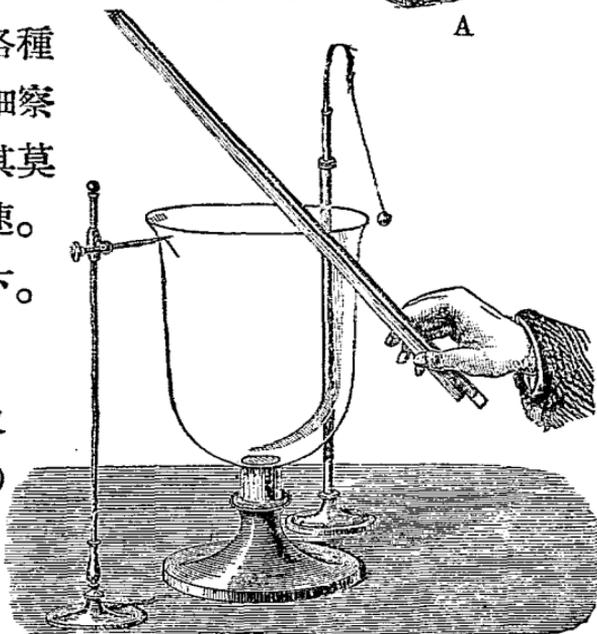
吾人若將各種
發聲之物細察
之。則知其莫
不震動甚速。
可試之如下。

試驗 4.

(a) 取一音叉
(Tuning Fork)
如第三圖 A。
在桌上擊之使
發聲。然後將



A

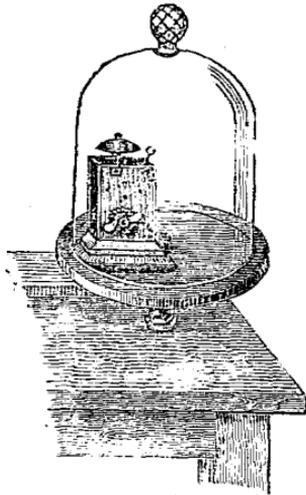


第 三 圖 B

又使之輕輕觸於口中之牙上。則覺其振動極速。(b)取一大玻璃器。如第三圖 B。以物擦之使發聲。乃以一線所繫之小通草球(Pith ball)。觸於器上。則見該球振動甚速。

由是觀之。物質之急速振動。爲成聲之第一要素。然若進而考之。則知此外更有一要素也。卽物質雖振動。若無傳聲之媒介 (Medium)。則亦不能成聲。可試之如下。

試驗 5. 在抽氣機上。置一有法條而能自擊之鈴。以玻璃罩覆之。則仍聞鈴聲。今若將罩中空氣抽出。則聞鈴聲漸微。待至罩中空氣抽盡。則鈴聲不復能聞。今若將空氣復行放入。則鈴聲復顯。又若罩中空氣抽去後。以他種氣體放入。(如輕氣 Hydrogen 煤氣 coal gas 等類) 亦能聞罩內之鈴聲。



第 四 圖

此試驗顯明氣體乃傳聲之媒介。故鈴振動時。若其周圍無氣體。則聲不傳達。有氣體則始可傳

達。然此外尚有他種物質。亦可爲傳聲之媒介。可試之如下。

試驗 6. 取一大玻璃器。中盛以水。或他種液體亦可。置於桌上。乃將音叉由其叉架上拔下。而將叉之底端。另插於一極薄之木板上。今若輕輕擊叉。則發聲極微。然若使薄木板底觸於玻璃器中水面上。則聲即變大。且一若此聲由桌上所發出者。

此試驗顯明液體亦可爲傳聲之媒介。蓋音叉之振動。爲水傳達於桌上。而桌之振動。復傳於空氣中。故一若此聲由桌發出也。

試驗 7. 執一長薄木條。使一端觸於門上。乃以發聲音叉之柄。觸於木條之他端上。則聞聲若由門上發出者。

此試驗顯明固體亦可爲傳聲之媒介。蓋音之振動。由木條傳於門上。而門之振動。復傳於空氣中。故一若聲由門上發出者。

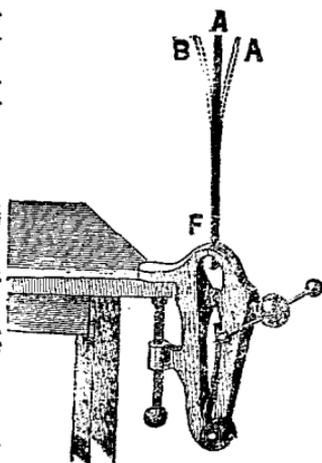
由上種種之試驗。可知物質之急速振動。因傳聲之媒介。而將物質振動之力。傳達於吾人之耳膜。吾人乃覺有聲。此成聲之理也。

振動(Vibration)及傳達(Transmission)。既為成聲之要素。則不可不將振動及傳達二者。分別將其內容研究之。

振動 凡物質往返運動。且每過若干一定之短時後。復照其原樣運動者。謂之振動。例如鐘擺之搖動。係一種振動。因其自左而右。復自右而左。則成完全振動(Complete vibration)一次。乃復照前自左而右。自右而左。再成完全振動一次。如此屢次擺動。且每次擺動所需之短時必相等。故鐘擺之搖動。係一種振動也。按振動共可分為數種。茲試考之如下。

試驗 8. 取銅片一條。下端用鐵箝固執之。如第五圖之AF。乃將上端拉至一邊而速放之。則見其左右振動。

此種振動。其振動之方向。與振動物質本身之長短



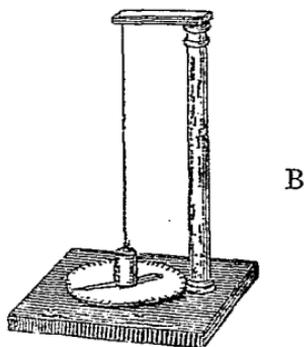
第五圖

方向成直角者。謂之橫振動 (Transverse vibration)。

試驗 9. 取一鐵絲。繞於一鉛筆上。乃將鉛筆取出。則得螺旋形。如第六圖 A。今若將其一端箝住。而將其他端輕輕拉開速放之。則見其振動甚速。

此種振動。其振動方向。與振動物質本身之長短方向相同者。謂之直振動 (Longitudinal vibration)。

試驗 10. 如第六圖 B。取一粗鐵絲。上端在架上箝住。下端繫一重物。若將此重物旋轉而速放之。則見其自能往返旋轉數次。



第六圖

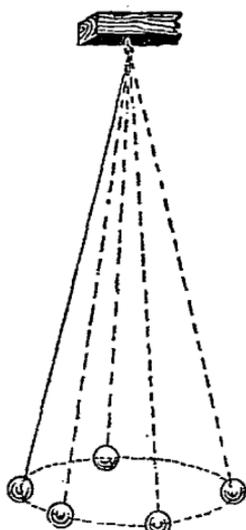
此種振動。其振動之方向。係往返周旋於振動物質本身長短之方向者。謂之捩振動 (Torsional vibration)。

註。 此外尚有一種單弦振動 (Simple harmonic motion)。頗關緊要。學者亦當稍知其大意也。設以一球。以長線懸之。

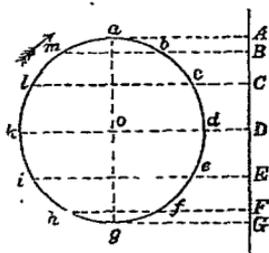
使依一圓形旋動。如第七圖。當其旋動時。若將窗戶關閉。使屋中黑暗。而以一白紙片置球後。以一燭置球前。則見白紙上球影。依一直線左右振動。且在左右二端時。行動較遲。而在中間時。行動較速。

此種振動。謂之單弦振動。凡發音樂體之振動。均屬於此。其所以中速而左右遲者。觀第八圖即知。

圖中之圈。表明球體旋行之路。A G 直線。表明白紙上球影之直線。設將圈分爲 ab 及 bc 等十二分。乃由 ab 等點。垂虛線於 AG 上。則立即可見近端之 AB。較 BC 爲短。BC 較 CD 爲尤短。至其他 端之



第 七 圖



第 八 圖

GF。與 FE 及 ED 之關係亦如此。然球之旋行速率。既無快遲之別。則經過 AB 所需之時。與經過 BC 或 CD 所需之時相等。然 AB 既較 BC 爲短。BC 又較 CD 爲短。此所以覺球影在二端

行動較中間爲遲也。

傳達 學者既明物質振動之要義。今試研究傳聲之媒介。如空氣等類。已見前第15頁。)傳達此種振動時。媒介中究起何種之作用。

試驗 11. 如第九圖。取一長錫管。其小端前置一燃點之燭。

管之他
端上。



緊繫薄

第 九 圖

皮紙一層。今若將書二本。在薄皮紙後相擊作聲。則見小端前之燃燭擾動。若將指甲在皮紙上擊之過速。則燃燭竟可被滅。然學者須知。此燃燭之被擾。並非因管中空氣若風之流出之故。蓋管端既有皮紙遮護。則在紙外以二書相擊。勢必不能使管中空氣流動若風也。且設管口盛以濃煙。則二書在皮紙外相擊時。燭雖仍被擾動。而濃煙並不被驅出管外。尤可證明上言之不謬。

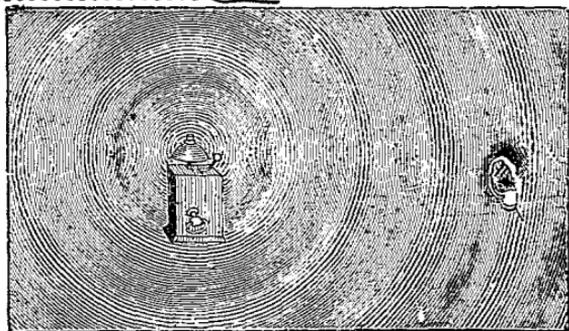
由上試驗。可知空氣能傳達物質振動之力。然空氣傳力時。並不若風之流出。則究由何法以傳達乎。其理如下。空氣係由微小質點所成。二書

在皮紙外相擊。則皮紙起橫振動。而左右往返甚速。當其向右時。擊於管中最近皮紙處之空氣質點上。此質點向右進行時。復擊於稍遠之質點上。而自被阻止進行。此被擊之稍遠質點。復擊於更遠之質點上。如此以次遞達。漸及於遠。當皮紙返向左擊時。管中最近皮紙處。變爲虛空。故最近皮紙處之空氣質點。即復向左進行。然後其他稍遠之空氣質點。以次均復向左進行。如此皮紙往返不息。故管中之空氣質點亦往返不息。而成一種振動。故以上試驗中空氣能傳皮紙振動之力。而空氣並不流出管外也。凡如此傳聲媒介質點之振動。以次及遠所成之現象。科學家謂之聲浪 (Sound wave)。亦猶墜一小石於靜水中。水點依次振動。漸及於遠。而成波浪也。惟此二種之浪。稍有不同。蓋落石於水所成之浪。因重力之作用。上下起伏。成山谷形狀者 (Crest and trough)。至傳聲之浪。則係密部及稀部相間所成。而無山谷形狀者。其故如下。

按以上皮紙向右擊時。管中空氣。忽依次向右進擊。故空氣必變爲較前濃密。自左而右。依次及遠。然待皮紙反向左擊時。空氣忽依次向左回返。故必變爲稀淡。亦自左而右。依次及遠。然濃密之作用。既發於先。稀淡之作用。係起於後。故後之稀淡作用。勢不能趕及前面之濃密作用。故稀淡恒在濃密之後。照此一路向前傳達。待皮紙復向右擊時。則空氣中又起一第二濃密作用。追於稀淡作用之後。待皮紙再向左行時。又起一稀淡作用。追於此第二濃密作用之後。故皮紙如此往返振動不息。空氣中起濃密及稀淡相間之作用。科學家名此濃密處爲密部(Condensation)。其稀淡處爲稀部

(Rarefaction)。

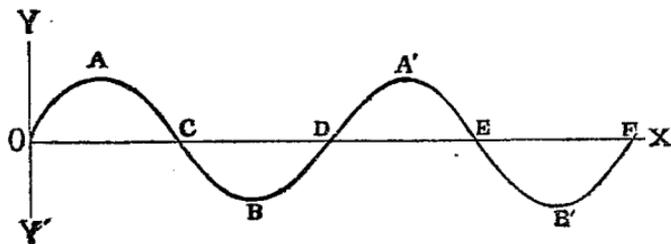
故聲浪乃密部及稀部彼此相間依次進行所成。



第十圖

此種聲浪。傳達至吾人之耳膜時。密部使耳膜向內。稀部使耳膜向外。故耳膜亦起振動。吾人乃覺有聲。故假如有一鈴在空氣中搖擊。其四周空氣傳聲之法。可以第十圖表明之。

註：此種聲浪。更可以他種簡明法表示之。如第十一圖。以 ox 線為聲浪進行之方向。 oy 為測量密部之線。愈密則愈高。 oy' 為測量稀部之線。愈稀則愈下。則以上密部及稀部所成之



第十圖

聲浪。可以圖中曲線表之。

凡浪中二相同點之距離。謂之浪長 (Wave length)。故圖中 A 點至 A' 點。或 B 點至 B' 點等。所隔之距離。即係浪長。蓋此係物質一完全振動時。所成之浪之長短也。又凡浪中二相同之點 (即地位方向均同)。謂之等相位 (Same phase)。例如 A 點與 A' 點。或 B 點與 B' 點。或 C 點與 E 點。各係等相位也。又自

A 至 ox 直線上作垂線。此垂線謂之振幅 (Amplitude)。自 B 至 ox 直線上之垂線亦同。此兩振幅相合。謂之全振幅。又聲浪進行一浪長地位所需之時。(如由 A 點至 A' 點。或由 B 點至 B' 點等所需之時。)謂之振動週期 (Period of vibration)。即發聲浪之振動體。成一完全振動所需之時也。

習題

1. 如用甲乙二小竹筒。其一端各以薄膜 (如皮紙等類) 緊束之。若二人各執一筒。相離數丈對立。而以一細長鐵絲。連接於甲乙二筒薄膜上。則若一人在甲筒口輕輕言語。彼人能在乙筒口聽之頗明晰。試詳言其理。
2. 如有人在遠方放大炮。何以屋中玻璃窗等振動。
3. 有一鈴振動極速。若其四周無空氣。則不聞鈴聲。究屬何故。
4. 如有甲乙二人。甲將耳置火車鐵軌上。乙在遠處將該軌道以物擊之。則甲先後共可得聞二聲。試言其故。

II. 聲之速率

(Velocity)

聲既由媒介傳達。依次及遠。則自必有進行之速率。考此種傳聲速率。係視何種媒介而定。今分別氣體液體及固體三種媒介。而考其傳聲之速率也。

(a) 氣體傳聲之速率 曾有人設法測量空氣傳聲之速率。法以甲乙二炮置二處。中間相離頗遠。一人將甲炮開放。則乙炮處之人。先見光亮。次聞炮聲。(考光行極速。遠勝於聲。故若甲乙相距。苟非極遠。甲炮放時。光可立至乙處。) 以時表測定見光與聞聲相差之時爲若干秒。次將乙炮開放。使甲炮處之人依同法測定所差之時爲若干秒。此二時之酌中數。卽聲由甲至乙或由乙至甲所需之時也。設以 t 爲所需之秒數。 d 爲甲與乙相距之呎數。則以 t 除 d 。卽得空氣傳聲每秒之速率爲若干呎。以此法實驗。得聲在空氣中之速率。在攝氏表零度時(或寫爲 0°C)。每秒約爲 332.4 呎。合英尺爲 1090.5 呎。若在 20°C 時。則每秒鐘約爲 1130 呎。

註。 聲之速率。與空氣之熱度有關係。熱度高。則速率

較大。測得每增 1°C 。速率約加二呎。約合 0.6 呎。

又各種氣體傳聲之速率。各有不同。與氣體密度(density)之平方根(Square root)成反比例。例如輕氣(Hydrogen)之密度。較養氣(Oxygen)小十六倍。則輕氣傳達之速率。反較養氣速四倍。四即十六之平方根也。

(b) 液體傳聲之速率 液體傳聲之速率。亦各不同。須視何種液體而定。曾有人設法測量聲在水中傳達之速率。法在水中用甲乙二船。相離頗遠。由甲船上將一鐘下懸水內。由乙船上將一聽聲筒。一端繫束薄橡皮一塊。浸入水中。至其他暴露於水面之一端。則插有一喇叭。以便聽水中之聲。乃由甲船用槓杆在水中擊鐘。同時即使火藥少許。在船上燃燒。則乙船上人先見光亮。次聞鐘聲。其相差之時。約為聲在水中由甲船處傳至乙船處所需之時。以此所得之時。除甲乙之距離。則即可得速率矣。由此試得。在熱度 80°C 時。聲在水中之速率。約為 1435 呎。可知較在空氣為速。

(c) 固體傳聲之速率 固體傳聲之作用。亦有不同。須視何種固體而定。例如在 0°C 時。每秒鐘傳聲之速率。鐵爲 5 1 2 7 呎。玻璃爲 5 0 2 6 呎。鉛爲 1 2 2 8 呎是也。

習題

1. 考近地面處空氣。較山頂高處爲密。問空氣傳聲。在近地面處爲速。抑在近山頂處爲速。并言其故。

2. 設有一軍隊。見遠處敵軍炮台開炮。自見光至聞聲。測得相差 1 6.3 5 秒。設當時空氣之熱度。測得爲 20°C 。問敵軍炮台遠離若干英尺。 答 1 8 4 8 0 呎。

3. 在 0°C 時。空氣傳聲之速率。每秒爲 1 0 9 0.5 呎。問空氣若在 $4 5^{\circ}\text{C}$ 時。每秒速率當爲幾何。

答 1 1 8 0.5 呎。

註。 參觀前第 26 頁上之小註。

4. 輕氣密度。約較空氣小 14.5 倍。若空氣傳聲速率。每秒爲 1 0 9 0.5 呎。問輕氣傳聲速率。當爲若干。

答約 4 1 4 4 呎。

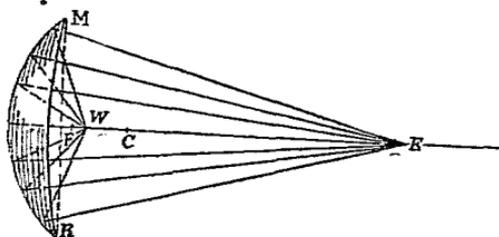
註。 參觀前第 26 頁上之小註。

III. 聲浪進行遇阻力後之結果

學者既明物質之振動。可使媒介中起聲浪。依一定之速率而進行傳達。今試研究此種聲浪進行時。若他物阻礙之。則當起何種之作用。今可分為以下三者研究之。即(1)反射(2)屈折(3)干涉及升沈是也。

反射 凡有彈性(Elasticity)之物。如橡皮球之類。擊於他種堅硬物質上。則必折回。聲浪亦然。可試之如下。

試驗 12. 如第十二圖。取一時表。置一凹面器 MR 之前。如 W 處。(在凹器之焦點 F 前少許。)則在離器稍遠處。當可覓得一點如 E。置耳於此處。即能聞時表之聲。較在他處為



第十二圖

明晰。然若將凹器移去。則聲即減低。幾不能聞。

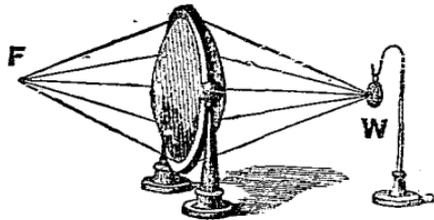
此曷故乎。蓋 W 處時表所發之聲浪。進行至凹

器處。則擊於凹器之面。即被折回。此種折回之聲浪。聚於 E 點處。故在 E 點處。聲較他處爲明晰。凡如此聲浪進行遇他物質而折回之作用。謂之反射 (Reflection)。考聲之反射作用。吾人常遇之。例如回聲 (Echo)。亦因聲之反射作用而起。蓋所發之聲。遇他種物質如高牆大樹之類。以致反射而使吾人復聞原聲也。又如殷雷 (Reverberation)。係因雷聲被數次反射而起。蓋雷聲觸於一雲上。被反射於他雲上。如此數次反射。則成殷雷。故殷雷乃多數回聲連續而成者也。

屈
折

試驗 13.

如第十三圖。取一盛氣袋。盛以*二氧化碳氣體 (Carbon dioxide)。而懸掛之。一面懸一時表如 W。



第十三圖

則在他面可得一點如 F。如將耳置在此點處。可聞時表之擺聲。較他處爲明晰。

*此氣之製法。見民國新教科書化學中。

此試驗。證明聲浪經過充滿二氧化碳之袋。則被折而聚於一點。此種作用。謂之屈折 (Refraction)。今將其理言之。二氧化碳氣體較空氣爲密。故其傳聲之速率。較空氣爲小。(參觀前第 26 頁上小註中)又其袋之兩面爲凸形。故自 w 處發出之聲浪。經過二氧化碳氣體時。袋之周緣部。傳聲較中央爲速。故外部聲浪。得以先進而折聚於一點。反之。今若將袋中盛以較空氣爲稀之氣體。如輕氣之類。則傳聲之速率。較空氣爲大。聲浪經過此袋時。即被屈折外散。而不聚於一點。總之。聲浪由一種媒介傳入他種媒介時。其進行之方向常被改變。是謂之屈折。

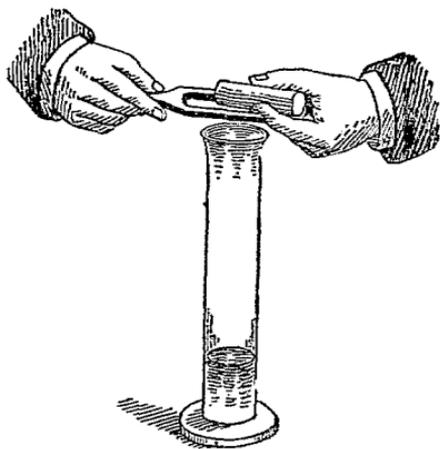
註。聲浪亦常因風之作用。致起屈折者。蓋近地面處。風之速率。較稍高處常小。故若聲浪與風同一方向進行。則稍高處。聲浪進行時。速率較近地面處爲大。故聲浪被折而向下。若聲浪與風之方向適相反對。則近地面處聲浪進行時。因所受之阻力較小。其速率較稍高處爲大。故聲浪被折而向上。此種因風而致聲浪屈折之作用。謂之風折 (Wind refraction)。

干涉及 升洗

設如有一種聲浪。在空氣中進行時。與他聲浪相遇。則起何種之作用乎。可

試之如下。

試驗 14. 如第十四圖。將發聲之音叉。在玻璃筒上輕輕旋轉。(玻璃筒之用處。在使聲音格外明響。理見以後IV強迫振動及感應振動中。)則當知叉邊向筒口時。音叉所發之聲。幾不聞。今若將一紙管套於叉之一枝上。則聲更明響。



第十四圖

此曷故乎。蓋一音叉共有二枝。故空氣中同時起相似之二聲浪。惟其進行之方向則適相反。蓋二枝振動之方向適相反也。故此二浪達於空氣中時。若一浪之密部。與他浪之稀部。適相衝突而消滅。則不復聞。所以上試驗中。音叉邊轉向筒口時。聲即不聞。若將一紙管套於叉之一枝上。則其所發之聲浪。不與他枝所發之聲浪相衝突。故

聲復明響也。

總之。凡在同一之媒介中。同時起相似之二聲浪。致相衝突者。此種作用。謂之干涉 (Interference)。然若二聲浪並不相似。例如有二物振動。一物每秒振動一百次。一物每秒振動一百二十次。則此二種聲浪。必然不同。則可得聲音忽升忽沈之作用。謂之升沈 (Beats)。可試之如下。

試驗 15. 取發聲相似之二音叉。使之發聲。則聲甚和洽。無異一音叉所發者。以每秒鐘每叉振動之次數相等故也。今將蠟少許。黏於一音叉之一枝上。然後使二音叉再同行發聲。則聲忽跳動。忽升忽沈。是蓋因一叉黏蠟後。每秒振動之次數。即與未黏蠟之音叉不同。故起升沈之作用也。

習題

1. 當遠來之聲。聞之不甚明晰時。何故以手置耳後。則能聞之較爲明晰。
2. 當一人向衆演說時。如該人背後有牆壁等類。則聽者聞聲。較無牆壁時爲明響。試言其理。
3. 試詳言聲之屈折、干涉、及升沈之理。

IV. 強迫振動及感應振動

(Forced and sympathetic vibration)

甲物體振動。常能使乙物體亦起振動。然可顯分爲強迫及感應二種。茲以下試驗明之。

試驗 16. 取一重球。以線或鐵絲懸之。則可以使之搖動如鐘擺。今若再取一小輕球。以線懸於此重球之底下。然後再將重球振動。則因其力較輕球爲大。故強使輕球亦隨之而起同樣之振動。

此試驗顯明輕球之振動。由於重球強迫而起。且輕球之振動週期。(即每一完全振動所需之時。參觀前第24頁小註中。)本與重球之振動週期不同。今因重球之強迫。致輕球亦強照重球之振動週期而振動。凡此種舍自己本來之振動週期。而隨他物體之振動週期以振動者。謂之強迫振動 (Forced vibration)。如琴弦下之板。因弦之振動。而亦起同樣之振動。故聲更明響。此亦強迫振動之作用也。又二時鐘置二架上。振動之速率本稍異者。今若同置於一架上。則竟起同樣之速率。是蓋因鐘之振動。使

架起同樣之振動。而傳及於他鐘。致使二鐘之振動相同。此亦強迫振動之一種也。

試驗 17. 取振動週期相同之二音叉。(即發聲相同之二聲叉) 同置桌上。相離不遠。使之各不發聲。今若只使一音叉發聲。待數秒鐘後禁止之。則聞本不發聲之他音叉。反發聲甚響。若取振動週期不相同之二音叉。照法試之。則不起此種作用。

此試驗顯明一物體振動。能使與之振動週期相同之他物體。感應而亦起振動。凡此種一物體。因他振動週期相同之物體振動。而亦起振動者。謂之感應振動 (Sympathic vibration)。蓋因一物體振動。則其力因空氣傳於他物體上。若此他物體之振動週期。與發音體相同。則屢受此種空氣所傳之力後。即起同樣之振動。然若其振動週期。與發聲體不相同。則無積聚之效果。故不起感應。

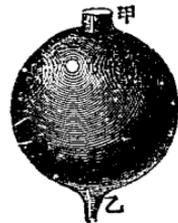
共鳴 若甲物體振動。使乙物體感應而起振動。則此乙物體所發之聲。即可助甲物體所發之聲。故聲即格外明響。此種作用。謂之共鳴

(Resonance)。爲用頗廣。蓋欲聲音明響時。此法極爲有用。卽如音叉之架。係一小空木箱。(見前第14頁上第三圖) 所以然者。因如此則音叉振動時。木箱及箱中之空氣。均起振動。而成共鳴之作用也。

又如第十五圖。係希母氏共鳴器

(Helmholts resonator)。大小種類頗多。

甲爲此器之大口。乙爲插入耳中之小口。則因其大小之不同。故每種只能與其振動週期相同之發聲體。



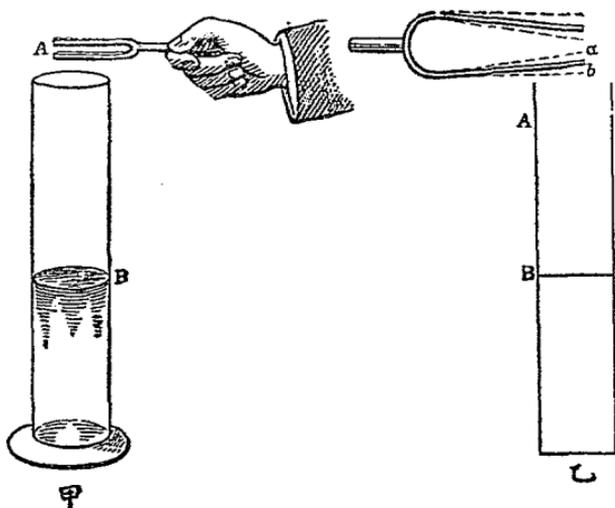
第十五圖

起共鳴之作用。而不與其他振動週期不相同之體共鳴。蓋大小不同。則器中所容之空氣多寡亦不同。故其振動週期亦不同。共鳴既由振動週期相同之二體相感而成。故每器只能與振動週期相同之聲起共鳴也。下列試驗。可以證明此理。

試驗 18.⁴ 取一長圓玻璃筒。筒口上執一發聲之音叉。如第十六圖之甲。乃將水漸漸加入筒內。則水漸高而筒中空氣漸少。聲亦漸響。待筒中空氣達一定之高低時。聲音最響。過此界限則聲復漸微。若將各種發聲不同之音叉照法試之。則知其聲最

響時。筒中
空氣之高低。
各有一定。

按以上試
驗中。聲最
響時。因筒
中空氣與音
叉起共鳴之
作用故也。



第十六圖

至其空氣所以須達一定之高低而後始起共鳴者。可以第十六圖之乙解釋之。音叉之枝。由 a 至 b。係一完全振動之半。所發聲浪之密部。向下進行入筒中。設若 A B 等於浪長之四分之一。(浪長界說。見前第 23 頁。)則此聲浪密部。下至水面。被水面復反射至筒口所行之路。共等於浪長之半。當聲浪之密部在筒內時。筒口以外。因反感而生稀部之聲浪。音叉之枝。又適在由 b 至 a。助其振動。則聲音較響。而成共鳴之作用。此所以筒中空氣。須達一定之高低也。按各種發聲不同之音叉。其振

動週期亦不同。故筒中空氣高低。須各有一定。

以上希母氏之大小各種共鳴器。所以每種只能與振動週期相同之聲共鳴者。亦卽此理。

習題

1. 若將一發聲音叉之柄。觸於桌上。桌亦振動。而聲卽加響。此係強迫振動。抑感應振動。
2. 將空磁瓶口置耳邊。則覺有聲頗大。試言其故。

V. 樂音

(Musical Sound)

物體所發之聲音。有聽之而能悅耳者。有聽之不能悅耳而反生厭者。其能悅耳者。謂之樂音。其不能悅耳者。謂之噪音 (Noise)。樂音關係頗要。茲特研究之。

吾人欲究樂音。當先知音之三要素。蓋因此三要素。而生種種之樂音。且使一種樂音。常可與他種樂音辨別。此三要素維何。卽音之高低 (Pitch) 強弱 或大小 (Intensity or loudness) 及音色 (或音

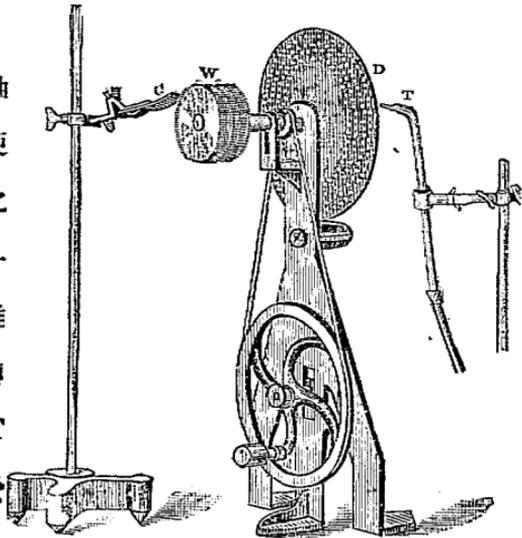
趣)(Quality)是也。今試分別考之。

音之
高低

聲由物質之振動而成。學者均已明曉。然考振動之遲速。與音之高低。大有關係。振動愈速。則音愈高。振動愈緩。則音愈低。若振動太緩。(約每秒振動十六次以下) 則竟不成音。下列試驗。可以證明音之高低之要理。

試驗 19.

在一可以旋動之機軸上。裝一有小孔之硬紙片。如第十七圖之D。此種小孔。成一圈形。每二孔之距離均相等。今若使機轉動。而以空氣壓入T管。使放出時。射於紙上之一周小孔上。



第十七圖

則即有音發生。機轉愈速。則音亦愈高。

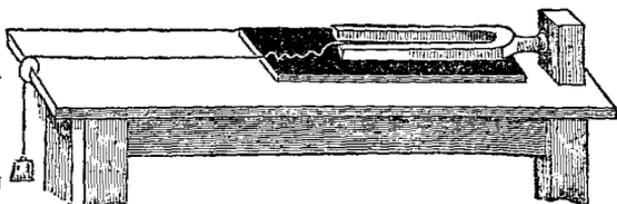
又如在以上機軸上。裝一小齒輪。如圖中之w。而以一薄片c。

緊觸於齒輪上。則機軸轉時亦有音發生。機轉愈速。則音亦愈高。

由上試驗。可知音之高低。係於振動之速率。振動愈速。則音亦愈高。蓋以上試驗上。每一小孔或每一小齒。可發一聲浪。今小孔相續。或小齒相續。故空氣中聲浪亦相續。相續愈速。則吾人耳膜之振動亦愈速。故覺其音愈高也。且以上試驗中小孔之數。既可預知。小齒之數。亦可預知。而每一秒中機軸共轉若干次。亦可測知。故以每秒之軸轉次數。與小孔或小齒之數相乘。即可得所發之音。爲每秒鐘若干相續之聲浪所成。換言之。卽爲每秒鐘若干次振動之數所成也。此種每秒鐘若干次振動之數。謂之振動次數 (Frequency 又名 vibration rate)。科學家由此種方法。考得凡每秒鐘振動次數約在十六次者。爲最低之音。至最高音之振動次數。則竟有至每秒四萬次者。大凡各種樂音之振動次數。係在每秒自四千次至二萬七千次。

註。以上試驗中。小孔紙片。謂之測音器(Syren)。至小齒輪。則謂之測音齒輪(Savart's wheel)。蓋此種名稱。爲測量振動速率中所常見者也。又設有一音叉。不知其振動次數。則可使測音器或測音齒輪發生一與此叉相同之音。而測定其振動次數爲幾何。此振動次數。卽與其音叉之振動次數同也。惟此法須藉吾人之聽官。蓋須聽準測音器或測音齒輪所發之音。究與音叉之音是否相同也。然欲聽準其究竟是否相同。則頗不易。故不如用以下之繪畫法 (Graphic method) 爲佳。蓋此法不藉聽官也。例如

設有音叉
所發之音。
不知其振動
數。則可知



第十八圖

第十八圖。取一玻璃。面上以燈煙塗黑。(可用浸有輪質Benzene之紙燒之。則發煙極大。將玻璃置煙中。則卽塗黑。)置桌上。一端以線繫於一重物。而使墜於桌邊。以便該重物下墜時。玻璃卽可自能移動。乃在音叉之枝上。以臘黏一小針。將音叉擊動使發聲。而使小針觸於移動之玻璃上。則玻璃上卽繪有彎曲

之紋。今如測定玻璃在小針下共移動若干秒。又計算所繪之紋中共有若干彎曲之紋。以秒數除彎曲數。即可得該音叉每秒鐘之振動次數矣。蓋每一彎曲。係該音叉完全振動一次也。此法不藉聽官。故較佳。

音之
強弱

音之強弱。與音之高低不同。蓋音之高低。由於振動次數之不同。而音之強弱。則與振動次數無涉。然則究因何故而起強弱之不同乎。今將其要故研究之。

(a) 由於聽聲者離發聲體之遠近有不同也。 離發聲體愈近。則聲愈強。離發聲體愈遠。則聲愈弱。蓋發聲體振動之力。傳於其四周之空氣層上。此空氣層更將其所得之力。傳於其外之空氣層。如此以次進行。然此種空氣層。係球圓形面。(參觀前第 22 頁上第十圖) 愈外則愈大。故愈遠則其力愈分。而每點空氣質點上所受之力愈微。終至微至銷滅而止。夫每點空氣質點所受之力愈微。則傳於吾人耳膜時。耳膜之振動亦愈小。此所以愈遠

則音愈弱也。算學家考得球圓形面之大小。與其半徑之平方成反比例。故音之強弱。與其離發聲體遠近之平方成反比例也。

(b) 由於發聲體之面積有大小之別也。發聲體面積愈大。則被其振動之空氣量愈多。故音愈強。反是則弱。可試之如下。

試驗 20. 取振動速率相同之二音叉。惟其大小則不同。今若將此二音叉所發之音比較之。即知較大之音叉。所發之音為較大。

(c) 由於發聲體之振幅（見前第 24 頁上）有大小之別也。可試之如下。

試驗 21. 取一音叉。輕擊其枝。則發音甚小。若以之觸於水面。水之被振亦甚微。是蓋因其振幅不大也。今若重擊其枝。則發音較強。若以之觸於水面。水之被振亦較甚。是蓋因其振幅較大也。

(d) 由於傳聲之媒介有不同也。可試之如下。

試驗 22. 如第十九圖。玻璃器中盛比空氣較輕之氣。如輕氣(Hydrogen)之類。而後搖動器中之鈴。則知所發之聲。

較器中盛空氣時爲微。今若將玻璃器中盛以比空氣較重之氣。如二氧化碳(Carben dioxide)之類。而將鈴搖之。則知所發之聲。較器中盛空氣時爲強。



由是觀之。因各種傳聲媒介之密度(Density)有不同。故聲有大小之別也。

第十九圖

音
色

音有高低及強弱之別。學者既已明之。然此外尙有一要素。與高低及強弱無涉。即音色(Quality)是也。例如洋琴(Piano)所發之音。與胡琴(Violin)所發之音。其高低大小有相同者。然吾人仍可將洋琴之音。與胡琴之音識別。可知其中必有他種不同之處在也。凡此種聲音不同之處。不能歸諸聲之高低及強弱者。則以音色之名括之。

註。凡當樂器只發一音時。明音樂者。常能察知除一最

響之音外。同時尚有他種較小之音發生。而雜於其中。故該樂器所發之一音。實係多音所成。凡該樂器所成最響之音。謂之原音 (Fundamental tone)。而其所雜之音。謂之副音 (Partial tone)。如副音之振動速率。較原音適多數倍者。則更可謂之倍音 (Harmonics) 以別之。(例如原音振動速率為 n 。則振動速率 $2n, 3n, 4n$ 等之音。均為倍音。) 考音色之所以起。實由於音中所雜副音有不同之故。例如原音強大。而所雜之副音既少且弱。則其聲柔。如原音微弱。而所雜之副音既多且強。則其聲剛。

按前言每種希母氏共鳴器。能與其振動週期相同之音共鳴。夫振動週期相同。即振動次數相同。故用各種共鳴器。可將各種所雜之副音識別。蓋一種共鳴器。只能與一種所雜之副音起共鳴也。希母氏即用此共鳴器。測得二音之音色所以不同者。實由於其中所雜之副音不同耳。

音

階

學者既明音之三要素。則可以知各種音之所以不同之故。今將樂音中所用之音階 (Musical Scale) 考之。蓋凡二種聲音。或同時並發。或相繼而發。有能悅耳者。則謂之和音 (Consonance)。有不能悅耳者。則謂之乖音 (Dissonance)。樂音之術。

在求其和音。而去其乖音。音階即致此之道也。
今擇其要點言之。

科學家考得凡二音並發或繼發。如此二音振動次數之比例。可以二整數表之。且此二整數各不甚大者。則此二音能成和音。否則成爲乖音。例如設有甲乙二音。甲之振動次數每秒鐘爲512次。乙之振動次數每秒鐘爲256次。則甲乙二音振動次數之比例爲 $\frac{512}{256}$ 。然此比例可以 $\frac{2}{1}$ 表之。此2及1均係整數。且爲數各不大。故此甲乙二音。可成和音也。此種二音振動次數之比例。謂之音比(Interval)。於樂音中極關緊要。蓋樂音之和否。當全在此音比上著手也。科學家將各種聲音及其音比研究之後。知凡如二音之音比爲 $\frac{2}{1}$ 。則所成之音較他種音比爲最和。而在此二音之中。尙有六音。其振動次數在甲乙二音之中。與甲乙共成八音。此八音可以互成和音者。如此八音。謂之八音階(Diatonic Scale 又名 Gamut)。今將C, D, E, F, G, A, B, C' 八字。代表八音之名。而將每音與首先一音(即C。

謂之首音(Tonic or Keynote.) 之音比。及每接連二音之音比。列成一表如下。凡能成和音之八音。恆須依此一定之音比。此一定之音比。爲科學家詳細研究之後而始得者。

八音階

音名	C	D	E	F	G	A	B	C'
每音與首音之音比	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{2}{1}$
每接連二音之音比		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

又科學家考得凡二音之和否。全視其音比而不在其振動次數之究爲若干。例如前見有振動次數 512 及 256 之甲乙二音。其音比爲 $\frac{2}{1}$ 而成和音。今設如有二音。其振動次數與甲乙不同。而其音比亦爲 $\frac{2}{1}$ 。則此二音亦成和音。故無論若干振動次數之一音。可以之爲首音。其餘各音之振動次數。即可依上表中之音比推算而得。今設一例以明

之。設以振動次數 256 之一音爲首音。則其餘各音之振動次數。即可推得。例如第二音之振動次數。當爲 256 之 $\frac{9}{8}$ 即 288 也。此外以此類推。茲開列如下。

音 名	C	D	E	F	G	A	B	C'
各音之振動次數	256	288	320	$341\frac{1}{3}$	384	$426\frac{2}{3}$	480	512
每音與首音之音比	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{2}{1}$
每接連二音之音比		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

註。(1) C D E F G A B C' 八字母。常用以代表八音。然亦有以 do (多) re (列) mi (密) fa (華) So (酸) la (拉) Si (西) do (多) 八名以代表之者。(2) 樂音中常有須以一音加高或減低者。如將無論某音之振動次數加多 $\frac{25}{24}$ (振動次數加多。則聲即稍高。)則謂之加高 (Sharpened)。而在該音上加井記號以表明之。如將某音之振動次數減少 $\frac{24}{25}$ 則謂之減低 (flattened)。而在該音上加 b 記號以表明之。(3) 現今各國樂音所擇之首音。

各有不同。上言無論何音。均可擇之爲首音。故不必定以何音爲首音也。(4)觀上二表可知音比共有多種。如 $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, $\frac{2}{1}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{16}{15}$ 等。音樂家將每種音比。各與以專名。以便稱別。然爲初學計。無須知之。(5)觀上表可知末音 C' 512。與首音 C 256 相比。其振動次數適多一倍。今更可以 C' 512 爲首音。而另成八音。接於以上八音之後。此另成之八音。其振動次數自各較以上八音爲多。故音較高。如此以次接續。則每較後之八音。較其前之八音爲高。於樂音中極爲有用。蓋如此則可任意選擇高低也。

習題

1. 音之高低。由何而別。試詳言之。
2. 設擊鐘使發聲。吾人若離鐘太遠。則聞聲極微。或竟不能聞。試言其理。
3. 設前第十七圖之測音器。共有 40 小孔。每分鐘軸轉 1023 次。問所發之聲。係每秒鐘若干振動次數所成。 答 682 次
4. 何謂音比。又二音同時並奏。或相繼續奏。問此二音須有何種之關係。則其音始和。

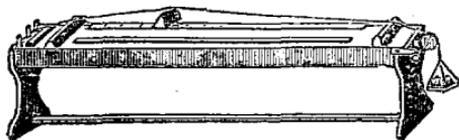
VI. 附各種振動體之研究

以上既將關於聲之種種要點。分別詳述。則可以知聲之所以起。聲之所以傳達。及聲之所以不同。故關於聲學之普通知識備矣。茲更將各種振動體附考之。以究各種物體之振動。有無互相不同之處。且有無一定之律。若是則吾人聲學之知識更益備矣。茲分別研究之如下。

弦線振動
之研究

考弦線 (String) 振動之遲速。(即振動次數) 恆視其張力 (Tension 即將線拉緊之力) 長短 (Length) 直徑 (Diameter) 及質量 (Mass 見第一章第 5 頁) 四者而異。可試之如下。

試驗 23. 如第二十圖。取一鐵絲。橫於一長桌面上。絲之一端。繫於桌之首小柱上。絲之他端。懸以重物。使絲緊張。



若以指甲撥之。則此絲

第二十圖

發生一音。此音可作為八音階之首音。今若以一可移動之三角式小木。緊插於鐵絲之下。使鐵絲之長。依次照八音階之音比。

變爲前長之 $\frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}$ 等等。則每次所發之音。各各不同。絲愈短。則所發之音愈高。而考得此種種所發之音。與首音之音比。卽成爲八音階之音比。

由此觀之。弦線振動之次數。與弦線之長成反比例。

試驗 24. 取粗細不同之二鐵絲。照上法緊張於一桌上。以指甲撥之。則知粗絲所發之音。較細絲所發之音爲低。換言之。卽絲愈粗。則振動次數愈少也。今若將三角式小木。緊插於粗絲之下。以使粗絲較短。待其所發之音。與細絲所發之音相和而止。設如 l 及 l' 爲粗細二絲之長。 d 及 d' 爲粗細二絲之直徑。則可得 $\frac{l}{l'} = \frac{d'}{d}$ 。由此式可知設二線之長相等。則其振動次數。當與其直徑成反比例。

由是觀之。弦線振動之次數。與其直徑成反比例。

試驗 25. 取相同之二鐵絲。緊張於一桌上。而二絲端所懸之重物。則不相同。(卽張力不同) 以指甲撥之。則懸物較輕之一絲。所發之音爲較低。今若以三角式小木。使此絲較短。待其所發之音。與懸物較重所發之音相和而止。設以 l 及

l' 爲 絲之長。 t 及 t' 爲二絲所懸物之重。則得 $\frac{1}{f} = \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t'}}$ 。

由是觀之。弦線振動之次數。與其張力之平方根成正比例。

試驗 26. 取直徑相同而質料不同之二絲。如一鐵絲一銅絲之類。緊張於一桌上。而二絲所懸之重物。亦各相等。乃以三角式小木之移動。使二絲所發之音相和而止。設以 l 及 l' 爲二絲之長。 m 及 m' 爲二絲每單位長之質量。(如該絲每寸或每尺所有質量之類) 則得 $\frac{1}{f} = \frac{\sqrt{m'}}{\sqrt{m}}$ 。

由是觀之。弦線振動之次數。與其每單位長之質量之平方根成反比例。

學者既明弦線振動次數之定例。今將弦線振動時。所發之原音及副音考之。(參觀前第44頁上小註) 蓋弦線能顯之甚明晰也。

試驗 27. 取一絲線。一端懸在一音叉之枝上。他端懸於一可以旋轉之木塞上。乃使音叉發聲。而將絲線旋緊。待該絲全體振動不分段節如第二十一圖 (1) 而止。

絲線如此一體全行上下振動時。所發之音爲最微。此種最微之音。謂之該絲之原音 (Fundamental)。

總之。凡原音係由弦線全體振動。不分爲段時所發。蓋此絲線亦可使之分段而振動。則所發之音。

卽與原音異。

可試之如下。

試驗 28.

在以上之絲線振

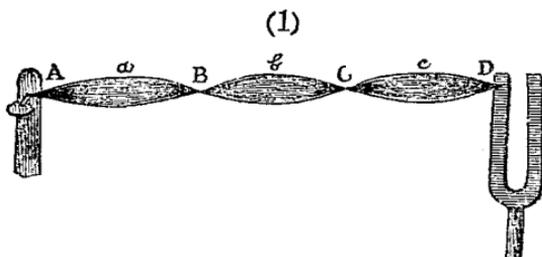
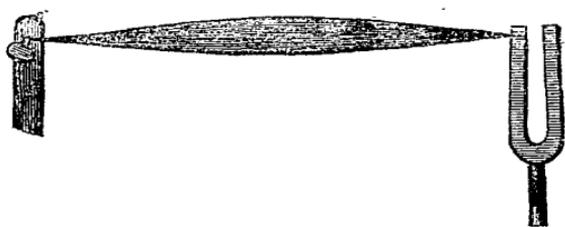
動時。將線端之

木塞旋緊或放鬆

之。則可得該線

振動如第二十一

圖(2)之形狀。



(2)

由是觀之。

第二十一圖

物體有時可分爲數段(Segments)而振動。如以上試驗中。該線共分爲三段。

註。凡每段之首尾兩點。及線二端之二點。如 A, B, C, D。其振動力爲最小。則謂之節點(Node)。每段之中點。如 a, b, c。則謂之腹點(Loop)。又每二節點之距離。等於浪長之半。如 A 及 B 之距離。B 及 C 之距離。C 及 D 之距離是也。考線

之所以能如此分段振動者。則因一端所發之浪。傳至線之他端時。即反射相同之浪。與之相衝故也。

按副音即由物體分段振動而起。可試之如下。

試驗 29. 取一絲線。緊張於一桌上。如前第二十圖。(惟三角式小木。可以去之。)乃在近絲之一端處。用二指摘之。或以弓弦擦過之。使絲振動。則所發之音。最明晰者為原音。然當其振動時。若在絲之適中間處觸之。則該絲所發之音。較原音高一倍。前言弦線振動之次數。與弦線之長成反比例。今所發之音。既較高一倍。則可知該絲必分為二段而振動無疑。蓋每段較原絲之長短一半。則所發之音始可較原音高一倍也。今若待其如此振動時。再在近絲之一端摘之。則原音及較高一倍之音。可同時並聞。可知一絲振動。可同時並發數音也。今若在該線離端三分之 處觸之。則弦線分三段而振動。如絲頗長。則更可設法分為多段。

凡物體如此分段振動。所發較原音振動次數為多之音。謂之副音 (Overtone or partial tone)。考音色之不同。即由此種所雜之副音有不同之故。(參觀前

空氣柱振 動之研究

空氣柱(Air Column)之振動。事屬常見。如簫笛等器之能吹奏。即由於簫笛中之空氣柱振動之故。茲先將此種空氣柱振動次數之定律考之。換言之。即考其聲之高低。視何而定是也。可試之如下。

試驗 30. 取一玻璃管。約長 30 釐。直徑 25 釐。乃將一活木塞由管之一首塞入管中。而以一端壓扁之短銅管。橫置管之他端。輕輕吹之。如活木塞之地位。置得適宜。則管中即發生一原音。蓋由於管中空氣柱振動故也。今若將活木塞逐漸進塞。使管中空氣柱。較前依次減短 $\frac{8}{9} : \frac{4}{5} : \frac{3}{4} : \frac{2}{3} : \frac{3}{5} : \frac{1}{2}$ 。則所發之音。與八音階中音之漸高相同。

由是觀之。空氣柱振動之次數。與空氣柱之長成反比例。

試驗 31. 取甲乙二玻璃管。其直徑亦均相同。(約 2 釐) 惟其長則甲管適為乙管之倍。(例如甲長 20 釐。乙長 10 釐之類。) 今若將一首壓扁之短銅管。在甲口輕輕吹之。復在乙口吹之。惟在乙口吹時。用手緊閉乙之他口。而在吹甲口時則否。則可察知二筒所發之原音。高低相同。

由是觀之。欲使一閉口及一不閉口之二管。發振動次數相同之音。則不閉口之管。須較閉口之管長一倍。

學者既明空氣柱振動之定律。今試研究空氣柱發原音及副音時。空氣柱中起何種不同之作用。以便與前弦線發原音及副音時之作用比較之。而知其不同也。且前見音色之不同。在於副音。而藉空氣柱振動之樂器。種類亦多。則空氣柱發副音之定律。自不可不知之。茲分別以試驗證明之。

試驗 32. 取一玻璃所製或一面有玻璃之風琴管(Organ pipe此係研究聲學者。所必須備之器。出售儀器處有製成者。)如二十二圖之甲。使發最低之音時。(即原音)以一鋪有細沙之薄皮。漸漸入之。如圖中之乙。則可察知當薄皮在管之適中點時。沙之振動為最微。在二首時，沙點振動為最甚。顯見



第二十二圖

此中點係節點 (Node)。而二首各爲腹點 (Loop)。蓋節點處振動力爲最小。而腹點處振動力爲最大也。今設如將管之一首緊閉之。則緊閉處自必振動力最小。而變爲節點。若將沙自閉處節點之一端。漸移至未閉之他端。則可察知沙之振動漸甚。至達他端時爲最甚。可知未閉之端。仍爲腹點。

由是觀之。可知二端均開之管中。空氣柱發原音時。管之中點爲節點。二端爲腹點。若管之一端閉。則發原音時。已閉之端必爲節點。而未閉之端仍爲腹點。此空氣柱中發原音時之作用也。

(注意。可知凡未閉之首。必爲腹點。關閉之首。必爲節點。)至得副音時之作用如何。則可試之如下。

試驗 33. 取試驗 31 中所用之長玻璃管。以一首壓扁之短銅管。橫置管口。用力吹之。則所發之音。較前得之原音爲高。是蓋因此時空氣柱分段振動。而發副音故也。欲證其爲分段振動。可將一活木塞。漸由管之他端。插入管內。則空氣柱漸被減短。則可察知共可減爲數種不同之長短。而均可得與此高低相同之副音。

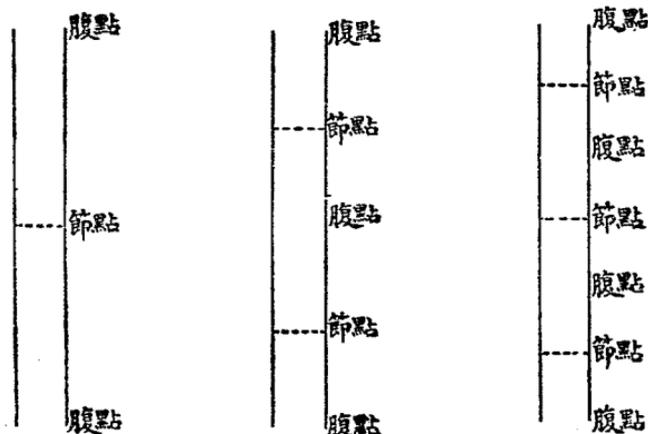
夫活木塞所在之點。必不起振動。今空氣柱雖

減爲數種不同之長短。而仍得發與前相同之副音。則可知該數點本爲節點。故可知空氣柱發副音時。其分段之數。必較發原音時爲多。

按前言凡未閉之端。必爲腹點。已閉之端。必爲節點。故二端均未閉之管中。空氣柱發副音時。其分段振動情形。必以二端爲腹點。而後可將節點在此二腹點間排佈之。至一端已閉之空氣柱發副音時。其分段振動情形。必未閉一端爲腹點。已閉一端爲節點。而後可將其他節點。在此二點間排佈之。茲略繪數例以明之如下。

二首均未關閉之空氣柱

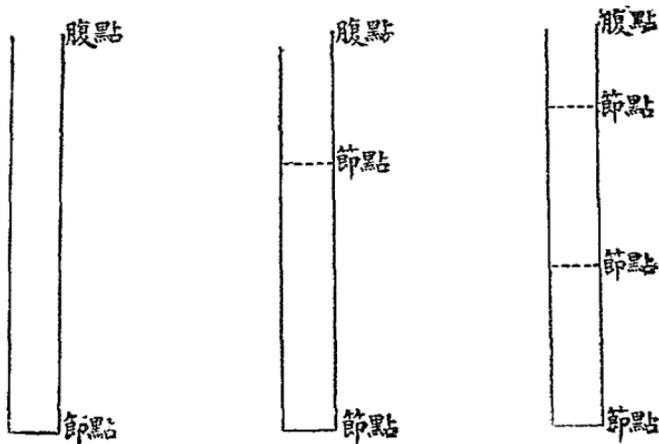
甲.發原音時情形 乙.發一種副音時情形 丙.發另一種副音時情形



按乙之每段。既較甲之每段爲短一半。故其音必較甲爲高二倍。丙之每段。既較甲之每段爲短三分之一。故其音必較甲爲高三倍。若將此空氣柱更多分數段。則可得較甲高三倍四倍等音。故凡二端均未閉之空氣柱。可發種種較原音振動次數爲多之副音。

一首關閉之空氣柱

甲.發原音時情形 乙.發一種副音時情形 丙.發另一種副音時情形



按乙之每段。既較甲之每段爲短三分之一。故其音較甲爲高三倍。丙之每段。較甲之每段爲短五分之一。故其音較甲爲高

五倍。若將此空氣柱更多分數段。則得較甲高七倍九倍等音。惟恆為單數之倍。(1,3,5 等為單數)故凡一端已閉之空氣柱。祇可發較原音振動次數多 1, 3, 5 等奇倍數之副音。而不能發 2, 4, 6 等偶倍數之副音。故與二端均未關之空氣柱不同。

鐘板等振
動之研究

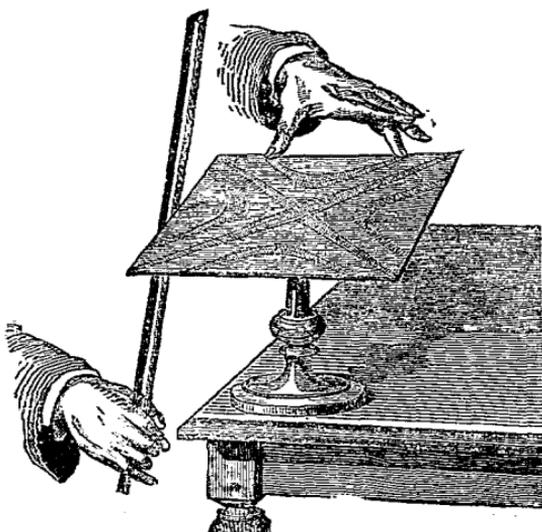
鐘板等 (Rods, plates, etc.) 之振動。與前弦線及空氣柱之振動不同。茲可試之如下。

試驗 34. (鐘之振動) 取一鐘式之無柄玻璃杯。半盛以水。乃將弓弦在杯口擦過。則其杯發生一樂音。而杯中之水。分為數段花紋振動。若水上鋪以硫磺粉末。則所分之段。更為顯著。是蓋因杯亦如此分為數段振動。其力傳於杯中之水。而水即照樣分段振動。

用上試驗。可以測得鐘式之杯。發原音時。共分為四段振動。若其聲愈高。則分段亦愈多。

試驗 35. (板之振動) 取一銅板或玻璃板。上鋪以細沙。須極均勻。乃以一弓弦在板邊擦過。當將擦時。以手之二指觸於板邊。如第二十三圖。則該板振動而使細沙佈成有規則之紋。若該板發聲愈高。則所成之沙紋愈繁。

由此可知該板分段而起橫振動。有沙處必係振動力最小之處。發聲愈高。則分段愈多。故沙紋亦愈繁。此種考察物體振動



第二十三圖

之法。謂之克氏音圖 (Chladni's figure)。手指在板上之觸處。及弓弦在板上之擦處。屢屢更變。則可得種種不同之紋。

習題

1. 弦線振動之次數。視何而定。試將其定律分別言之。
2. 設有一弦線。其長為 2 英尺。每秒鐘之振動次數為 200。問設此弦線為長 5 英尺。則每秒鐘之振動次數當為若干。

答 80

3 設取鋼絲及銅絲二段。其長短相同。其直徑相同。其所受之張力亦相同。而其質量則不同。(因一係銅。一係鋼。)今若將此二絲權之。則知其相比之重量爲鋼 7.8 銅 8.5。問如鋼絲之振動次數爲 256。則銅絲之振動次數當爲若干。 答 245.21

解。 前第 51 頁言弦線振動之次數。與其每單位長之質量之平方根成反比例。故

$$\frac{\text{鋼絲之振動次數}}{\text{銅絲之振動次數}} = \frac{\sqrt{\text{銅絲之質量}}}{\sqrt{\text{鋼絲之質量}}}$$

$$\text{即 } \frac{256}{\text{銅絲之振動次數}} = \frac{\sqrt{8.5}}{\sqrt{7.8}}$$

$$\text{故 銅絲之振動次數} = \frac{256 \times \sqrt{7.8}}{\sqrt{8.5}} = 245.2$$

4. 試將留聲機器(Gramophone)之要理釋明之。

解。 現今常見之式樣。如第二十四圖。小木箱上置蠟板。小木箱中置轉動機。以便蠟板旋轉甚速。乃以黏於薄膜上堅硬之針。使觸於蠟板上。當蠟板尙未堅硬時。人若向喇叭口發音。則薄膜振動。針亦振動。故旋轉之蠟板。即依振動之情形。刻有深淺不同之細紋。今若將此蠟板取下。使之堅硬。而後復置於小箱上。則機開後。蠟板旋轉。而使針照細紋之深淺。起相

同之振動。則薄膜亦起此種振動。且使空氣亦如此振動。因而將本來之音。照舊發出。此留聲機之要理也。至喇叭之作用。則在使音格外明響。蓋其中空氣被薄膜強迫使之振動。此喇叭中空氣之面積。既較薄膜為大。則聲自更大矣。



第二十四圖

註。 本章聲學既終。教師當設問題數種。使諸生對答。以資溫習。

$$n = \frac{1}{2r\lambda} \sqrt{\frac{g m}{\pi D}}$$

光 學

LIGHT

第 三 章

光 學 (Light)

I. 光之直達及速率

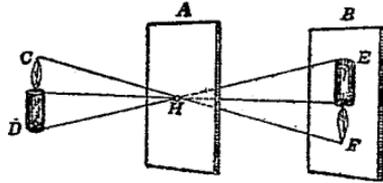
(Rectilinear propagation and velocity of light)

光之
直達

光究何由而成。欲解此問題。頗非易易。惟其種種作用。則吾人知之頗晰。學者可先將其緊要作用研究之。而後再從事研究其成光之理可也。茲先將光傳達時。一種進行之緊要定律考之。即光之傳達。恆依直線進行是也。此事極易證明。例如置燭火於吾人之前。若將一書隔於吾人眼及燭火之中間。則燭光即不能見。若光不依直線進行。則雖有書隔之。光仍可在書周彎曲以達於吾人之目。吾人當仍能見光也。而今乃不然。可知其依直線進行矣。下列各種事實。亦由光依直線進行而起。

試驗 36. 如第二十五圖。取一硬紙片 A。中開一小孔 H。乃以一燃點之小燭 C D。置於其前。而另以硬紙片 B。置

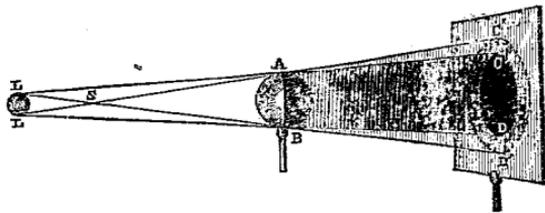
於其後。則B上可現一倒置之燭像(Image)如EF。(作此試驗時。須將門窗關閉。使室中黑暗。)



第二十五圖

此曷故乎。蓋光線 (Ray) 恆依直線進行。故燭之C點處光線。經過H小孔後。即射於F點處。燭之D點處光線。經過H小孔後。即射於E點處。其他在CD二點中之各點所發之光。經過H後。均射於EF二點之中間處。如此各點積聚。則成倒置之燭像。故此試驗。可爲光依直線進行之證。

註。 像(Image)與影(Shadow)不同。像乃由發光體所發之光線聚合而成之形。如第二十五圖中之EF。而影則係光線所不及之黑暗部分。例如第二十六圖。設LL爲發光體。AB爲一不能透光之物



第二十六圖

質。則LL所發之光。經過AB後。即有一部之光。被其阻隔。

故若以一白紙片。置於 $A B$ 之後。則可得黑影如 $C' D'$ 。

吾人若將各種物影細察之。則常可見一影中顯分二部。中部最黑。毫無光亮。如二十六圖中之 CD 。謂之本影 (Umbra)。惟此中部之外。常有一周。不若中部之黑。而仍稍有微光。如圖中 $C C'$ 及 $D D'$ 之一周。謂之半影 (Penumbra)。考此種現象。亦由光依直線進行而起。如二十六圖。由發光體 L 點。繪 LAC , LBD , LBD' , LAC' 四直線。以代表極端之光線。則可知發光體所發之光線。無一能達於 CD 之中間者。故 CD 中變為極黑暗。毫無光亮。而成本影。至 $C C'$ 中間及 $D D'$ 中間。則尚有一部分之光線。經過 A 點或 B 點者。亦可以達到之。惟此外光線。則既不能達到。故 $C C'$ 及 $D D'$ 之一周。成為半影也。又若發光體極微而為一點。則祇可得本影而無半影。學者若觀第二十七

圖 即可
明其所以
然矣 由
是觀之。



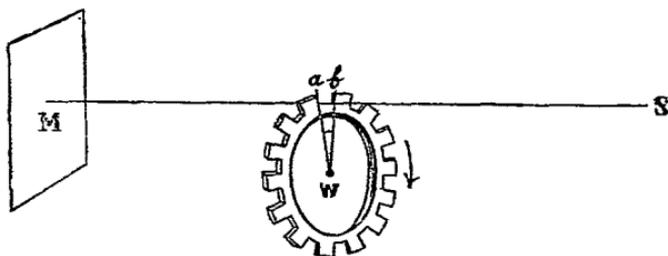
圖 二 十 七 圖

此種事實。亦可為光線依直線進行之一證。又月蝕及日蝕。亦由光線依直線進行遇不能透光之物體而成。蓋地球若在日月之中間。則地影射於月球上而成月蝕。月球若在日及地球之中間。

則月影射於地球上而成日蝕。

光之
速率

學者既明光依直線進行。今將光進行之速率研究之。考測量光速率之法。共有多種。惟最似簡單者。則為飛氏之法 (Fizeau's method)。茲先述其要義如下。如第二十八圖。S 為一發光體。M 為一平面鏡。W 為一可以旋轉之齒輪。



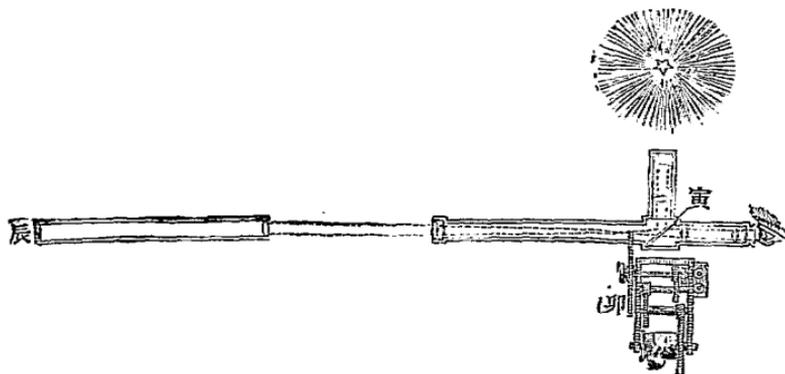
第 二 十 八 圖

則 S 所發之光線 經過齒輪二齒之中後。觸於平面鏡上。即被反射而回至 S 處。故人若在 S 後觀之。即見鏡中有 S 之像。今若將齒速轉之。則達一定之速率時。光線由 M 反射至齒輪時。適射於第二齒輪上。故 S 之像。被其遮蔽而不復能見。當達此種情形時。顯見光線由 W 至 M 而由 M 復反射至 W 所需之時。適為齒輪由 a 處轉至 b 處之時。故若測定 M 與 W 距離若干。則 $2WM$ 。即為光線由 W 至 M 而由 M 復反射至 W 之總距離。又若以 t 為齒輪由 a 處轉至 b 處之時。則得



$$\text{光之速率} = \frac{2 M W}{t}$$

飛氏即藉此理。用一種較精之器具。以測光之速率。如第二十九圖。辰爲一反射鏡筒。(即第二十八圖之M)卯爲齒輪。(即第二十



第二十九圖

八圖之 W) 共有 720 齒及 720 槽 (每二齒中之凹處曰槽) 寅爲一玻璃。依 45° 之角度而斜置於一筒中。則面寅上之發光體所發之光線。射於寅而反射至辰。復由辰反射至寅。一部分之光線。即經過寅而入於筒口之目中。乃將齒輪轉動。待達將反射之光遮蔽不見時。飛氏測得齒輪每秒鐘須轉 12.6 次。故每轉一次所需之時爲 $\frac{1}{12.6}$ 。然每轉一次須經過 720 齒及 720 槽。故每二齒中相隔之時 (即第二十七圖由 a 至 b 之時) 爲 $\frac{1}{12.6} \div (2 \times 720)$ 即 $\frac{1}{12.6 \times 2 \times 720}$ 也。又飛氏試驗時。辰與卯之距離。(即第二十

七圖 M 與 W 之距離)量得爲 8663 米 (meter)。故

$$\text{光之速率} = \frac{2 MW}{t} = \frac{2 \times 8663}{\frac{1}{12.6 \times 2 \times 720}} = 314000000 \text{ 米}$$

按 314000000 米。約合英里 195000。故光之速率。每秒鐘約爲十九萬五千哩。惟此數稍覺太大。蓋齒輪適當之轉動次數。頗難測之極其精準故也。其後富氏 (Foucault) 等另用多法測量光之速率。又與天文學家藉木星 (Jupiter) 之月蝕時測得之光速率比較。經種種考察之後。知最準之數。當爲光之速率。每秒鐘約爲 186,350 英里 (約合 299,890,000 米)。

按光之速率。因其所經過之物質而稍有不同。以上之數。係光經過空氣中時之速率。光若在水中經過。則科學家測得其速率較此數爲稍小。

習題

1. 光與聲有何緊要分別。試詳言之。
2. 有人在遠處開炮。則先見火光。後聞炮聲。又雷電時。先見電光。後聞雷聲。試各詳言其故。
3. 照相時。玻璃片上之物像。均係倒置。其故何在。
4. 日蝕之時。月球所投之影。外部常有顯然之輪廓。其故何在。

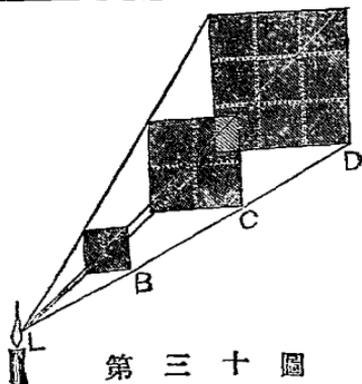
II. 光之強弱

(Intensity of light)

凡一物體所受之光。有多寡之不同。受光較多。則該物體亦較明。受光較少。則該物體亦較暗。凡物體每一單位面積上(如一方寸一方尺之類)所受之光之多寡。科學家謂之光度(Intensity of illumination)。然則此種光度之不同。究視何者而定乎。吾人若詳考其故。則知其所以不同之故有三。(1)視離發光體之遠近。(2)視射入角之大小。(3)視各種不同之發光體所發之光。茲特分別論之。

因物體離發光體之遠近

光之強弱。與物體離發光體之遠近有關係。可試之如下。



第三十圖

試驗 37. 如第三十圖。

取 B, C, D 三硬紙片。B 每邊長 2 釐 (cm)。C 每邊長 4 釐。D 每邊長 6 釐。則此三紙片面積之比例為 1:4:9。即 B 之面積為 1 單位。C 之面積為 4 單

位。D 之面積爲 9 單位也。乃以一燭火 L。置於 D 之前。然後以 C 隔於 D 及 L 之中。至 D 上之光亮適被 C 盡行遮蔽而止。然後再以 B。置於 C 及 L 之中。亦至 C 上之光亮。適被 B 盡行遮蔽而止。如小心爲之。則可測知 BCD 三紙片。與燭火距離之比例爲 1 : 2 : 3。

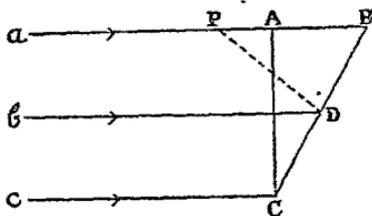
夫每紙片既適將其後之紙片遮蔽。則每紙片上所受光之多寡。自必相同。然同一多寡之光。而 B 片則以 1 單位受之。C 片則以 4 單位受之。D 片則以 9 單位受之。(因上見紙面之單位之比例爲 1 : 4 : 9) 故 C 片每一單位上所受之光。較 B 片之一單位爲弱 4 倍。而 D 片每一單位上所受之光。較 B 片之一單位爲弱 9 倍。然上見 B, C, D 三紙片。與燭火距離之比例爲 1 : 2 : 3。今 B, C, D 三紙片。每一單位上所受之光漸弱之比例。則爲 1 : 4 : 9。即 1 : 2 : 3 各數之平方。可知離燭愈遠。則每單位所受之光愈少。其所少之數。即等於其與燭距離之平方。故離燭遠二倍。則每單位所受之光少 4 倍。4 即 2 之平方也。離燭遠 3 倍。則每單位所受之光少 9 倍。9

即³之平方也。此外以此類推。故可得一定律如下。凡光度與離發光體遠近之平方成反比例。(可與前第41頁上聲之強弱a比較之。)

因射入角
之大小

光度之強弱。不僅視離發光體遠近而異。亦須視光線之射入角(Angle of incidence)而異。射入角者。乃光線射於一物體之面。與其物體面上之垂線(Perpendicular)所成之角度也。

例如第三十一圖。b爲光線射於BC物體之面。PD爲該物體面上之垂線。則 $\angle bDP$ 角。即爲b光線之射入角也。



第三十一圖

學者既明射入角之界說。乃可研究光度之強弱何以因射入角而異。其理如下。如三十一圖。設AC及BC爲二方向不同之物體面。AC與光線a,b,c等成直角。Right angle 即 90° 度之角) 而BC則與光線

a, b, c 等成斜角。(即非 90° 度之角) 則 AC 及 BC 面上。
每一單位所受光之多寡(即光度)為

$$AC \text{ 面上之光度} = \frac{AC \text{ 所受光之總量}}{AC \text{ 之面積}}$$

$$BC \text{ 面上之光度} = \frac{BC \text{ 所受光之總量}}{BC \text{ 之面積}}$$

$$\begin{aligned} \text{故 } \frac{BC \text{ 面之光度}}{AC \text{ 面之光度}} &= \frac{\frac{BC \text{ 所受光之總量}}{BC \text{ 之面積}}}{\frac{AC \text{ 所受光之總量}}{AC \text{ 之面積}}} \\ &= \frac{BC \text{ 所受光之總量} \times AC \text{ 之面積}}{AC \text{ 所受光之總量} \times BC \text{ 之面積}} \end{aligned}$$

然凡 a, b, c 等之光線。能射於 AC 面者。亦能射於 BC 面上。能射於 BC 面上者。亦能射於 AC 面上。故 AC 所受光之總量。等於 BC 所受光之總量。因此可以相消。故得

$$\frac{BC \text{ 面之光度}}{AC \text{ 面之光度}} = \frac{AC \text{ 之面積}}{BC \text{ 之面積}}$$

然照三角理。AC 之面積 = BC 之面積 × 餘弦^{ACB}

角

$$\begin{aligned} \text{故 } \frac{BC \text{ 面之光度}}{AC \text{ 面之光度}} &= \frac{BC \text{ 之面積} \times \text{餘弦 } ACB \text{ 角}}{BC \text{ 之面積}} \\ &= \text{餘弦 } ACB \text{ 角} \end{aligned}$$

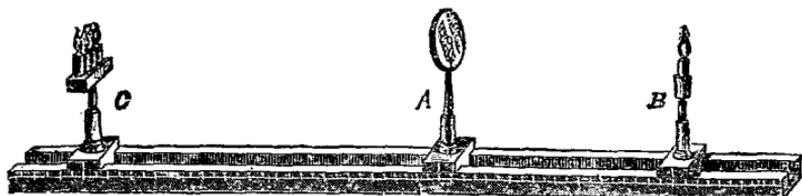
詳言之。即 BC 面之光度。與 AC 面光度之比。視餘弦 ACB 角而異。然 ACB 角。等於 bDP 射入角*。故 BC 面之光度。與 AC 面光度之比。視餘弦射入角而異。然按三角理。 ACB 角愈大。則餘弦 ACB 愈小。故 BC 面之光度當愈小。換言之。即射入角愈大。則光度愈小。射入角愈小。則光度愈大。故射入角若小至為 0° 時。(即當受光物體之面。與光線成直角時。如圖中 AC 是也。) 其光度為最大。此外斜置之面(如 BC)上。其光度概較為小。且愈斜則愈小。

因各種發光體之不同

考各種發光體所發之光。常各不同。例如洋燈之光。較燭光為強。而電燈之光。較洋燈光為尤強是也。今若欲知一種光。較他種光究大幾何。則共有多法。其最似簡單者。則為本生光度表(Bunsen's photometer)。可試之如下。

*因 ABC 及 PBD 二三角形中。 CAB 直角等於 PDB 直角。而 ABC 角。則為其公共之角。故 ACB 角 = RPD 角。然 a 光線與 b 光線並行。故 BPD 角 = bDP 角。故 ACB 角亦等於 bDP 角。即 ACB 角等於射入角也。

試驗 38. 取本生光度表。如第三十二圖。C 及 B 為可以在量尺上左右移動之二架。B 架上置一燃燭。C 架上置四燃燭。(各燭須擇相同者)則 C 之光共較 B 光濃四倍。故 C 與 B



第 三 十 二 圖

之比為 4 : 1 之比。A 為一架。上有圓紙圈。紙之中央。塗以石蠟油 (Paraffin) 少許。則如 A 之二面。所受之光之多寡相同。塗蠟處與未塗蠟處顏色幾相同。否則顯有分別。乃將 B 左右移動。待 A 之二面塗蠟處與未塗蠟處顏色相同而止。如此試驗小心為之。則可在量尺上測得 C A 距離。與 B A 距離之比。為 2 : 1 之比。然前見 C 與 B 之比為 4 : 1 之比。或可寫為 $2^2 : 1^2$ 之比。此 $2^2 : 1^2$ 之比。即等於 $(C A)^2 : (B A)^2$ 之比也。故

$$C : B :: (C A)^2 : (B A)^2$$

詳言之。即凡二種發光體。使一物體(如A)二面受相等之光度時。則此二光強弱之比。即等於其發光體離物體遠近平方之比。此定律頗為有用。

蓋藉此定律。可以比較光之強弱也。法在^B上置一定之燭。作為標準。則若將種種之發光體（如電燈洋燭煤氣燈之類）置^C上。即可一一與標準燭比較。

以測定其發光之強弱矣。考常用之標準燭(Standard candle)。為鯨腦油所製 (Sperm oil)。每燭六枝。共重一英磅(Pound)。每燭一枝。每一時燃去重 120 英釐(每英釐為一磅之七千分之一)。故設如稱某燈之光為若干枝燭光 (Candle Power)。意即試驗得某燈之光。較標準燭光強若干倍也。今試設一例以明上定例之用。

設第三十二圖中^B上置一標準燭。^C上置一欲測量濃淡之燈。如量得^B之離^A為 10 糎。而^C之離^A為 54.5 糎。問此燈為若干枝燭光。

解。因 $C : B :: (CA)^2 : (BA)^2$

故 $C : 1 :: 54.5^2 : 10^2$

故 $C = \frac{54.5^2}{10^2} = 29.7$ 枝燭光

習題

1. 晚間燈光照耀。何故離燈愈遠。則光愈暗淡。

$$19x^2 + 400x - 40000 = 0 \quad x = \frac{-400 \pm \sqrt{400^2 - 4 \cdot 19 \cdot (-40000)}}{2 \cdot 19}$$

2. 設有二平行之紙片。一距發光體 2 尺。一距發光體 5 尺。
試求此二紙片上光度之比。 答. 25 : 4
3. 午刻日中時。太陽光較早晨斜出時為強。試言其故。
4. 設本生光度表 C 及 B 二架上。置甲乙二種之燈。當其使 A 二面所受光度相同時。測得 CA 與 BA 之比為 8 : 2。
問甲燈之光。較乙燈強幾倍。 答 16 倍
5. 設標準燭與一燈之距離為 200 糎。而此燈之光較標準燭光強 20 倍。問本生光度中之圓紙架 A。須置在燭與燈中間之何處。則其二面所受之光之強弱始相同。

解. 設以 x 為 A 離燭之遠近。則 $200 - x$ 即為 A 離燈之遠近。故用 $C : B :: (CA)^2 : (BA)^2$ 公式。即得

$$20 : 1 :: (200 - x)^2 : x^2$$

由此化得 $19x^2 + 400x = 40000$

故 $x = 36.549$ 。即 A 須置在離燭 36.549 糎處也

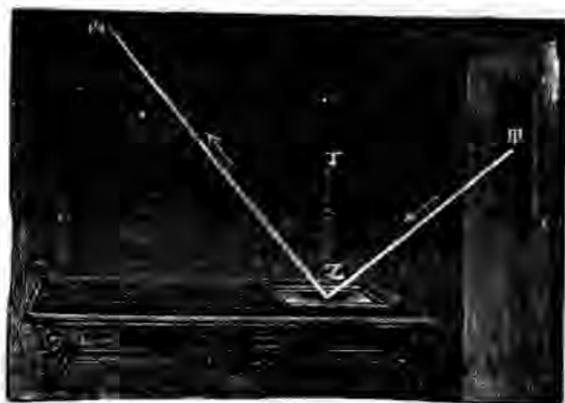
III. 光之反射

(Reflection of light)

光線反射
之定律

前見聲有反射之作用。考光亦然。
例如第三十三圖。乙為一面平鏡。若

光線甲乙。
射於鏡面。
則即反射如
乙丙是也。
設如丁乙爲
鏡面之垂線

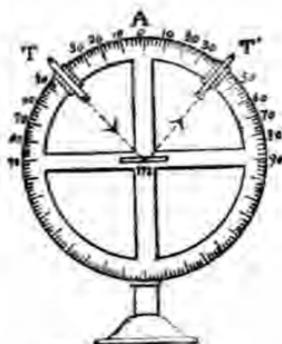


(Perpendicular)。

第三十三圖

則甲乙丁角。謂之射入角 (Angle of incidence)。丙乙丁角。謂之射出角 (Angle of reflection)。且吾人詳加研究之後。則知射入角與射出角。恆有一定之關係。可試之如下。

試驗 39. 如第三十四圖。取一刻有度數之圓圈。上置可以移動之二管 T 及 T'。又中間之 m 爲一鏡。今若將光線送入 T 管。則被 m 反射。若將 T' 管移動之。至見反射之光適射入 T 管中而止。則可測知 T 管在圓圈上之度數。與 T' 管在圓圈上之



第三十四圖

度數相等。故射入角 $\angle T m A$ 。等於射出角 $\angle T' m A$ 。且 T 管及 T' 管既同在一平面中。故射入角與射出角亦必同在一平面中。

由是觀之。凡光之反射。其射入角恆等於射出角。且此二角恆同在一平面中。是之謂光線反射之定律 (Law of reflection)。

學者既明此定律。乃可用此定律以研究種種反射之作用。蓋種種反射之作用。均可以此定律推解之也。茲分別平面鏡 (Plane mirror) 及球面鏡 (Spherical mirror) 二種研究之。

平面鏡 之反射

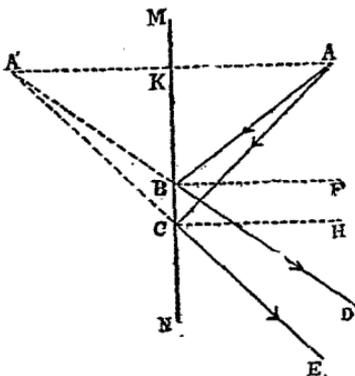
凡反射之面。如係一平面者。則謂之平面鏡。例如吾人日常所用之手鏡。多係平面鏡。吾人執鏡觀之。則見鏡中有吾人及各物之像 (Image)。是即因吾人及他物所受之日光或燈光被鏡反射入目故也。考此種像之大小。及其離鏡之遠近。與物體之大小及離鏡之遠近。均各相等。可先試之如下。

試驗 40. 取一平面玻璃片。如窗上所用之玻璃等類。使之直立於桌上。玻璃之一面。置一小燭。玻璃之他面。置一玻璃杯之水。惟此玻璃杯離玻璃片之遠近。須與小燭離玻璃片

之遠近相等。且須在同一之垂直線上。則見玻璃杯水中。現一與小燭大小相同之燭像。

由此試驗。可知像之大小及其離平面鏡之遠近。與該物體之大小及離平面鏡之遠近相等。此何故歟。可以下理釋明之。

如第三十五圖。設A為物體之一點。MN為一平面鏡。則光線AB射於平面鏡時。即依反射定律而反射至D。使射入角ABF。等於射出角FBD。又設AC為另一光線。則射於平面鏡時。亦照反射定律而反射至E。今若將DB及EC各



第三十五圖

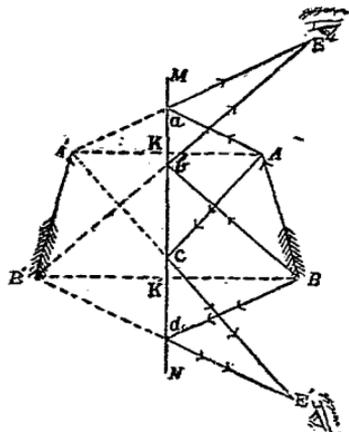
引長之。則即相遇於A'點。然若將A點及A'點用線連接之。如AKA'線。則按幾何理。AK之長。等於A'K之長*。此所以像(A')離平面鏡之遠近。等於物體(A)離平面鏡之遠近也。

* $AK = A'K$ 可證之如下。因 $\angle ABK = \angle DBN$ 角。然 $\angle DBN = \angle A'BK$ 角。故 $\angle ABK = \angle A'BK$ 角。又 $\angle ABK$ 角。既等於 $\angle A'BK$ 角。故 $\angle ABC$ 餘角 = $\angle A'BC$ 餘角。而 $\angle ACE = \angle ECN$ 角 = $\angle A'CB$ 角。故 $\triangle ABC$ 三角形 = $\triangle A'BC$ 三角形。故 $AB = A'B$ 。AB 既等於 $A'B$ 。ABK 角又等於 $A'BK$ 。而 KB 則為公共之邊。故 $\angle K = \angle A'K$ (又同時亦可證得 $\angle AKB$ 角。等於 $\angle A'KB$ 角。故 AKA' 線為 MN 垂線。)

又 AKA' 線。可證明為 MN 之垂線* 故平面鏡中物體之像最易推測。只須由該物點(如 A) 垂一直線於平面鏡。如 AK 。而後將此垂線引長之。使 KA' 等於 AK 。則 A' 點即為 A 點之像。若其物體為多點所成。則亦可照法求各點之像。合而成之。即可得其物體之全像矣。例如第

三十六圖。設 AB 為一物體。 MN 為一平面鏡。則若欲得 AB 之像。

可由 A 點作一 AK 垂線。乃將 AK 引長之。使 $KA' = AK$ 。則 A' 點即為 A 點之像。又照法由 B 點作 BK' 垂線。而引長之。使 $K'B' = BK'$ 。則 B' 點即為 B 之



像。此外 AB 中之各點。亦可一一照法得其像點。則諸像點聚合而成 $A'B'$ 。即為 AB 之像矣。夫 $AKK'B$ 及 $A'K'K'B'$ 二四邊形中。 $KA' = KA$ 。 $K'B' = K'B$ 。 $KK' = KK'$ 。且 AKK' 角, $A'K'K'$ 角, $BK'K$ 角, $B'K'K$ 角。均為直角。故均各相等。故 $A'B'$ 必等於 AB 。此所以平面鏡中像之大小。等於物體之大小也。又吾人若將眼置 E 處。則 AB 物體之反射光線 aE 及 bE 。入於眼中。故覺光線一若由 $A'B'$ 像而來者。實則為物體 AB 之反射光線。而並非來自 $A'B'$ 像者

也。又吾人若將眼置 E' 處。則亦見光線一若由 $A' B'$ 發來者。凡此種物像 (如 $A' B'$)。光線並不真由像上發來者。謂之假像 (Virtual image)。所以別於光線真由像上發來之真像 (Real image) 也。(如以後第四十五圖之像。係一種真像。)

由上觀之。可知凡平面鏡所成之像。恆係假像。恆必直立而不倒置。且其大小及離平面鏡之遠近。恆等於物體之大小及其離平面鏡之遠近。

學者既明平面鏡反射之要理。則極易明多次反射 (Multiple reflection) 之作用。蓋設有一物像。被一平面鏡反射入另一平面鏡中。如此反射數次。則共見多像。可試之如下。

試驗 41

取二平面鏡。使之相交成直角。如第三十七圖。乃以一燃燭懸執其中。則見共有三像。今若使二鏡相交之角度

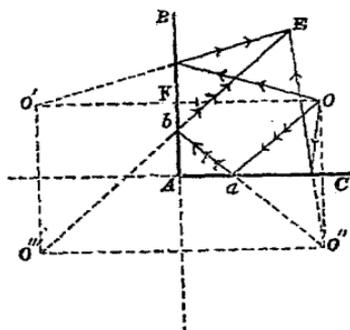


第 三 十 七 圖

漸小。則燭像漸多。

此種多次反射作用。可以釋明之如下。

如第三十八圖。BA及CA爲
二平面鏡。相交成直角。設O爲
一燃燭。則O'爲BA鏡中之像。
(得O'點之法。可以作OK垂
線而引長之。使OK=K'O')
O''爲AC鏡中之像。



第三十八圖

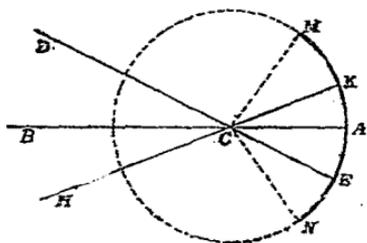
按BA鏡中之O'像。復反射
於AC鏡中如O''。而AC鏡中之O''像。復反射於BA鏡中
時。亦在O'''處。故所成之像共有三。即O'O''及O'''是也。人眼若
置E處。則見光線一若由O, O', O''三像上來者。然見O'及O''
之像。較O'''像爲明。蓋O'及O''係只一次反射所成。而O'''則係
二次反射所成也。(即由O至a之光線。反射至b。由b復反
射至E。故二次反射。)若AB及AC相交之角度。漸較直角
爲小。則能成更多次之反射。故像即更多。惟反射次數愈多。
則像愈暗。次數過多。則像太暗而不能辨。

球面鏡
之反射

凡反射之面。如係一圓球面之一部分
者。謂之球面鏡(Spherical mirror)。考此種

球面鏡。其內外二面不同。蓋內面係凹形。而外面係凸形。如將其凹面爲反射之用。則謂之凹面鏡 (Concave mirror)。如將其凸面爲反射之用。則謂之凸面鏡 (Convex mirror)。學者若欲研究此種球面鏡反射所成之物像 (Image)。當先知中心點、焦點及共軛點之別。

(a) 中心點 (Center of curvature) 凡圓球必有中心點 (Center)。球面上無論何點。與此中心點之距離均各相等。球面鏡既係圓球之一部分。故圓球之中心點。即爲球面鏡之中心點。如第三十九圖。 C 爲圓球之中心點。 $M N$ 爲球面鏡。(即圓球之一部分) 則 C 即爲此球面鏡之中心點。學者須知凡球面鏡上無論何點。與此中心



第三十九圖

點之距離均各相等。(例如 CM, CK , 等均各相等是也。) 又按幾何理。凡球面鏡面上之各垂線。均須經過中

心點。故 $C M, C K$, 等。亦即爲球面鏡 $M N$ 上之垂線。

又鏡面上適中之一點。謂之適中點 (Vertex)。如 A 。將此適中點與中心點連接之一直線。謂之主軸 (Principal axis)。如 $B C A$ 一線是也。此外各線將鏡面上之他點與中心點連接者。謂之副軸 (Secondary axis)。如 $D C E$ 及 $H G K$ 等是也。此種名稱。以後常有引用之處。故附及之。

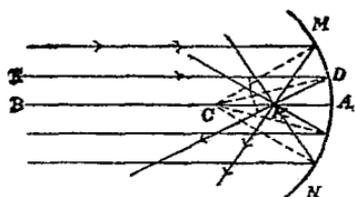
(b) 焦點 (Principal focus) 凡平行之數光線。射於球面鏡上。則反射後。常聚於一點。此點謂之焦點。按凡凹面鏡之焦點。恆在鏡前。由於反射光線實行經過該點而成。謂之眞焦點 (Real focus)。以反射之光線。真由此點經過也。至凸面鏡之焦點。則恆在鏡後。並非由於反射光線實行經過該點而成。不過光線似由此點反射而已。謂之假焦點 (Virtual focus)。可試之如下。

試驗 42. 取一凹面鏡。使日光射於鏡上。乃將一小紙片。依鏡之主軸方向上或遠或近移動之。至紙片上之日像爲最小而止。若光極烈。則紙片竟可燒焦。是即此凹面鏡之眞焦點也。又如使日光射於一凸面鏡上。即見反射光線似均由鏡後一

點而來，此點即凸面鏡之假焦點也。

此種真焦點及假焦點所由成之理。可用以下第四十圖及第四十一圖表示之。

如第四十圖。設 MN 為一凹面鏡。 C 為其中心點。 AB 為其主軸。設 E, B 等為平行之日光線。射於鏡面後。 BA 光線既在主軸上。故即依原線路反射如 A



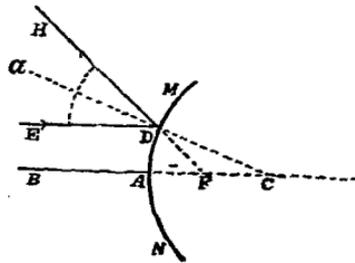
第四十圖

B 。至 ED 光線。則反射如 DF 。使 EDC 射入角。等於 CDF 射出角。蓋 CD 為鏡面之一垂線也。(理見前第 84 頁之末) 此外各光線。亦即一一依照射入角等於射出角之反射定律而反射。惟此種與之反射光線。均相遇於 F 一點上。此 F 點即真焦點也。且考此 F 點。適在中心點 C 及適中點 A 之中央。可設之如下。 ED 與 BA 為平行線。故 DCA 角 = CDE 角。惟 CDF 射出角 = CDE 射入角。故 DCA 角亦等於 CDF 角。故按幾何理。 $FC = FD$ 。惟設如 D 點漸近 A 點。則 FD 漸等於 FA 。待竟至 A 點時。 FD 即等 FA 。故 $FC = FA$ 。故 F 點適在 C 點及 A 點之中央也。

由上觀之。凡凹面鏡之焦點。係真焦點。且適

在中心點及適中點間之中央一點上。

至凸面鏡之假焦點。另可以
第四十圖表示之。設 $m n$ 爲
一凸面鏡。 C 爲其中心點。 $E D$ 、
 $B A$ 爲平行之日光線。 $B A$ 線
既在主軸。故由原線上反射。



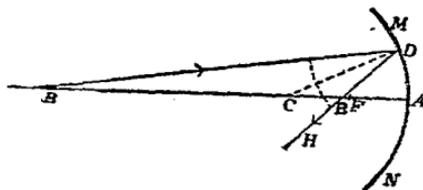
第四十一圖

至此外光線如 $E D$ 。則反射如
 $D H$ 。使 $E D \alpha$ 射入角 = $\alpha D H$ 射出角。若將 $H D$ 向鏡後引
長之。則與 $B A$ 之引長線相交於 F 點。此 F 點即假焦點。所有
反射光線引長之。無不相交於此 F 點。故吾人對鏡觀之。則見
所有反射光線。一若均由此 F 點而來者。又考此 F 點。亦適
在中心點 C 及適中點 A 之中。蓋按幾何理。 $E D$ 既與 $B A$ 平
行。故 $\alpha D E$ 角 = $F C D$ 角。然 $\alpha D E$ 角 = $\alpha D H$ 角 = $F D C$
角。故 $F C D$ 角亦等於 $F D C$ 角。故 $F C = F D$ 。若 D 點移
近至 A 點。則 $F D$ 漸等於 $F A$ 。當移至 A 點時。 $F D$ 即等於
 $F A$ 。故 $F C = F A$ 。此所以 F 點亦適在 A 點及 C 點之中也。

由上觀之。凡凸面鏡之焦點。係假焦點。且適在
中心點及適中點間之中央一點上。

(c) 共軛點 (Conjugate focus) 由上可知焦點乃平行光線射於球面鏡所成。考共軛點則不然。乃由一點所發不平行光線。射於球面鏡後反射所成。茲試以第四十二圖及第四十三圖明之。

如第四十二圖。設 B 爲一發光點。所發之光線 B D, B A 等均不平行。此種光線。射於球面鏡 M N 後。B A 在主



第四十二圖

軸上。故即依 A B 方向反射。此外不在主軸之光線。如 B D 等。射於鏡面後。即反射如 D H。使射入角 $BDC =$ 射出角 CDH 。惟此二反射光線。莫不相交於 B' 點。故反射之光線。均聚於 B' 點。此 B 及 B' 二點。謂之共軛點。光線由 B 點發出者。反射後可聚於 B' 點。而光線由 B' 點發出者。反射後亦可聚於 B 點。學者若精準繪之。則可知此 B' 點在中心點 C 及焦點 F 之間。又此 B' 點係真點 (Real focus)。蓋光線真聚於此點而再由此點發散也。故與以下第四十三圖之假點 B' 不同。

如第四十三圖。設 B 爲一發光點。所發之光線 B A, B D 等。均不

平行。則反射後。聚於B'點。

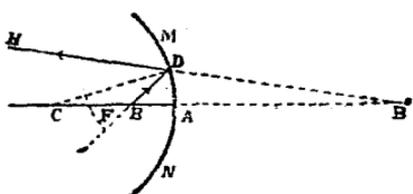
在球面鏡MN之後。此B及

B'二點。亦係共軛點。惟此

B'點係假點(Virtual focus)。

蓋光線並不真聚於此點。不

過似聚於此點而由此點發散而已。



第 四 十 三 圖

總之。如有二點。凡一點所發之光。反射後能聚於他點者。則此二點謂之共軛點。且如發光體(如第四十二圖之B)離鏡面較焦點離鏡面為遠者。則反射後所聚之點為真點。如發光體(如第四十三圖之B)離鏡面較焦點離鏡面為近者。則反射後所聚之點為假點。

球面鏡所成
物體之像

學者既明中心點焦點及共軛點之別。今乃可研究球面鏡所成物體之像。考此種球面鏡所成之像。與平面鏡不同。蓋前第 82 頁見凡平面鏡所成之像。恆係假像。恆直立而不倒置。且其大小及離鏡之遠近。恆等於物體之大小及其離平面鏡之遠近。至球面鏡所成之像。

則有假有真。有直立有倒置。且其大小及離鏡面之遠近。不必恆等於物體之大小及其離鏡面之遠近。可試之如下。

(A.) 凹面鏡所成之像：—

試驗 43. 取 凹面鏡一燭及一紙片。以燭置鏡前。(其位置可照下列各條變更之。)而以紙片左右移動。至片上得有明晰之燭像而止。則可得各種結果如下。

(1) 燭置中心點之外。則所成之像為倒置之真像。在中心點及焦點之間。且較燭為小。如第四十四圖。 MN 為凹面鏡 C 為其

中心點。

E 為其焦

點。若前

燭置 C 之

前。如 P。

則小紙片

上所成之

像。係倒

置而較小

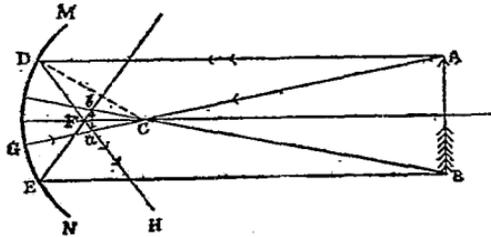
之像。在



第 四 十 四 圖

C 及 E 之間。此其所以然之故。可以第四十五圖表明之。

設 MN 爲凹面鏡。C 爲其中心。F 爲其焦點。AB 爲燭。若取 AB 上緊要數點。由每點上照反射定律繪二條光線。一條經過副軸。一條與正軸平行。此二條光線反射後。相交之點。卽爲燭上某點之共軛點。故格外明亮。



第 四 十 五 圖

而成該點之像。如

此點點連接。卽成全體之物像。例如設取燭上之 A 點。則 AG 係經過副軸之光線。此光線卽由 G A 反射。AD 爲與正軸平行之光線。至鏡面時。反射如 DH。使射入角 $\angle ADG = \angle CDH$ 。此 DH 反射線。與 GA 反射線相交於 a 點。此 a 點卽 A 點之共軛點。故較他處格外明亮。而成 A 點之像也。如此將燭上他點照法繪之。則相交點連接而成 ab 倒置之眞像矣。此像自較 AB 爲小。而在中心點 C 及焦點 F 之間。以小紙片置是處。則像自現於紙上矣。

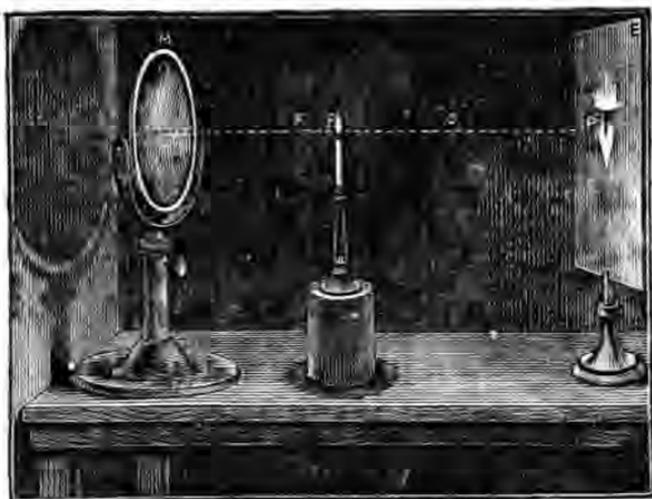
(2) 今若將燭適置在中心點 C 處。則所成之像。爲倒置之眞像。

適在中心點上。其大小與燭相同。此其所以然之故。甚易明曉。

蓋設如第四十五圖之 AB 燭，移至 C 點上，則所有反射之光線，莫不仍適至 AB 上。不過 A 點之反射線，回至 B 點處，而 B 點之反射線，回至 A 點處。故適倒置耳。

(3) 燭置中心點及焦點之間。則所成之像。爲倒置之眞像。在中心點之外。較燭爲大。如第四十六圖。 P 燭置中心點 C 及焦點 F 之間。則所得之 P 像倒置而較大。可以大紙片 E 置是處顯之。此其

所以然之故亦甚易明曉。蓋若將第四十五圖反其道而行之。以 ab 作爲燭。則所



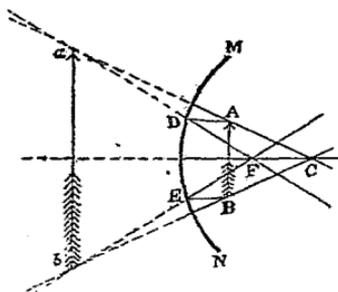
第四十六圖

成之像。自爲 $A'B'$ 。較 ab 爲大。其上下方向。適與 ab 相反。故倒置也。

(4) 燭置焦點處。則無像可成。此其所以然之故。亦甚易明曉。

蓋焦點乃平行光線反射後相聚之點。(見前第 85 頁)故反之。若將發光體置是處。則反射之光線。自均平行。故不能成像也。

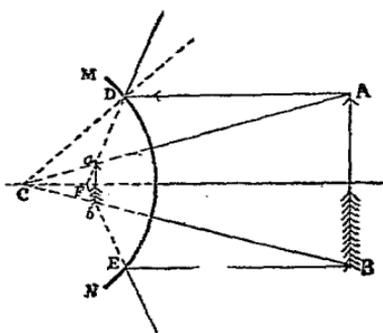
(5) 燭置焦點及鏡面之間。則所成之像。為直立之假像。較燭為大。此其所以然之故。可以第四十七圖表明之。 A B 為燭。M N 為鏡。所成之假像。在鏡後如 a b。



第 四 十 七 圖

(B.) 凸面鏡所成之像：—

吾人若將以上試驗 43 中凹面鏡。易以凸面鏡。則可試得無論鏡置何處。紙片上均不能得燭之像。惟見所成之像。恆在鏡後。恆係直立之假像。較燭為小。此其所以然之故。可以第四十八圖表明之。A B 為燭。M N 為凸面鏡。a b 所成之像。較燭為小。且恆在鏡後。故係假像。



第 四 十 八 圖

附球面收
差及散光

以上既述光線反射之種種要義。茲末附球面收差 (Spherical aberration by reflection) 及散光 (Diffused light) 之起源。蓋此二種事實。亦爲學物理者所不可不知也。茲分別考之如下。

(a) **球面收差** (Spherical aberration by reflection) 前第 59 頁言平行之光線。被球面鏡反射後。則聚於一點 (即焦點)。又前第 88 頁言不平行之光線由一點上所發出者。被球面鏡反射後。亦能聚於一點 (即共

軛點)。然吾人若詳細考之。則知如鏡面不甚大。其反射光線。雖

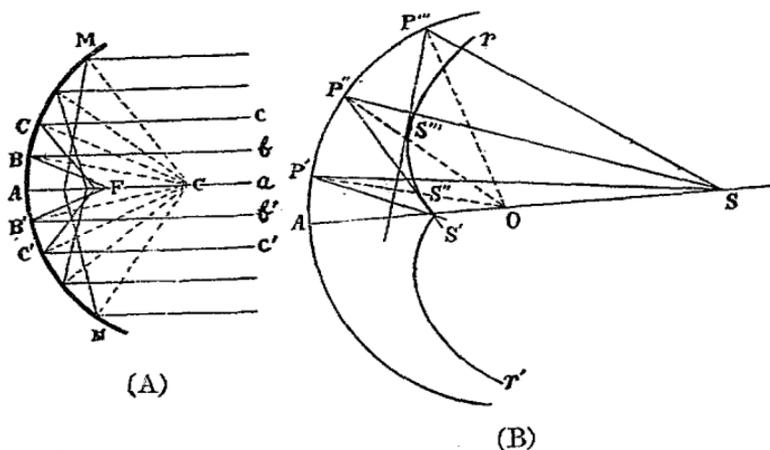


第四十九圖

似聚於一點。若鏡面太大。則並不聚於一點。而聚成如第四十九圖中之雙曲線。可試之如下。

試驗 44. 取一光亮之錫片或銅片。彎成半圓形 (Semi-circle)。以之直立於一紙上。今若以燭置其凹面之前。則紙上現有曲線形。由於反射光線所成。

此何故歟。可以第五十圖(A)解之。 MN 為半圓形。 aA, bB 等為平行之光線。 aA 既在主軸上。故



第 五 十 圖

即由 Aa 線反射。 bB 及 $b'B'$ 為最近主軸之二光線。則反射後。相交於 F 焦點上。其他稍遠之光線如

cC 及 $c'C'$ 。則反射後。相交於較 F 稍近鏡面之一點。而並不適在 F 焦點上。此外光線愈遠者。則反射後相交之點。亦愈近鏡面。此所以鏡面甚大者。反射光線。並不均聚於一點也。此種作用。即凡離主軸漸遠之光線。反射後所聚之點。並不
在焦點上。而與焦點之距離爲漸異者。謂之球面收差。又如射入光線。係發於一點而不並行者。則射於甚大球面鏡後。亦起球面收差之作用。可以第五十圖(B)顯明之。又吾人若詳細考之。則知所有甚大球面所成之反射光線。均可正切 (Tangent) 於一曲線上。爲圖中 $rS''S'S'$ 曲線是也。此種曲線。謂之反射曲線 (Caustic by reflection)。二邊共有二條。此以上試驗⁴⁴中雙曲線之所由成也。在近此曲線處所聚之光。較他處爲多。故格外明亮。

註。此種球面收差。既因圓式球面而起。今若不用極圓之式。而用拋物線式 (Parabola)。使所有反射光線。均全聚於

一點上。則球面收差之作用可除免矣。此理製光學器具時常用之。

(b) 散光 (Diffused light) 散光乃由光線被物體縱橫雜錯反射而成。此種散光作用。極關緊要。蓋藉此縱橫雜錯之反射。吾人乃得見種種物體。可先試之如下。

試驗 45. 用一大玻璃筒。中盛以煙。筒口以有小孔之紙片覆之。(小孔直徑約 1 厘米 Centimeter。)置黑暗處，乃以平面鏡使反射光線由小孔入於筒中。則見筒中之煙，能全體盡行明亮。而並不限於光線通過處。

此何故歟。蓋由小孔通入之極微光線。射於其經過時所遇煙之質點上。則即反射於他質點。此質點上受光後。復即反射至他質點。如此屢經反射。則光線縱橫交錯。故筒中之煙。全體通明矣。如此所成之光。謂之散光 (Diffused light)。地球上土地樹木及空氣中之微點等。均能反射。故日光線恆縱橫交錯。而吾人乃得見種種物質。此所以日光雖不射入室內。而室內亦能通明。又飛行家升

至高處。則見漸漸黑暗。蓋高處之空氣中。無他質點。以起散光之作用耳。

習題

1. 試舉光之反射之定律。
2. 試言中心點焦點及其輻點之別。
3. 平面鏡所成之像。與球面鏡所成之像 有何緊要不同之處。
4. 晚間室中置一燈。則室中各物皆見。試言其故。

IV. 光之屈折

(Refraction of light)

前第³¹頁言聲浪由一種媒介。傳入於他種媒介時。則起屈折之作用。考光亦然。光由一種傳光之物體。入於他種傳光之物體。則即改變其進行之方向。此種作用。謂之屈折。可試之如下。

試驗 46. 取一深玻璃杯。中盛以水。乃以一筆梗插入水中。則見筆梗呈彎曲狀。一若入水之一段筆梗被彎折也者。

此何故歟。蓋水與空氣。乃二種可以傳光之物質。光之由一種物質。入於他種物質時。改變方其

向。而起屈折作用。故筆梗呈彎折之狀也。考此外因光線屈折而起之現象甚多。例如第五十一圖。

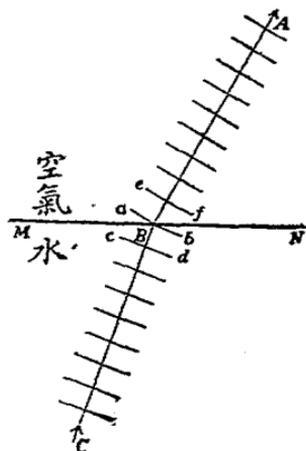


第 五 十 一 圖

若將一小物。置盆底。(如銀角或銅圓之類) 遠立望之。至不見小物時爲度。今若盆中加以水。則即能觀見小物。是亦因光由水至空氣。則屈折向下。如圖中所示者。故向之來自小物之光線不能達至眼內者。今可達到矣。

註。 光線之可屈折。學者既已明斷。然光線由一種傳光物質。入於他種傳光物質時。何以起屈折作用乎。可以第五十

二圖解之。蓋科學家考得光在空氣中進行之速率。較在水或玻璃等中進行之速率為大。故設如 MN 為水與空氣之交界處。 CB 為來自水中小物體之光線進行之方向。斜射於 MN 面。又設垂於 CB 上之各平行線。作為進行之光浪。此種光浪。既斜射於 MN 面上。則愈在左邊一部分之光浪。自愈較在右邊者先達 MN 。故先離水面而先至空氣中。然後較在右面之光浪。以次漸至空氣中。然



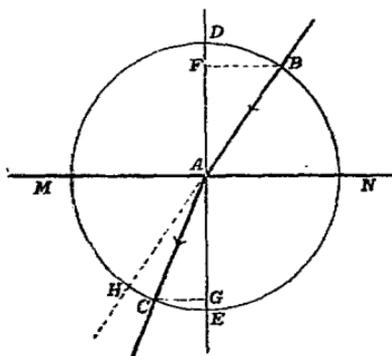
第五十二圖

空氣中速率較大。故愈先至空氣中者。前進愈遠。故光浪全至空氣後。即變為如 ef 。故垂於此 ef 之垂線 BA 。其方向與原來之 CB 方向不同。換言之。即光線進行之方向被改變。此所以呈光線屈折之現象也。

光線屈折
之定律

學者既明光線屈折之作用。今將此種屈折之定律考之。蓋光線恆依一定之律而屈折也。然欲研究此定律之前。當明以下種種之界說。以便引用。

如第五十三圖。設 BA 爲一光線由空氣中斜射於 MN 水面上。入水中後。屈折如 AC 。設 DAE 爲垂於 MN 上之垂線。則 BAD 角。謂之射入角(Angle of incidence)。 EAC 角。謂之屈折角(Angle of refraction)。又如將 BA



第五十三圖

引長之。如 AH 。則 CAH 角。爲屈折後光線方向 AC 。離原方向 BH 之角。故謂之離角(Angle of deviation)。又如將 A 爲中心點。作一圓圈。從 B 點及 C 點。作 BF 及 CG 二垂線。垂於 DE 上。則 $\frac{BF}{AB}$ 爲射入角 BAD 之正弦(Sine)。而 $\frac{CG}{AC}$ 爲屈折角 EAC 之正弦。按射入角正弦。與屈折角正弦之比例。

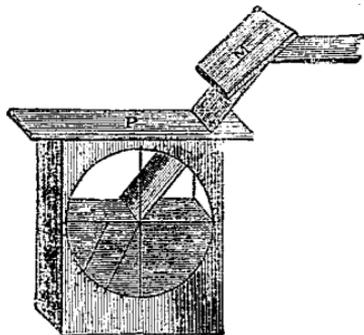
科學家謂之屈折率 (Index of refraction)。故 $\frac{BF}{AB} : \frac{CG}{AC}$

乃屈折率。然 AB 及 AC 既均爲半徑。故 $AB = AC$ 。故

$$\frac{BF}{AB} : \frac{CG}{AC} = \frac{BF \times AC}{AB \times CG} = \frac{BF}{CG} \text{ 由是觀之。屈折率} = \frac{BF}{CG}.$$

學者既明以上種種之界說。乃可研究屈折之定律。可試之如下。

試驗 47. 如第五十四圖。取一方玻璃器。一面黏有圓式之量角規。器上以一有小縫之硬紙片 P 覆之。器中盛水至適及圓規之直徑而止。乃以一平面鏡 M。將光線由小縫反射入器中。使射入之光線。適在圓規中心點之後。及在圓規上認明射入角為幾度。屈折角為幾度。然後在三角表上查明此種角度之正弦各為何數。(可用書後所附之正弦及



第五十四圖

正切表。)既知此二種正弦之數。則射入角正弦數。與屈折角正弦數之比。即為屈折率矣。今若將硬紙片移動之。使小縫不復在原處。而後再照上法以試得他種射入角及屈折角之角度。而再求得其屈折率。則可試得各次所得之屈折率。均各相等。

由此試驗。可得以下之定律三則。

1. 凡光線由折光較小之物質。(如空氣之類。)斜射入於折光較大之物質中。(如水及玻璃之類。)則向垂線屈折。故屈折角較射入角為小。反之。若光線由折光較大之物質。斜射於折光較小之物質中。則

離垂線屈折。故屈折角較射入角爲大。

2. 凡光線由一定之一種物質。射入於一定之他種物質中。則無論其射入角爲若干。其射入角正弦與屈折角正弦之比。恆必一定。換言之。卽其屈折率恆必一定也。

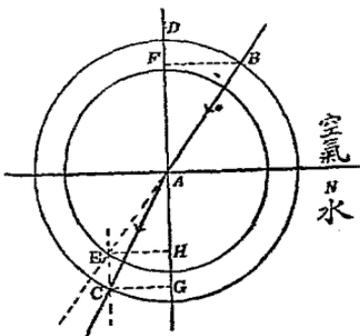
3. 凡射入角及屈折角。恆必在同一之平面中。

註 1. 此三定律。首由荷蘭國物理學家斯氏 (Snell) 所發明。故謂之斯氏定律 (Snell's law)。

註 2. 今將科學家考得光線由空氣入於水及火酒等緊要物質中之屈折率。略舉數種如下。例如光線由空氣入水之屈折率爲 $\frac{4}{3}$ 。意卽如試驗 47 法。測得空氣中射入角正弦與水中屈折角正弦之比。猶如 $\frac{4}{3}$ 之比例也。此外以此類推。例如冕號玻璃 (石灰玻璃之一種) (Crown glass) $\dots \frac{3}{2}$ 。火石玻璃 (Flint glass) $\dots \frac{8}{5}$ 。金剛石 $\dots \frac{5}{2}$ 。

註 3. 此種屈折率。頗有用處。例如設光線由一物質入於他物質。若已知其屈折率。則卽可用繪畫法。繪出屈折後光線應行之方向。而不必須試驗後始得也。如第五十五圖。設一光線 B A。由空氣中斜射於 M N 水面上。今若知光由空氣入

水之屈折率為 $\frac{4}{3}$ 。則即可繪出光線入水後應行之路。法以 A 為中心點。繪二圓圈。其半徑之比例為 4:3。乃將 B A 引長。此線與較小之圈相交於 E 點。然後由 E 點作 E C 線。與垂線 D A



第五十五圖

平行。而與較大之圈相交於 C 點。今若由 A 點繪一線至 C 點。則 A C 線即為光線在水中應行之路矣。此其所以然之故。極易證明。作 BF, EH, CG, 三垂線。均垂於 D A 線上。則按幾何理。E A H 三角。及 A B F 三角。係二相似之三角 (Similar)。故 $\frac{BF}{EH} = \frac{AB}{AE}$ 。然 $EH = CG$ 。而 $\frac{AB}{AE} = \frac{4}{3}$ (因作此二圓圈時用 4:3 之半徑故也)。故 $\frac{BF}{CG} = \frac{4}{3}$ 。此 $\frac{4}{3}$ 乃光由空氣入水之屈折率。故 $\frac{BF}{CG} =$ 屈折率。則 A C 必為光線在水中應行之路無疑。(參觀前第 101 頁上之釋明。)

又學者當注意。今設將以上情形反之。即設光線由水中至空氣中。而吾人欲求光線入空氣後應行之路。詳言之。即設已有圖中 C A 線。而欲求 A B 線也。則其法如下。法以 C A 引長之。由此引長線與較大之圈相交之點。(注意此與前異。蓋前用與較小

圓圈相交之點也。)作一線與 DA 平行。乃由此與較小之圓圈相交之點。作一線與 A 點相連。此線即為光線入空氣後應行之路矣。

學者既明光線屈折之定律。今可用此定律以研究光線經過各種式樣不同之玻璃時。其屈折作用。有何種不同之處。蓋各種光學器具。多有藉各種式樣不同之玻璃。使光線起種種之屈折作用以製成者。故此種事實。不可不亟亟研究之也。茲分別擇要論之如下。(注意。所稱玻璃。概指冕號玻璃。又光線由空氣入此玻璃之屈折率為 $\frac{3}{2}$ 。若光線由此玻璃入於空氣中。則屈折率為 $\frac{2}{3}$ 。)

光線經過平行面
厚玻璃之屈折

凡光線經過平行面厚玻璃時

(Parallel plate) 向垂線屈折。 (參

觀前第 102 頁屈折定律 1。) 而其射出之光線。恆與射入之光線平行。 可試之如下。

試驗 48. 取一白紙置桌上。而以一平行面厚玻璃置紙上。如第五十六圖之 MN。乃以四小針。一針插 B 點處。(須緊靠玻

璃面。任取一點均可。)一針插 A 點處。(斜離 B 針約四五寸。)乃將眼置玻璃之他面向玻璃觀之。至 A, B, 在一直線上時。更以一針插 C 處。使此針與 B 針及 A 針。

同在一直線上。再於離 C 四五寸處。

以針插 D 處。以見此針與 C, B, A

三針亦在一直線上。今若將厚玻璃移

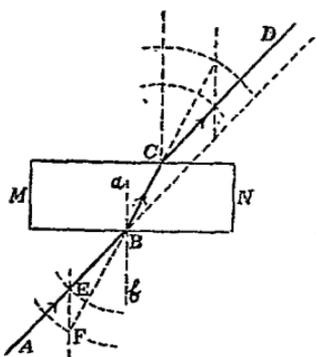
去。而將 A, B, C, D 四點繪線連接

之。則見此線屈折。一如圖中所示者

然。且細察之。則知射出線 C D。與

射入線 A B 平行。中間 B C 一段。

即光線入玻璃被折屈後所行之路。



第五十六圖

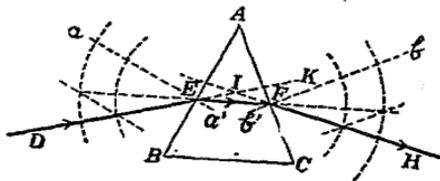
按以上事實。可照前第 104 頁中所述之繪畫法繪得之。如第五十六圖。A B 爲射入光線。前見光線由空氣入玻璃之屈折率爲 $\frac{3}{2}$ 。故即可繪 F 及 E 二圓圈。(圖中只顯圈之一段。蓋不必全顯明故也。) 其半徑之比例爲 3:2。然後由 E 點作 E F 線。與 a b 垂線平行。與較大圓圈相交於 F 點。則將 F B 線引長後。所得 B C。即爲光在玻璃中屈折後應行之路

矣。至此光線復出至空氣後應行之路 CD 。亦可照前第104頁中所述之法繪得之。由是觀之。若知屈折率。雖不試驗。亦可繪得應行之路。此屈折率之大用處也。以下所繪光線之路。均係用此種方法繪得者。學者誌之。以免贅述。

光線經過三
稜鏡之屈折

凡一玻璃。爲二平面相交於一角所成者。謂之**三稜鏡** (Prism)。而此二平面所成之角。謂之**折角** (Refracting angle)。例如第五十七圖。 ABC 爲一三稜鏡之截面。爲 AB 及 AC 二平面相交於 BAC 角所成。此 BAC 角即折角也。

考凡光線經過三稜鏡。恆必離折角而屈折。其故可以第五十七圖顯示之。 ABC 爲三稜鏡之截面。設有光線 DE 。射於 AB 面上。則



第五十七圖

照屈折定律¹。光線向垂線 $a a'$ 而屈折。如 EF 是

也。(此 EF 可照前第 104 頁中所述之法繪得之。) 此 EF 光線復出至空氣中。則離垂線 $b'b'$ 而屈折。如 FH 。(亦可照法繪得之。) 夫 EF 向垂線 $a'a'$ 屈折。而 FH 離 $b'b'$ 垂線屈折。二者均使光線離折角 BAC 愈遠。此

所以

光線

經過

三稜

鏡。

恆必

離折

角而

屈折

也。

故物

體由



第五十八圖

三稜鏡中觀之。一若較其原地位為高者。如第五

十八圖所顯者是也。

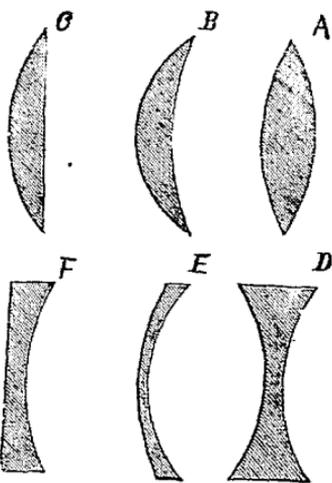
光線經過透
鏡之屈折

凡一玻璃爲二彎面所成。或爲一彎面及一平面所成者。謂之透鏡

(Lens)。考透鏡共可分爲二大類。曰聚光透鏡(Converging lenses)。曰散光透鏡(Diverging lenses)。凡聚光透鏡能使光線經過後。起相聚之作用。凡散光透鏡。則使光線經過後。起散開之作用。

註。聚光透鏡。其中段恆較二邊爲厚。共有三種式樣。如

第五十九圖之 A, B, C 是也。A 之二面皆凸。謂之雙凸透鏡(Double convex lens)。B 則一面凹而一面凸。謂之凹凸透鏡(Concavo-convex lens)。C 則一面平而一面凸。謂之平凸透鏡(Plano-convex lens)。又凡散光透鏡。其中段恆較二邊爲薄。亦共有三種式樣。如第五十九圖之 D, E, F 是也。D 之二面皆凹。謂雙凹透鏡



第五十九圖

(Double concave lens)。E 則一面凸而一面凹。謂凸凹透鏡

(Convexo-concave lens)。F 則一面平而一面凹。謂之平凹透鏡 (Plano-concave lens)。茲特將所有透鏡之種類。列一總表如下。以清眉目。

聚光透鏡 (Converging lenses)

- (1) 雙凸透鏡 (Double convex lens) 如 A
- (2) 凹凸透鏡 (Concavo-convex lens) 如 B
- (3) 平凸透鏡 (Plano-convex lens) 如 C

散光透鏡 (Diverging lenses)

- (1) 雙凹透鏡 (Double concave lens) 如 D
- (2) 凸凹透鏡 (Convexo-concave lens) 如 E
- (3) 平凹透鏡 (Plano-concave lens) 如 F

茲以雙凸透鏡爲聚光透鏡之代表。雙凹透鏡爲散光透鏡之代表。試研究其聚光及散光之作用如下。

註。學者若欲從事研究此種作用。當先明以下各種緊要名稱。蓋此種名稱。常須引用故也。如第六十圖及六十一圖。中間之 A N B M。一爲雙凸透鏡。一爲雙凹透鏡。各爲二圓圈之一部分所成。故圓圈之中心點 G' 及 C。卽爲透鏡之中心點 (Center of curvature)。又透鏡中間之一點如 O 點。考得凡光線

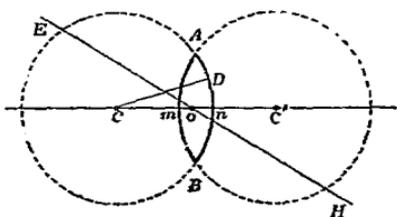
經過此點後。不起屈折之作用。

謂之光點(Optical center)。凡經過光點之直線。謂

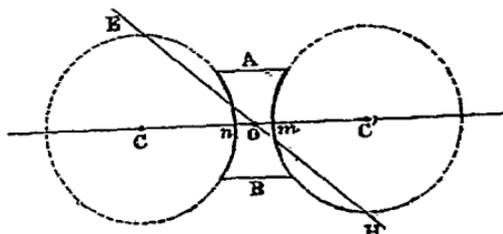
之副軸 (Secondary axis)。如圖中 $E H$ 是也。

至直線之經過光點而亦經過中心

點者。則謂之主軸(Principal axis)。如圖中 $C O C'$ 線是也。凡由中心點處至鏡面之直線。即係鏡面上該點之垂線。例如 $C M$ 乃 $A M B$ 鏡面上 M 點處之垂線。又如 $C N$ 。乃 $A N B$ 鏡面上 N 處點之垂線是也。



第 六 十 圖

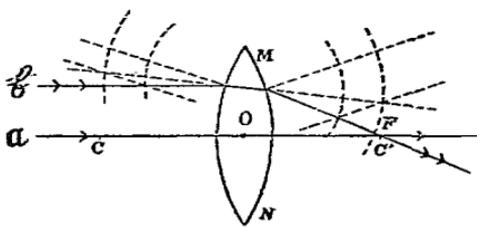


第 六 十 一 圖

(甲) 平行光線射於透鏡後之作用 按透鏡既有聚光及散光二種。則當分別論之如下。

1. 平行光線射於聚光透鏡後之作用。如第六十二圖。係照以前第 104 頁上所述之法。繪示平行光線射於雙凸透鏡 (爲聚光透鏡之代表) 後之作用。

MN 爲雙凸透鏡。a, b 爲平行光線。a 爲經過主軸者。b 則照屈折率³/₂繪得經過透鏡屈折後。與 a 相聚於 F 點。又此外光線屈折後。



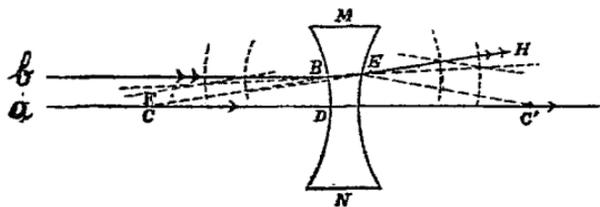
第六十二圖

亦莫不相聚於 F 點。(此 F 點即焦點 Principal focus。界說見前第 85 頁。按此點考得適在中心點 C 處。) 故凡平行光線。依主軸方向射於雙凸透鏡後。則屈折而聚成真焦點。如屈折率爲³/₂則此真焦點適在中心點處。又焦點與光點(即 O 點)之距離。科學家謂之焦點距離(Principal focal length)。故圖中 FO 之長。即焦點距離也。茲更以試驗證明之如下。

試驗 49. 取一雙凸透鏡。使太陽光直射於鏡上。鏡後以一紙片。或遠或近移動之。至紙上所得之圓光點最小最亮而止。則少時紙即被燒焦。此圓光點即焦點也。此點至鏡中光點之遠近。即係焦點距離。

2. 平行光線射於散光透鏡後之作用。如第六十三圖。 MN 為雙凹透鏡。 a, b 為平行光線。 a 係經過主軸者。

故不屈折。 b 則經過鏡



後。照法

第 六 十 三 圖

繪得向外屈折如 EH 。故起散光作用。然此 EH 若用虛線向後引長之。則與 a 線相交於 F 點。此 F 點適在中心點 C 上。考 b 外他光線。如亦照法繪之而用虛線向後引長之。則亦莫不相交於 F 點。故此 F 點乃假焦點 (Virtual principal focus)。總之。凡平行光線。依主軸方向射於雙凹透鏡後。則屈折而聚成假焦點。如屈折率為 $\frac{3}{2}$ 。則此假焦點適在中心點處。

(乙) 由一點所發不平行光線射於透鏡後之作用 前研究球面鏡之反射時。有所謂共軛點者。(見

前第 88 頁) 卽甲乙二點。甲點所發之光。能聚於乙點。而乙點所發之光。亦能聚於甲點也。按屈折中。亦有此種作用。蓋考得凡由一點所發不平行之光線。若射於透鏡。則屈折後。亦能聚於一點。



第 六 十 四 圖

故發光點及此聚光點二者。亦成爲共軛點也。例如第六十四圖。光由丙點發出。射於聚光透鏡(以雙凸透鏡代表之。)後。則屈折而聚於丙'點。則此丙及丙'二點。謂之共軛點。又如第六十五圖。光由丙點發出之光線。射於散光透鏡(以雙凹透鏡代表之。)後。則屈折而外散。



第 六 十 五 圖

然此外散之屈折線。若向後引長之。則均相交於

丙'點。則此丙及丙'二點。亦共軛點也。按散光透鏡既使屈折光線外散。則此種光線向後引長後所聚之丙'點。恆爲假點(Virtual)。故散光透鏡。恆使屈折光線所聚之點爲假點也。至聚光透鏡。則光線屈折後所聚之點。有真有假。須觀發光點離聚光透鏡之遠近地位而定。共可得五種不同之結果。(與以下試驗 50 結果之理同。故茲不先贅。)

透 鏡 所 成 物 體 之 像

一發光點。(如上之丙點) 經過透鏡後能相聚於一點。(如上之丙'點) 則多數發光點。經過透鏡後。自聚於多點。考物體所發之光線。乃多數發光點所積成。故經過透鏡後。所成之各點。自亦互相接續。而成物體之像。茲因聚光透鏡及散光透鏡之不同。分別研究其所成之像如下。

(A) 聚光透鏡所成之像 考聚光透鏡所成之像。因物體離透鏡之遠近而異。計共可分爲五種。可試之如下。(可與前第90頁試驗43凹面鏡所成之像五種比較之。)

試驗 50. 桌上置一燭一雙凸透鏡 爲聚光鏡之代表)

及一紙片架。
如第六十六圖。
燭之位置。可照以下所開各條變更之。而紙片架則左右

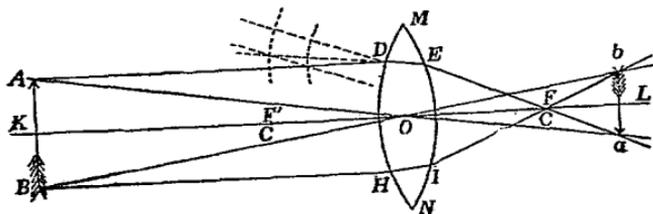


第 六 十 六 圖

移動。至片上得有最明晰之燭像而止。則得五種結果如下。

1. 燭置於二倍焦點距離 (Focal length) 更遠之處。則所成之像。爲倒置之真像。在焦點之後。且較燭爲小。如第六十七圖。 AB 爲燭。在二倍 $O F'$ 焦點距離更遠之處。則所成之像爲 $a b$ 。係倒置較小之真像。在焦點 F' 之後。

2. 燭置於二倍焦點距離之處。則所成之像。爲倒置之真像。亦適在二倍焦點距離之處。其大小



第 六 十 七 圖

與燭相同。可將燭置第六十七圖二倍 $O F'$ 處試之。則所成之像。即在二倍 $O F$ 處。

3. 燭置於二倍焦點距離稍近之處。則所成之像。爲倒置之真像。在焦點之後。較燭爲大。可將燭置第六十七圖較二倍 $O F'$ 爲短之處試之。則所成之像。可在 F 點之右面得之。

4. 燭適置於焦點處。則無像可成。蓋前第¹¹²頁見焦點乃平行光線經過透鏡屈折後相聚之處。故反之。若將發光體置焦點處。則經過透鏡後之光線。均自平行。故不能成像也。

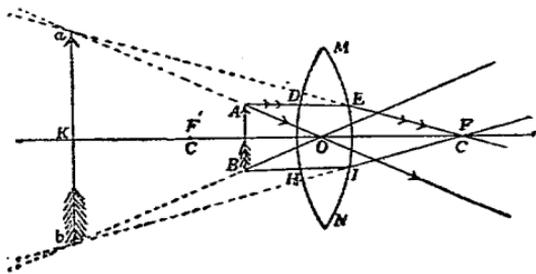
5. 燭置焦點及透鏡之間。則所成之像。爲直立
之假像。較燭爲大。如第六十八圖。 AB 爲燭。在

焦點 F' 及透
 鏡 MN 之間。

則所成之像
 爲 $a b$ 。係直
 立較大之假

像。蓋此像

並非由屈折光線果能經過 $a b$ 處而成。不過吾人
 若將眼置 $O F$ 中間之處。則見光點一若由 $a b$ 而
 來耳。



第六十八圖

(B) 散光透鏡所成之像 前第115頁言散光透鏡。

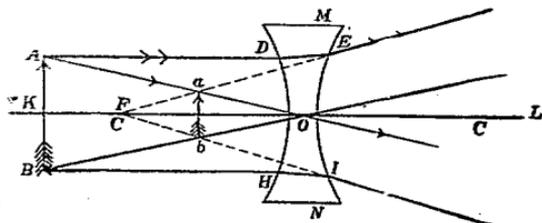
恆使屈折光

線所聚之點

爲假點。夫物

像既係多數

所聚之點。相



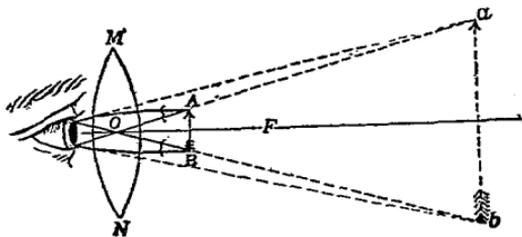
第六十九圖

積而成。則散光透鏡所成之像。恆係假像可知矣。
 如第六十九圖。A B 為燭。M N 為一雙凹透鏡。(為散光透鏡之代表。) 則繪得所成之假像。當為 $a b$ 。係直立而較 A B 為小。且考得無論 A B 離鏡之遠近為若干。而所成之像。恆為直立較小之假像。由此觀之。可知凡散光透鏡所成之像。恆係直立較小之假像。

註 1 以上透鏡成像之種種事實。頗關緊要。蓋多種光學器具。如顯微鏡 (Microscope) 及遠鏡等類。均藉此種事實而製成者也。茲試略述數種如下。

(a) 單顯微鏡 (Simple microscope) 前第 118 頁六十八圖中。曾顯明燭置焦點及雙凸透鏡之間。則所成之像。為直立之假像。且較燭為大。考單顯微鏡。則藉此理而成。如第七十圖。M N 為

一雙凸透鏡。設將物體 A B。置焦點 F 及透鏡之間。而以眼置鏡之他面 (須離鏡甚近) 觀之。則



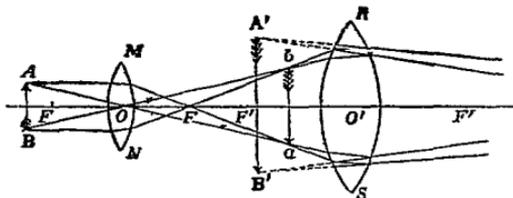
第 七 十 圖

見 $a b$ 之像。此像較物體 A B 之本身為大。故 M N 雙凸透鏡。

能將物體放大。故單顯微鏡無他。不過一雙凸透鏡而已。

(b) 複顯微鏡 (Compound microscope) 單顯微鏡。係以一個雙凸透鏡所製。至複顯微鏡。則最簡單者。係以二個雙凸透鏡所製。其放大之力。較單顯微鏡為尤大。故雖極微之物為人目所不能見者。常

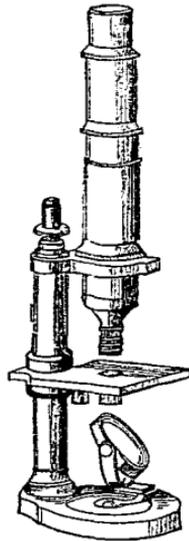
能藉複顯微鏡。以觀見之。其大要如第七十一圖。M N 為一離物體最近之雙凸透鏡。謂之對



第七十一圖

物鏡 (Object glass)。R S 為另一觀看物像之雙凸透鏡。謂之接目鏡 (Eyepiece)。若以物體置 A B 處。在對物鏡 M N 焦點 F 之前少許。而以眼置接目鏡 R S 之右觀之。則即見放大之像 A' B'。今試將其所以然之故言之。蓋前第 117 頁上言燭置於二倍焦點距離為近之處。則所成之像。為倒置之真像。在焦點後。較燭為大。故第七十一圖中之 A B 物體。先由 M N 對物鏡成 a b 較大之像。此 a b 像乃更由接目鏡 R S 放大為 A' B' 之像。較 a b 為更大。(其故與單顯微鏡中所述之理同。)由是觀之。A B 物體先被對物鏡放大。繼復被接目鏡放大。此所以複

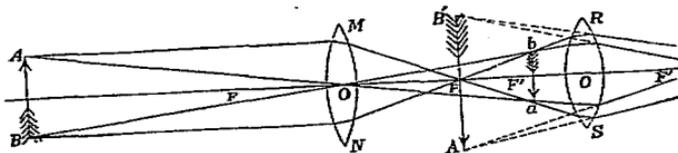
顯微鏡之放大。較單顯微鏡為尤大也。今若將對物鏡 $M N$ 及接目鏡 $R S$ 。裝在一管之二首。則即成第七十二圖所示之複顯微鏡式樣。以欲考察之微物體。置管下小方架上。則放大之像。即可由管上觀見之矣。



第七十二圖

(c) 星學遠鏡 (Astronomical telescope) 星學遠鏡。為考察天文之用。亦係以二雙凸透鏡所製成。如第七十三圖。 $M N$ 為一對物鏡。 $R S$ 為一接目鏡。設如 $A B$ 為在遠處之一物體。按前第 116 頁言燭若置於二倍焦點距離更遠之處。則所成之像為倒置之真像。在焦點之後。

較燭為小。故此處對物鏡 $M N$ 所成之像。當為 $a b$ 。此 $a b$ 像



第 七 十 三 圖

被接目鏡 $R S$ 所放大。如 $A' B'$ 。故眼置 $R S$ 之右面。(須離 $R S$ 頗近。) 則即見 $A' B'$ 放大之像矣。由是觀之。星學遠鏡

中放大之作用。全在接目鏡。而不在對物鏡。此乃與複顯微鏡不同之處也。又對物鏡 $R S$ 。須用大號者。則所聚之光。不致太弱 然後所見之像。乃可不致太模糊也。

(d) 加氏遠鏡 (Galileo's telescope) 此遠鏡係以一雙凸透鏡及一雙凹透鏡所製成者。如第七十四圖。 $A B$ 爲一物體。此

物體由雙凸透鏡

$M N$ 所成之像。

當爲 $a b$ 。(理見

前第 116 頁。)

然今若將一雙凹

透鏡 $R S$ 。置在 $M N$ 鏡及 $a b$ 物像之間。則由 $M N$ 鏡所來之光線。被 $R S$ 所屈折。故若將眼置 $R S$ 之右面。則見 $A' B'$ 直立而較大之像。此加氏遠鏡之要理也。又有所謂雙眼鏡 (Opera

glass) 者。係

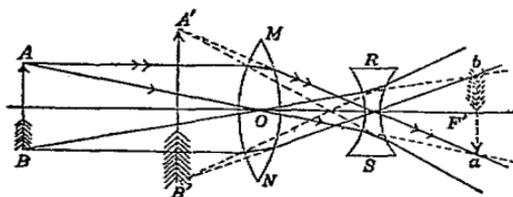
二個加氏遠鏡

左右並置而

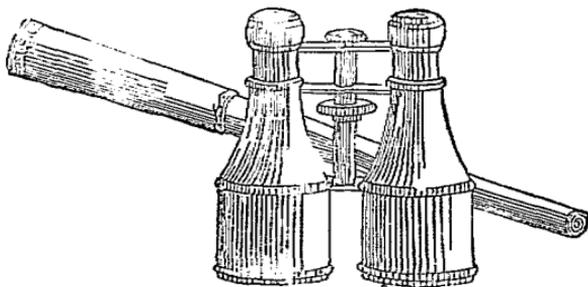
成。如第七十

五圖所示者是

也。以之觀遠



第七十四圖



第七十五圖

處之物。頗為有用。

註 2. 按以上求物像之離鏡遠近法。均係以繪畫法繪得者。考此外尚有一較簡之法。即用算學法是也。法先求得一公式。以示物體離鏡之遠近。物像離鏡之遠近及焦點距離三者之關係。則用此公式。即可推算種種結果。頗屬簡易。茲先將求此公式之法。詳示之如下。

如前第 117 頁上六十七圖。按幾何理。AOB 三角。與 aOb 三角。係相似之三角。故 $\frac{AB}{ab} = \frac{OK}{OL}$ 。今若將 E 點及 I 點用直線連接之。則此 EI 直線。可作為等於 AB 直線。且可作為經過 O 點。則三角 EFI 及三角 aFb。按幾何理。亦係相似之三角。故 $\frac{EI}{ab} = \frac{OF}{FL}$ 。然 EI = AB。故得 $\frac{AB}{ab} = \frac{OF}{FL}$ 。然前見 $\frac{AB}{ab} = \frac{OK}{OL}$ 。故 $\frac{OK}{OL} = \frac{OF}{FL}$ 。今若以 p 為 OK 之長。(即物體離鏡之遠近。) p' 為 OL 之長。(即物像離鏡之遠近。) f 為 OF 之長。(即焦點距離。) 則 FL = OL - OF = p' - f。以此種各數代入 $\frac{OK}{OL} = \frac{OF}{FL}$ 式中。則得公式如下。

$$\frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f}$$

今試演示一二例。以明此公式之用。

(1) 設有一雙凸透鏡。其焦點距離為 40 厘 (Centimeter)。

問如在離鏡 14 呎處置一燭。則所成之像。係眞像抑係假像。
且離鏡當若干遠。

解。因 $\frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f}$ 公式。此處 $p = 14$ 呎。 $f = 40$ 呎。
以之代入公式中。則得 $\frac{14}{p'} = \frac{40}{p' - 40}$ 即 $14(p' - 40) = 40 p'$ 。
即 $26 p' = -560$ 。故 $p' = -21.54$ 呎。詳言之。即所成之像係
假像。在離鏡 21.54 呎處。

(2) 設有一雙凹透鏡。其假焦點距離爲 40 呎。問如在離鏡
14 呎處置一燭。則所成之假像。當離鏡若干遠。

解。按雙凹透鏡係散光透鏡。故焦點恆係假點。而所成
之像。恆係假像。故 f 及 p' 。均當作爲負數。故 $\frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f}$ 公
式。當寫爲 $\frac{p}{-p'} = \frac{-f}{-p' - (-f)}$ 。即 $\frac{p}{-p'} = \frac{-f}{-p' + f}$ 是也。以
40 代 f 。以 14 代 p 。則得 $\frac{14}{-p'} = \frac{-40}{-p' + 40}$ 。由此化得 $p' =$
10.37 呎。即所成之假像離 10.37 呎也。

(3) 設有一雙凸透鏡。測得如在離鏡 14 呎處置一燭。則所
成之假像。爲離鏡 21.54 呎。問此鏡之焦點距離。當爲若干。

解。按所成之像。既係假像。則公式中 p' 。當寫爲 $-p'$ 。
故 $\frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f}$ 。當寫爲 $\frac{p}{-p'} = \frac{f}{-p' - f}$ 。以 14 代 p 。而以

21.54代 p' 。則得 $\frac{14}{-21.54} = \frac{f}{-21.54-f}$ 。故 $7.54 f = 301.56$ 。

故 $f = 40$ 。詳言之。即焦點距離約為 40 釐也。

附 球 面 收 差
及 臨 界 角

以上既述光線屈折之種種要義。

茲末附球面收差 (Spherical aberration by refraction) 及臨界角 (Critical angle) 二種緊要事實。蓋此二種事實。亦關於光之屈折而起。爲吾人所不可不知者也。茲分別論之如下。

(a) **球面收差** (Spherical aberration by refraction) 前論光線反射時。曾言如球面鏡之面太大。則起球面收差之作用。(見前第94頁。)考光線經過透鏡屈折後。亦常起球面收差之作用。蓋考得光線射於透鏡時。其愈近鏡邊者。經過透鏡屈折後。與主軸相交之點。離鏡面亦愈近。故生球面收差之作用。惟學者當注意此處之球面收差。係由光之屈折而起。前見之球面收差。則由光之反射而起也。此種球面收差之作用。能使透鏡所成之物像。減其明晰。故裝遠鏡等時。透鏡之邊。常以圍屏遮隔之。以

減球面收差之作用。則所成之像。較爲顯著。亦有使透鏡外段之彎度。不若中段之甚者。如此則光線屈折後。能聚於一點。而球面收差之作用亦可免矣。

(b) **臨界角** (Critical angle) 前第 102 頁上。見凡光線由折光較大之物質。(如水及玻璃之類) 斜射入於折光較小之物質中。(如空氣之類) 則屈折角較射入角爲大。故可知屈折角若爲 90° 度時。該相當之射入角。必當較小於 90° 度。總之。凡光線由折光較大之物質。射入於折光較小之物質時。如所成之屈折角爲 90° 度。則該射入角。謂之臨界角。例如第

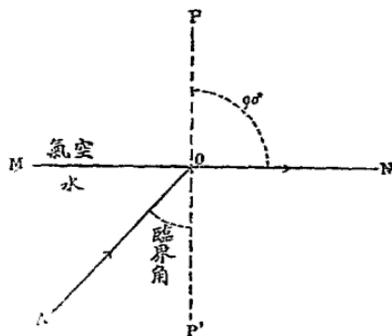
七十六圖。設如 MN

爲水與空氣之界限。

PP' 爲垂線。光線係由水射入於空氣中。設如 AO 光線屈折後。

所行之方向爲 ON 。使

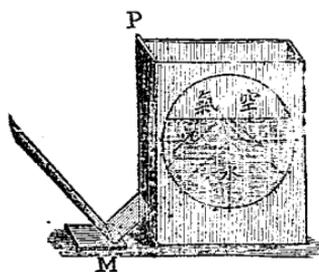
所成之屈折角 PON



第七十六圖

爲 90° 度。則射入角 $\angle AOP'$ 角。即名爲臨界角也。凡其他光線之射入角。較臨界角爲小者。則屈折角亦較 $\angle PON$ 角爲小。故屈折後光線均在 ON 之上。若其他光線之射入角。較臨界角爲大者。則屈折角較 $\angle PON$ 角爲大。故屈折後光線在 ON 之下。詳言之。即由水中射出之光線屈折後。仍射入水中也。凡此種作用。即光線由折光較大之物質。斜射入於折光較小之物質時。因屈折而復射入折光大之原物質中者。謂之全反射 (Total reflection)。此種全反射之作用。可以下試驗證明之。

試驗 51. 即用前第 102 頁試驗 47 中所用之器具。惟將有小縫之硬紙片 P 。移置在方玻璃器之一旁面。(小縫在近器底處。)如第七十七圖所示者。乃以平面鏡 M 。反射光線入水中。使光線達水面時。適在圓規中心點之後。則光線即起全反射作用。復射入水中。

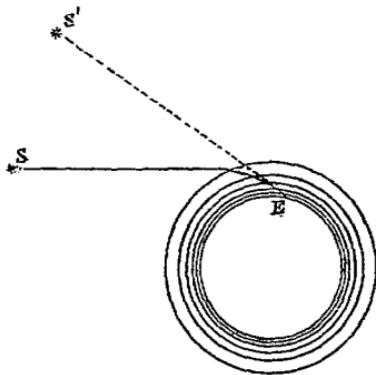


第七十七圖

習題

1. 試舉光線屈折之定律。
2. 透鏡共分若干種類。又試將複顯微鏡之理詳言之。
3. 設有一雙凸透鏡。其焦點距離為 15 釐。問如在離鏡 20 釐處置一燭。則所成之像。係真像抑係假像。且離鏡若干遠。
試以 $\frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f}$ 公式計算之。 答：真像，離鏡 60 釐。
4. 常有清水之池。視之甚淺。然入之則始知頗深者。試言其故。(學者若欲解決此問題。可參觀前第五十一圖之理。)
5. 當日已落至地平線下後。吾人仍能見日少時。其故何在。

解。地面上包有一層空氣。然近地面者。較離地面稍高處為密。故近地面處之屈折率。較高處之屈折率為大。故如第七十八圖。由太陽 S 所來之光線。經過空氣後。成一曲線。然吾人見物之方向。為切於此曲線之正切直線。如 E S'。故見光線一若來自 S' 者。此 S' 較 S 為高。此所以日落後仍能見日少時也。然所見之日。係日之像。而非真日矣。



第七十八圖

6. 取一盛水之玻璃杯。杯外近底處置一燭。(或他物亦可)則在杯之他面近底處視之。見燭倒置在空中。且較原燭之地位為高。試以全反射之理釋之。



註。解釋時。可參用第七十九圖。

第七十九圖

V. 光之分散

(Dispersion of light)

考白色之光。恆係數種有顏色之光。合併而成。故若設法使白色之光分解。則可得其所含各種顏色之光。此種作用。謂之分散。可試之如下。

試驗 52.

如第八十圖。使太陽光線甲。由小縫通入暗室。而斜射於三稜鏡丁上。則此白色之太陽光線。即分散而成顏



第八十圖

色帶。若使此帶射於屏上而察之。則知帶中共有七色*。即紅 (Red) 橙 (Orange) 黃 (Yellow) 綠 (Green) 藍 (Blue) 青 (Indigo) 紫 (Violet) 七色。此種顏色帶。名爲光帶 (Spectrum)。此試驗中所得之光帶。係由日光所成。故可謂之日光帶 (Solar spectrum)。

由此試驗。可知太陽光經過三稜鏡後。被分散而爲其原含之各色。考三稜鏡之所以能將其分散者。則因各種顏色之光。其屈折之大小。各有不同之故。考太陽光中之紅色光。屈折度最小。其次爲橙。其次爲黃。其次爲綠。其次爲藍。而紫色光之屈折度則最大。夫三稜鏡有使光線屈折之作用。(參觀前第 107 頁第五十七圖。) 故太陽光線經過三稜鏡後。則其中所含之各種顏色光。起大小不同之屈折。此所以分散而成光帶也。

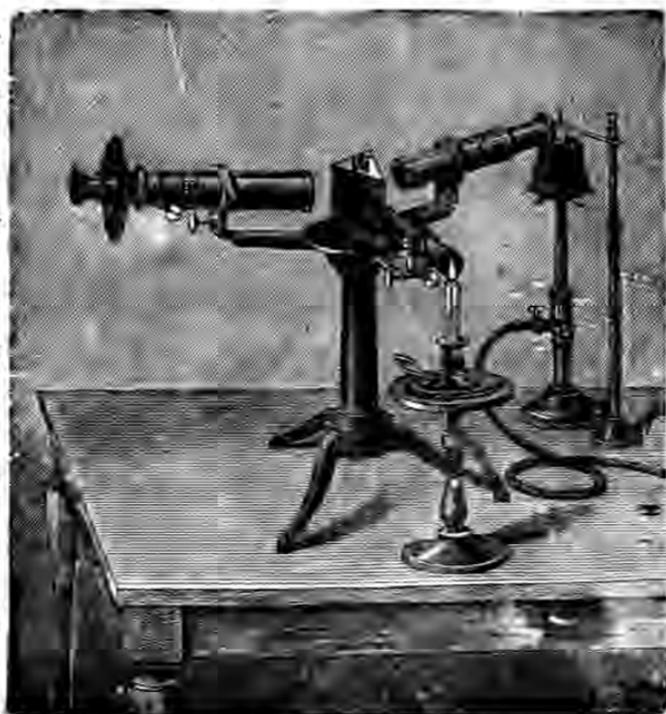
註。考此種光帶中之各種顏色光。其作用各有不同。例如若將照相之乾片。置此種光帶之紅顏色處。則幾無變動。然若置藍顏色或紫顏色處。則變動極速。故此種藍紫顏色。常謂之化學光 (Actinic light)。以其能起化學之作用故也。由是觀之。白日光中各顏色光。本係不相同之光。故其屈折之有大小。亦無足異耳。

* 據太陽光爲七色所成。首由奈端 (Newton) 所證明。後他人從之。然其實只有紅、橙、黃、綠、藍、紫、六色。青之一色。實係藍色之一種。不當另分也。

分
光
鏡

有一種特別器具。名分光鏡 (Spectroscope) 者。專用以觀察此種光帶。最爲簡便明晰。

今將其要理釋之。如第八十一圖。係通常所見分光鏡之式樣。丙爲三稜鏡。



第 八 十 一 圖

乙爲入

光筒。Collimator 將所欲考察之光。使由此筒而入。故名。

甲爲觀帶筒。(此筒實係一遠鏡 Telescope。由此筒觀所成之光

帶。故名。) 丁爲度量筒。(筒中置一度數表。以便此表照在光帶上。則可測量光帶之長短。故名。) 入光筒近三稜鏡之一端。有一聚光透鏡。他端有一可以移動之小縫。此小縫適在聚光透鏡之焦點上。則光線由小縫入乙筒。經過聚光透鏡後。變爲平行之光線。(理見前第 117 頁之末) 此平行之光線。射於三稜鏡丙上。則分散而成光帶。(理見前第 129 頁八十圖) 此光帶乃以甲筒接收之。甲筒既係一遠鏡。故由甲筒向外之一端觀之。則可見放大之光帶。(理見前第 122 頁七十四圖) 故可得極明晰之光帶。若欲測量此光帶之長短。則可在丁筒前置 燭。使筒中之度數表。照在三稜鏡上。則屈折而亦入於甲筒中。故可藉以測知光帶之長短也。

光帶分 三大類

學者既明分光鏡之要理。今即用此鏡。將光帶試驗之。則可知光帶共分三大類。即連續光帶(Continuous spectrum)輝線光帶(Bright lined spectrum)及吸收光帶(Absorption spectrum)是也。可分

別試之如下。

試驗 53. (連續光帶) 取一燃點之燭或燈。置在第八十一圖乙筒端之前。則在甲筒中。可見所成之光帶。由一端之紅色。漸入於橙黃等色。以至他首之紫色。故此光帶全體連貫。而無間斷之處。

此種全體連貫。並無間斷之光帶。謂之連續光帶。考凡固體或液體或濃密之氣體。當熱至白熱時。均發此種連續之光帶。

試驗 54. (輝線光帶) 將鈉之化合物 (Sodium compound)。如食鹽之類。以火熱之。使融入石棉 (Asbestos) 所製之短筒中。乃以此石棉短筒。套於本生燈* (Bunsen burner) 之上。而置在第八十一圖乙筒端之前。則本生燈燃點後。鈉之化合物。則因熱而成稀淡之氣體。今若在甲筒端觀之。則見只有黃色線一條。與以前試驗 53 中所見之光帶大異。今若照法以鋰 (Lithium) 鎂 (Strontium) 等之化合物試之。則各得特別之一條或數條顏色線。例如鋰為橙紅色線一條。鎂為棕紅色線多條是也。

*學者如欲詳知本生燈之要理。石棉及鈉之化合物等內情。可參觀民國新教科書化學。

此種一條或數條顏色線所成之光帶。謂之輝線

光帶。考凡稀淡之氣體熱至白熱時。均發此種輝線光帶。

註。 以上試驗中。既顯明多種物質各發特別之顏色線。如鈉之發黃色線。鋰之發橙紅色線。鎂之發棕紅色線是也。則反之。設有一物質未知其究爲何物。即可藉分光鏡識定之。蓋如在分光鏡中見爲黃色線。則知此物質必爲鈉。如見爲橙紅色線。則知其必爲鋰。如見其爲棕紅色線。則知其必爲鎂矣。此種用光帶而識定物質之法，謂之光帶分析術 (Spectrum analysis)。極爲精準。學者若將鉀 (Potassium) 鋰 (Lithium) 鎂 (Strontium) 鈣 (Calcium) 鋇 (Barium) 之各化合物。以白金絲 (Platinum wire) 蘸少許。分別置入本生燈火燄中。而以分光鏡測之。則可得各種特別之光帶。如第八十二圖 (緊要光帶之比較) 所示。故凡如未知之物質。所發之光帶。類於圖中之某光帶者。則即知此物質爲某物質矣。

試驗 55. (吸收光帶) 取一氫氧吹管所成之石灰光 (Lime light)。置第八十一圖乙筒端之前。則在甲筒中觀之。可見所成之光帶。係連續光帶。紅橙黃等各色均有。今若以一本生燈。照試驗 54 中所述之法。使發鈉之化合物之光。而置

數度線 A a B C D E b F G H HI

日光帶 Sun



1

鉀光帶 K



2

鈉光帶 Na



3

鋰光帶 Li



4

鎂光帶 Sr



5

鈣光帶 Ca



6

鋇光帶 Ba



7

緊要光帶之比較

諸石灰光及乙筒之間。則石灰光所發之光。須經過鈉之火燄。始可入乙筒中。今若在甲筒觀之。則見前所見石灰光之連續光帶中。不復有黃色。而原來之黃色處。現變爲一黑線矣。是蓋因石灰光中之黃色。經過鈉之黃色火燄時。被其吸收故也。

凡光帶中有此種吸收之作用者。則此光帶謂之吸收光帶。吾人若將太陽之光帶。詳細考之。則知其中亦有無數黑線。謂發氏黑線 (Fraunhofer's line)。故太陽光帶。實係一種吸收光帶也。如第八十二圖(緊要光帶之比較)之第一行。係日光帶。則知其中有無數黑線。其尤要者。常以 A, B, C, D 等字母記之。且發氏考得有數條黑線。其位置適在有幾種物質所發之輝線處。例如第八十二圖。日光帶中之 A 黑線。其位置適在鉀光帶所發之紅輝線處。又如日光帶中之 D 黑線。其位置適在鈉光帶之黃輝線處是也。

然則太陽光帶中。何以有此黑線乎。科學家釋之如下。以上試驗⁵⁵。顯明石灰光中之黃色。經

過鈉之黃光燄時。則被其吸收。故光帶中現一黑線。考此外他種顏色光。亦各能將其相同之顏色吸收。故亦能成黑線。按太陽光帶中之黑線。亦即由此理而起。蓋太陽內部所發之光。須經過其外部所包之氣。而後得達於地球。當其經過外部時。外部中之各顏色光。將內部中與其相同之顏色光吸收。此太陽光帶中之所以有多數黑線也。學者須知此種黑線處。並非真屬全無光亮。不過較爲暗淡而已。蓋太陽內部光之已被吸收者。果不能來至地球。然外部在該處所發之光。仍能前來。惟光力較弱。故較爲暗淡耳。

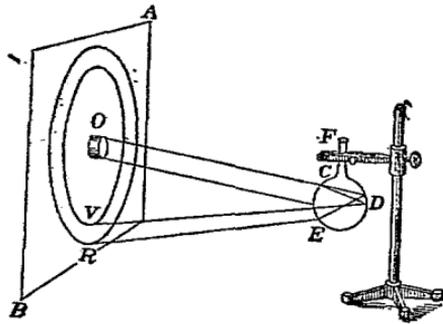
關於分散所起數種
緊要現象之釋明

學者既明光帶之大要。今可將關於分散所起之數種緊要現象釋之。蓋此種事實。亦爲考光學者所不可不研究也。

(A) 成虹之理 吾人若在曠野之處。時能見天空之際。成美麗顏色之圓弧。此即所謂虹 (Rainbow) 也。

學者若欲研究所以成虹之理。當先作以下之試驗。

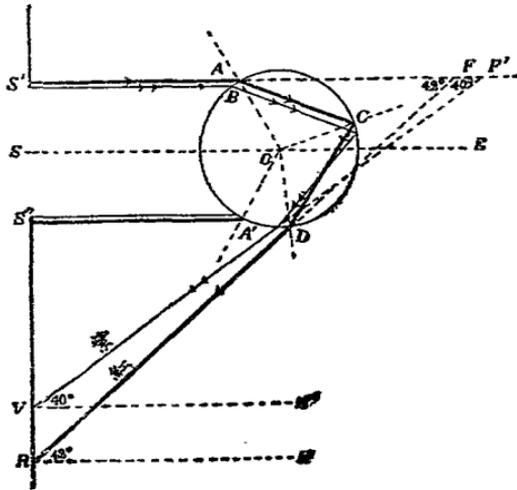
試驗 56. 如第
八十三圖。A B 爲一白
紙片。中有小圓孔 O。
使太陽光線由此小孔射
入暗室內。而以滿盛清
水之小玻璃球 F。(其直
徑約爲 $1\frac{1}{2}$ 英寸) 置



第 八 十 三 圖

於此光線中。則見硬紙片上小孔周圍。現有顏色之圈。內面爲
紫色。外面爲紅色。極似天空之虹。

此試驗所生
之現象。其所
以然之故。可
以第八十四圖
解之。設 $S'S'$
爲硬紙片上之
小圓孔。A C D
爲玻璃球。S E



第 八 十 四 圖

爲此球之中軸。凡光線射於此玻璃球後。一部分被其反射。一部分屈折入水中。然後全反射後。復折至空氣中。故此折出後之光。係有顏色之光也。然科學家考得。凡光線中之紅色部分。其射入線與射出線所成之角約爲 42° 者。則射出後並行而不散開。例如 $S'A$ 射入線。與其射出線 DR 所成之角 $S'FR$ 。若爲 42° 。則射出後之線。依 DR 進行而不散開。故射在硬紙片上。足使吾人見其紅色。以其既屬平行。則較爲濃密也。且學者若細觀第八十四圖。則知 $S'FR$ 角。若恆爲 42° 。則光線射入點 A 。離 SE 中軸之遠近。亦恆必一定。夫玻璃球既係圓形。則離中軸一定遠近之各點。適成爲一圈。此所以射出線在硬紙片上。亦適成一紅圈也。又考得凡光線中之紫色部分。其射入角與射出角爲 40° 者。則其射出線亦均平行。故射在硬紙片上。足使吾人見其紫色圈。(所以成圈之理。亦與上同。) 惟此紫色之 40° 。既較紅色之 42° 爲小。故

此硬紙片上之紫色圈。自在紅色圈之內矣。(與以上試驗中之事實相符) 至太陽光中其他各色之射入線與射出線所成之角。均在 40° 及 42° 之間。故其在硬紙片所成之圈。均依次佈置在紅色圈及紫色圈之間。又學者當註意圖中之 $S'FR$ 角 (42°)。即等於 FRH 角。因 RH 係與 $S'F$ 並行也。又 $S'FV$ 角 (40°)。等於 $F'VH'$ 角。因 VH' 與 $S'F'$ 並行故也。總之。若欲知射入線與射出線所成之角。只須量射出線與 VH' 或 RH 等並行線所成之角即可。

學者既明以上之要理。乃可明曉天際成虹之理。

如第八十五圖。設

E 處為吾人之眼。

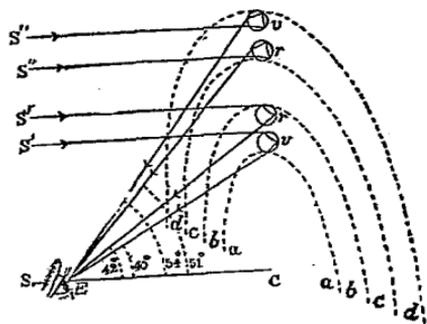
日光由吾人之背後

而來。射於天際之

水點上。 SEC 為

與射入光線之並行

線。則凡光線之射



第 八 十 五 圖

於離 SEC 線 42° 之水點上者。吾人即見紅色。如圖中 bb 圓弧上之 r 點是也。然離 SEC 線 42° 之水點。不止此一點。凡在 bb 圓弧上之各水點。其離 SEC 線之角度均為 42° 。此所以吾人見天際之虹。係圓弧形也。又凡光線之射在離 SEC 線 40° 者。吾人即見紫色。此紫色亦係一圓弧。(其理與紅色圓弧同) 故吾人見成 $ba ba$ 一虹。其內部為紫色。其外部為紅色。凡此種內紫外紅之虹。謂之 **正虹** (Primary bow)。又此外更有所謂**副虹**者 (Secondary bow)。則係內紅外紫之虹。常與正虹並見。其地位在正虹之上。如圖中之 $cdcd$ 圓弧是也。此副虹之成。由於光線射在離 SEC 54° 及 51° 之水點上。屈折入水點後。起二次全反射後。復折至空氣中而成。其離 SEC 線 54° 者。則折出後。紫光線係平行而不散開。故達於吾人之眼。而得見紫色。其離 SEC 線 51° 者。則折出後。紅光線係平行而不散開。故達於吾人之眼而得見紅色。此外各色。

亦依次佈置在紫紅之間。夫紫色之屈折。既較紅色之屈折為大。則紫色之射出線與其射入線所成之角。自亦較紅色之射出線與其射入線所成之角為大。故紫色光線自須在紅色光線之上。此所以副虹係內紅外紫之圓弧。適與正虹相反也。

(B) **色收差** (Chromatic aberration) 光之分散。既由於其中各種顏色之屈折有大小不同之故。則光線經過透鏡後。自亦當起分散之作用。因光線經過透鏡。則亦起屈折也。此種由透鏡所起之分散作用。謂之色收差。可試之如下。

試驗 57. 如第八十六圖。使光線經過雙凸透鏡甲乙。

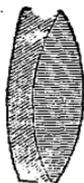
若將一紙片置在較焦點離鏡更近之處。如子。



第 八 十 六 圖

則見一圓光點之周。有紅色發現。若將紙片置在較焦點離鏡更遠之處。如丑丑。則見圓光點之周。有紫色發現。是蓋因紫色之光。其屈折較紅色爲大。故紫色光相交之點。離鏡較紅色光相交之點爲近。(參觀圖中)故紙片若置在圖中紫色相交點(紫字處)之左。則周現紅色。若置在紅色相交點之右。則周現紫色。

由此觀之。透鏡之有色收差無疑。考透鏡所成之像。常不明瞭者。此亦其一原因。故若欲用透鏡以製造精佳之光學器具。當設法減免此種色收差之作用。法以一冕號玻璃(Crown glass 係不含鉛之玻璃)所製之雙凸透鏡。與一火石玻璃(Flint glass 係含鉛之玻璃)所製之平凹透鏡相合併。如第八十七圖所示者。如此合併之玻璃。謂之減色透鏡(Achromatic lens)。用此種透鏡。則色收差之作用。可以消滅。蓋以實驗考得。光線經過冕號玻璃時。其屈折較經過火石玻璃時爲小。故用減色透鏡。則一種玻璃所生之色收差。適被他種玻璃所消去。



第八十七圖

故光線經過此種減色透鏡。能不散而屈折也。

附 顏 色
之 研 究

以上既述關於分散之種種緊要作用。茲未將顏色研究之。蓋光中既有種種之顏色。則吾人所見物體之各種顏色。爲物體所本有乎。抑來自光中乎。各種物體有不同之顏色。究因何故乎。且若將各種光顏色合併。有何一定之作用乎。是不可不分別研究之。

(1) 證明物質之顏色。係來自光中。而非物質所本有。

試驗 58. 照試驗 52 法。使太陽光帶射在一白屏上。乃以一紅布或紅紙等。在此光帶中左右移動之。當見此布在光帶紅色部分時。則爲紅色。若在光帶之他色部分時。則並無紅色。今若更以綠黃等布照法試之。則當見綠布祇在光帶之綠色部分處爲綠。黃布祇在光帶之黃色部分處爲黃。若在他處則否。

由此試驗。可知各種顏色布之顏色。並非其所本有。而實係來自光中。故紅布若不能得光中之紅色。則不能成爲紅。黃布若不能得光中之黃色。

則不能成爲黃。此外以此類推。

(2) 各種物體何以發各種之顏色。欲研究此問題。可將物體分爲二大類。卽不透光物體 (Opaque bodies) 及透光物體 (Transparent bodies) 是也。上試驗中顯明紅色之布。(係一種不透光物體) 祇在光帶之紅色處。則爲紅色。在他處均變爲黑色。由是可知紅色之布。祇能將光中之紅色反射。故祇在光帶之紅色時。則將紅色反射。而吾人得見其紅色。若在光帶之他處時。卽不能將他色反射。故成爲黑色。夫日光係由各種顏色光合併而成者。(參觀試驗 52) 故若將一能反射紅色光之布。置日光中。則光中之紅色部分被其反射。吾人乃見此布係紅色。至青黃等布之所以爲青黃。其理亦與此同。由是可定一界說曰。凡各種不透光物體之所以有各種顏色者。因其所反射之光。有不同之故。若反射紅色。則其物體爲紅。若反射黃色。則其物體爲黃。此外以此類推。若反射多種顏色光。則

其物體之色。即爲此多種顏色合併所成之色。例如白布之所以爲白色。因其能將太陽中之各色全行反射也。至透光物體之所以有各色。則其原因與此異。可先試之如下。

試驗 59. 將照試驗 52 所成之太陽光帶。使先經過一紅玻璃。而後射於白屏上。則見太陽光帶中之他種顏色。均已不見。惟紅顏色仍在。吾人若易以他種顏色玻璃試之。則所得之結果亦同。例如用綠玻璃。則光帶中之他顏色均不見。惟綠顏色仍在是也。

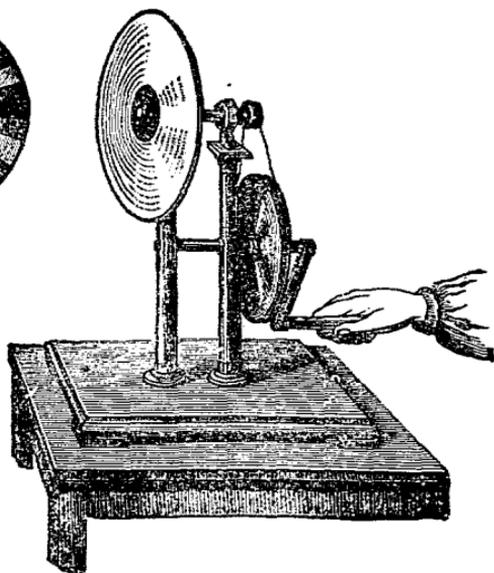
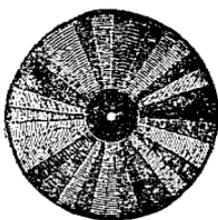
由此試驗。可知紅玻璃之所以爲紅。因其祇能通過光中之紅色。而將其他之色吸收。綠玻璃之所以爲綠。因其祇能通過光中之綠色。而將其他之色吸收。此外以此類推。由是觀之。凡各種透光體(玻璃係一種透光體)之所以有各種顏色者。因其所通過之光有不同之故。若其祇通過一種顏色。則其物體之色。即爲此通過之色。若其同時通過數種顏色。則其物體之色。即爲此數種顏色合併

而成之色。

(3) 光顏色之合併。顏色既有多種。則若將數種顏色合併。有何種一定之結果乎。前言白色之太陽。可使之分散為紅朱黃等七色。反之。吾人若設法使此七色合併。理當可復得本來之白色。以下試驗。可以證明此理。

試驗 60. 如八十八圖。取一奈端七色板(Newton's disc)。

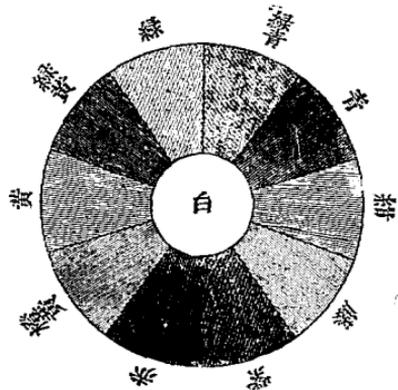
上繪有
與太陽
光中相
同之七
色。(此
種板市
上有出
售者。)
插於一
旋轉機
之橫軸



第 八 十 八 圖

上。而急速旋轉之 則見此七色板變為白色。

由此試驗。可知若將太陽光中之七色合併。則可成爲白色。考此外尚有多種合併之法。其結果亦可成爲白色。如第八十九圖。任取二對過之二種顏色而合併之。則均成爲白色。例如綠與紫合併。或綠青與赤合併。或青與橙黃合併。均能成爲白色是也。此外以此



第 八 十 九 圖

類推。凡如此二種顏色合併後。使吾人得見其爲白色者。則此二類色。謂之補色(Complementary colours)。故綠與紫爲補色。綠青與赤亦爲補色也。

白色之光。可用上法合成之。然各種顏色之光。有何法以合成之乎。曰有。蓋考得光帶中之各種顏色。均可以紅綠紫三色成之。若將此三色多寡之比例更易之。而用試驗⁶⁰中之法用旋轉機急速旋轉之。則可得種種之顏色。由是觀之。根本之顏

色。祇有紅綠紫三種。是之謂原色 (Primary colours)。
科學家熊氏 (Dr. young) 於是進一原理曰。吾人之
光顏色知覺。只有紅綠紫三種。所以能見種種之
光顏色者。實因觸動此三種顏色知覺有大小不同
之故耳。故光顏色合併之結果。與顏色料 (Pigments)
合併之結果。其理不同。蓋顏色料合併之結果。
並非因三種顏色知覺觸動有不同之結果。而乃太
陽光中之顏色。被顏色料吸收後所餘之色之結果
有不同也。可試之如下。

試驗 61. 在黑板上。用橙黃鉛筆畫一黃條。然後再用
藍鉛筆在黃條上畫之。則見其結果係一綠色之條。

按照光顏色合併之理。橙黃及藍二光顏色合併
後。應成爲白色之光。(參觀第八十九圖) 而不當成爲
綠色。可知光之合併。與顏色料之合併顯然分別
也。考黃鉛筆能將黃色光及綠色光反射。而將其
餘之光吸收。藍鉛筆能將藍色光及綠色光反射。
而將其餘之光吸收。故將黃鉛筆及藍鉛筆合併。

則祇有綠色之光反射。其餘盡被吸收。此所以上試驗中之結果爲綠色之條也。可知顏色料合併後所成之色。乃太陽光之顏色被此合併之顏色料吸收後所餘之色。故與光顏色之合併。其作用截然不同。

習題

1. 試言連續光帶、輝線光帶、及吸收光帶之要別。
2. 正虹及副虹。其別何在。並略言其所以成之理。
3. 吾人若在暗室中燃鈉 (Sodium)。使發黃色之火。則室中紅色之物。不復爲紅。綠色之物。不復爲綠。其故何在。
4. 太陽光若以紅玻璃觀之。則見爲紅。若以綠玻璃觀之。則見爲綠。若以紅綠玻璃相疊而觀之。則幾無光可見。試言其故。
5. 補色與原色。其別何在。

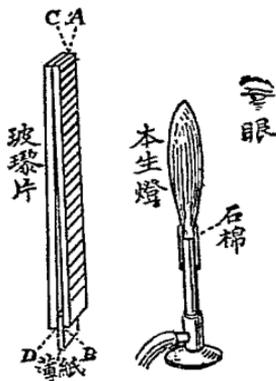
V. 成光之理

(Theory of light)

學者既將以上光之種種作用研究。今末論成光之理。考此問題頗難解決。且科學家今昔之意見

亦異。茲之所述者。不過爲近今科學家公認之原理耳。學者可先將以下之試驗爲之。蓋由此試驗。可推出多種成光之要理也。

試驗 62. 如第九十圖。取二玻璃片。各長約五寸。寬約半英寸。下端插一薄紙。上端則用鐵箝緊緊箝住之。如是則二玻璃中間之空氣。成一薄尖劈。乃以一本生燈。置此玻璃之前。而以浸有鈉化合物溶液（如食鹽溶液之類）之石棉。置在本生燈之上端。使石棉與火燄相接觸。則發黃顏色之火燄。即見玻璃片中。現有多數黑黃相間之極細橫條。



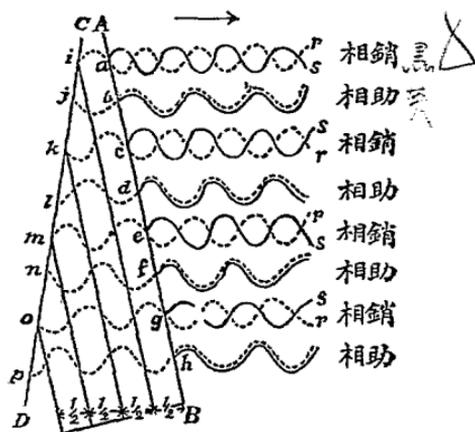
第九十圖

光係一種波
浪之作用

此何故歟。考吾人若將光作爲一種波浪之作用。謂之光浪 (Light wave)。則可用以解釋以上之事實。極爲恰當。如下。

以上火燄之每點。均可作爲送出光浪。此種光浪進行至玻璃片上。則一部分通過玻璃。而一部分則被玻璃之各面反射。然 A B 及 C D 二面。即係薄尖劈空氣之二面。今試研究光浪由此

二面上反射。則理當生以上試驗中所見之黑色及黃色橫條乎。
 如第九十一圖。設 AB 及 CD 。為空氣尖劈之二面。 as 黑曲線。為由 AB 面上之 a 點處反射之光浪。 ir 虛曲線。為由 CD 面上之 i 點處反射之光浪。又圖中其餘之各黑曲線。亦為由 AB 面上他點處之反射光浪，而各虛曲線。亦為由 CD 面上他點處之反射光浪。凡由二面反射之二光浪相遇時。如其相位 (Phase 界說見前第 23 頁) 適相反者。(例如



第 九 十 一 圖

圖中之 as 及 ir 二光浪。)則起干涉之作用。(Interference 學者。可參觀前第 32 頁。)以致適相銷滅。此以上試驗中黑色橫條之所由起也。又設如光浪由 c 至 k 所經之路。較由 a 至 i 所經之路。適多浪長之半。(浪長界說。亦見前第 23 頁。)則光浪由 c 至 k 而復由 k 反射至 c 。所經之路之總數。適多一浪之長。故由火燄所來之光浪。由 k 反射至 c 時。其相位必與

a r 之相位同。故遇由 A B 面上 c 點處之反射光浪 e s 後。亦必起干涉而銷滅。則復起一黑線。其餘在 e 點及 g 點處之黑線。其起源之理。亦與此相同。此以上試驗中之所以成多數黑色橫條也。又在二相鄰干涉點之間。必有一點。如 b, d, f 或 h 等處。在該點處由二面反射之二光浪相遇時。其相位適同。如此則起相助之效 (Re-enforcement)。此以上試驗中。二黑色橫條間之所以有黃色橫條也。

由是觀之。以光浪之理。解釋以上試驗中之現象。最為確當。故近世科學家。莫不同認光為一種波浪之作用矣。吾人既知光為一種波浪之作用。則須將此種波浪之內容研究之。詳言之。即須研究三事也。(1) 光浪發生之根源 (Source of light waves)。(2) 光浪傳達之媒介 (Medium for transmission)。(3) 光浪之狀況 (Nature of light waves)。茲試分別研究之。

光浪發生 之根源

考發光之物體。其熱度常頗高。例如日球及地球上各種燃燒之物等是也。且其熱度愈高者。則所發之光亦愈強。然熱學中

考得。凡物體之熱度愈高者。其分子及原子* (Molecules and atoms) 之振數亦愈甚。可知發光之根源。亦由於物體中微點之振動明矣。然此種微點之振動。其每秒鐘之振動次數。究爲若干乎。吾人若欲測知其速率。可先算出其浪長 (Wave length 卽微點振動一次所成之浪之長)。然後以浪長除光之速率。即可得微點振動之速率矣。茲將浪長之算法。述之如下。

考各種之顏色光。其浪長亦不同。茲將黃顏色光浪長之算法述之。以概其餘。設以上試驗 62 中。二玻璃片中所成之空氣尖劈。量得爲長 100 耗。又設二玻璃片之上端。互相接觸。而下端則以厚 $\cdot 03$ 耗之薄紙隔開之。又設量得黃色火燄在玻璃片上所成之黑色橫條。相距爲 1 耗。則吾人即可藉此各數。以算出黃顏色光之浪長。蓋空氣尖劈之長。既爲 100 耗。而二黑色橫條之距離爲 1 耗。則玻璃片上必橫有 100 黑色橫條。其最下之一條處。二玻璃片之距離。必爲 $\cdot 03$ 耗。蓋下端所隔之薄紙。爲厚 $\cdot 03$ 耗也。故最上之第一黑色橫條處。二玻璃中之

* 凡物體均由分子及原子所組織而成。學者如欲研究此問題。可參觀民國新教科書化學。

距離。(如第九十一圖中 a 點與 i 點之距離) 必爲 $\cdot 03$ 耗之百分之一。即 $\cdot 0003$ 耗也。然 a 點乃二浪起干涉作用之點。故光浪由 a 至 i。復由 i 反射至 a。所經之路。共爲一浪之長。(理已見前)故 a 點與 i 點之距離。必適爲半浪之長。然前見 a 點與 i 點之距離爲 $\cdot 0003$ 耗。故黃色光之浪長。必約爲 $2 \times \cdot 0003$ 。即 $\cdot 0006$ 耗可知矣。按此外他色光之浪長。亦可照法測定之。祇須將試驗 62 中本生燈管上端之石棉。浸以能發該顏色火燄之物質而已。由是考得紅光之浪爲最長 (約 $\cdot 00068$)。其次爲黃 ($\cdot 0006$)。其次爲綠 ($\cdot 00052$)。其次爲藍 ($\cdot 00046$)。其次爲紫 ($\cdot 00042$)。

吾人既知光浪之長。則發光物質微點之振動次數。即可將浪長除光之速率算得之。蓋一浪之長。係由一次完全振動所成。故設以 l 爲一浪之長。 n 爲每秒鐘振動次數。則 $l n$ 爲在一秒鐘時該光浪進行之總共路。即光之速率也。故設以 v 爲光之速率。則得 $v = l n$ 之公式。依代數理。即得 $n = \frac{v}{l}$ 。詳言之。振動次數。可以浪長除速率得之也。前第三章第 69 頁。見光之速率爲每秒鐘約 314000000

米（即314000000000耗）。此數以 $\cdot 0006$ 浪長除之。約得 500,000,000,000,000（即五百兆兆）。是即發黃色光之物質之微點每秒鐘振動之次數也。吾人若將他種顏色光之浪長。照法除光之速率。則即可得發他種顏色光時物質微點振動之次數。由是考得發紅色光時。微點振動次數爲最小。其次爲黃。其次爲綠。其次爲藍。其次爲紫。由此觀之。可知所以有各種不同之顏色光者。在發光體微點振動之次數不同而已。

註。 前言聲之起原。亦由於物體之振動。然學者須知發聲體之振動。與發光體之振動不同。蓋發聲體之振動。由於物體全體之振動。而發光體之振動。則由於物體中微點之振動也。例如鐘係一物體。若擊之。則鐘之全體振動。而爲聲之起源。今若將鐘加以大熱。或通以電力。則鐘中之微點。各起振動。而爲光之起源矣。此發光體之振動與發聲體之振動不同者一也。抑此外尤有一不同者在。蓋前見發聲體之振動次數。每秒不過數十次至數萬次而已。（參觀前第 39 頁）至發光體微

點之振動次數。則每秒竟有四百兆兆至八百兆兆之多。此發光體之振動與發聲體之振動不同者又一也。

光 浪 傳 達
之 媒 介

發光之根源。由於發光體微點之速振動明矣。然前見發聲體之振動。

須有傳達之媒介。如空氣及水等類。吾人乃得聞其聲。則發光體微點之振動。究藉何種媒介以傳達。使觸動吾人之眼目而發光亮之知覺乎。前第15頁言罩中將空氣抽出。則不復能聞鈴聲。然考光則不然。雖無空氣之處。光亦能經過。顯見光之傳達。不由於空氣。科學家多方研究之後。竟不能試知傳光之媒介究為何物。然若無媒介。則微點振動之力。勢難傳達於吾人之目。且種種光之作用。亦將不能解釋。故科學家同意。以為空氣中必有一種為人目所不能見之媒介。且此種媒介。無處無之。其質點必極其微。無論何物中。均能入之。頗似一種極稀之氣體。此種媒介。科學家謂之(Luminiferous ether)。譯音為以太。今譯為能媒。

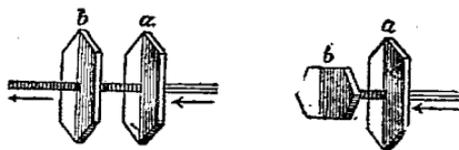
媒。凡發光體微點振動時。即使此能媒中起波浪之作用而傳達。及此種波浪觸於吾人之眼。則吾人即覺有光。是故光浪者。乃能媒中之一種波浪也。

光浪之
狀況

光浪爲能媒中之波浪明矣。然其振動之情狀。究何若乎。前第²²頁言聲浪係一種密部及稀部相間而成之浪。考光浪並不發現此種作用之憑證。故顯與聲浪不同。然現今科學家。尙未能確知光浪之內容究竟何若。不過知此種光浪之振動方向。確係橫振動而已 (Transverse vibration)。可試之如下。

試驗 63. 取結晶電氣石二片 (Tourmaline crystals)。執

之置於發光體 (如日光或燈光之類) 及眼之間。則可試知當此二石片之主軸平行時。如第九十二圖左



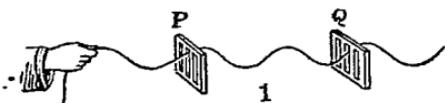
第 九 十 二 圖

邊所示者。則光線能通過此二石片。故吾人能見光亮。今若將一片轉動之。使二石片之主軸成直角 (即 90° 之角)。則光線即

不通過。故無光亮可見。如圖中右邊所示者。

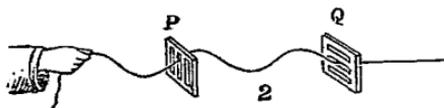
此何故歟。可以第九十三圖之理釋之。設 P 及 Q 爲中有小縫之二片。縫中穿以一索。一端緊緊繫於物上。一端以手執之而上下振動之。則索成橫振動之浪。當小縫

平行時。如圖中之



1. 則索之橫浪。能

經過 P 及 Q 二片。



毫無阻礙。然若將

第九十三圖

Q 轉動之。使 Q 之小縫。與 P 之小縫成直角。則索之橫浪。即不能經過 Q 矣。光之通過以上二電氣石片。其理亦正與此同。當二片主軸平行時。則光能通過。正與小縫平行。則索之橫浪能通過之理同。當二片主軸成直角。則光被阻止。亦正與小縫成直角。則索之橫浪不能通過之理同。是故光浪。亦必係一種橫振動之浪無疑。

習題

1. 成光之理。與成聲之理。其不同之要點何在。試縷晰言之。
2. 各種顏色光。其根本上有何緊要不同之處。
3. 光浪之長。可用何法以測定之。試言其要略
4. 光浪之振動。恆係橫振動。何以證之。

固體力學

MECHANICS OF SOLIDS

第 四 章

固 體 力 學

(Mechanics of Solids)

吾人常見以力施於物質上。則生種種之效果。例如靜止之物。以力施之則動。運動之物。以力施之則靜。力學者 (Mechanics)。專研究以力施於物質上所生之種種效果。而求其一定之律也。此部學問。極關緊要。大而至於星球之運行。小而至於機械之動作。莫不遵從此種力學之定律。其爲用甚大。故學者當悉心研究之。考物質有固體及流體之別。(見前第 10 頁) 流體富於流動之性。而固體則否。所以固體物質受力後。其作用與流體物質異。吾人可將力學大別爲固體力學及流體力學二類。以便研究。茲先將固體力學論之。至流體力學。則俟諸下章述之。

考固體力學。包含頗廣。吾人爲便利起見。可

復析之爲以下五類。

1. 運動學 (Kinematics)。專論物體之運動。而不涉及關於此種運動之力。按此種知識。爲研究力學所必需之先導。

2. 動力學 (Kinetics)。專論關於物體運動之力。按動力學西文亦有名之爲 (Dynamics) 者。惟近今科學家。常用此字爲動力學及靜力學之總名稱者。

3. 靜力學 (Statics)。專論關於物體靜止之力。

4. 工作及動力之研究 (Work and energy)。專論工作與能力之要義。及其大小測量法。

5. 機械學 (Machines)。專論各種機械之要理。

茲將此五種分別研究其大要如下。

1. 運動學

(Kinematics)

數種緊要名
稱之界說

學者當從事研究之前。當先明數種緊要界說。以便引用。

1. 凡物體改變其地位者。謂之運動 (Motion)。例如舟車之馳駛。鳥獸之飛行。皆係運動。以其一

秒
60 秒
(基本單位)
164

60 秒
(合成單位)

秒, 分, 時
C, G, S, 制

基本單位

第四章 固體力學

時在此。而過一時則易其地位矣。故運動實兼時與位二者之作用也。

2. 凡運動體所經之路。如係直線者。則謂之直線運動 (Rectilinear motion)。如係曲線者。則謂之曲線運動 (Curvilinear motion)。

3. 凡但指一運動體在單位時間內所經之路爲若干。而不及其運動之方向者。則謂之速 (Speed)。如並及其運動之方向者。則謂之速率 (Velocity)。例如設有二物體。其運動之遲速相同。如祇言其每點鐘或每分鐘運動若干里或若干尺等類。而不及此二物體運動之方向爲如何者。則謂之速。如並言此二物體相關之方向爲如何。(如或言平行或言成何角度之類。) 則謂之速率。

4. 凡物體運動。其在每單位時間內所經之路多寡相同者。則謂之等速運動 (Uniform motion)。如多寡不相同者。則謂之不等速運動 (Variable motion)。例如一火車。每點鐘均行三十里。則其運動爲等速運動。如在此點鐘中行三十里。而在彼點鐘中

行三十餘里或不及三十里者。則其運動爲不等速運動。

5. 凡等速運動體。其速率亦必相等。謂之等速率 (Uniform velocity)。凡不等速運動體。其速率亦必不相等。謂之不等速率 (Variable velocity)。凡不等速率。其每繼續之二單位時間內所差之數。謂之加速率 (Acceleration)。例如一火車第一點鐘行三十里。第二點鐘行四十里。則所差之十里。即謂之加速率。按加速率亦有等加速率及不等加速率二種之別。凡每繼續之二單位時限所差之數均相等者。謂之等加速率 (Uniform acceleration)。如不等者。謂之不等加速率 (Variable acceleration)。例如一運動體第一點鐘行十里。第二點鐘行二十里。第三點鐘行三十里者。則其速率爲等加速率。因第二點鐘之速率。與第一點鐘之速率相差十里。而第三點鐘之速率。與第二點鐘之速率相差亦十里故也。如其相差之數不相等者。則其速率即爲不等加速率。

等速運動
之公式

學者既明以上之界說。茲先將等速運動研究之。而求其公式如下。設有一等速運動體。其速率爲 v (即在每一單位時間內所經之路)。則在二個單位時間內所經之路即爲 $v \times 2$ 。在三個單位時間內所經之路爲 $v \times 3$ 。故在 t 個單位時間內所經之路。即爲 $v \times t$ 。設以 S 表此所經之路。則得 $S = v \times t$ 之公式。簡書之。則爲

$$S = vt$$

詳言之。即等速運動體所經之路。等於其速率乘所需之單位時間也。今試設一例以明此公式之用。例如有一物體。每秒鐘行十一尺。問此七秒鐘時。共行若干尺。可算之如下。

$$\text{因 } S = vt, \text{ 但此處 } v = 11, t = 7$$

$$\text{故 } S = 11 \times 7 = \underline{77 \text{ 尺}}$$

又由 $S = vt$ 公式。按代數理。可化得以下二式。

$$v = \frac{S}{t} \text{ 即若知所經之路及所需之時。可算得速率也。}$$

$$t = \frac{S}{v} \text{ 即若知所經之路及速率。可算得所需之時也。}$$

今試各設一譬。以明此化得之二公式之用。

(1) 有一火車。每分時 (即 60 秒) 行一英里 (即 1760 碼) 問此車每秒之速率爲若干碼。

$$\text{因 } v = \frac{S}{t}, \text{ 但此處 } S = 1760, t = 60$$

$$\text{故 } v = \frac{1760}{60} \text{ 碼} = \underline{88 \text{ 英尺}}$$

(2) 設有一馬。每秒行 15 呎 (Meter)。問若行 1000 呎。當需若干秒。

$$\text{因 } t = \frac{S}{v}, \text{ 但此處 } S = 1000, v = 15$$

$$\text{故 } t = \frac{1000}{15} = \underline{66\frac{2}{3} \text{ 秒}}$$

等加速率運動之公式

按等加速運動之緊要公式。共計有三。今試分別述其求出之法。

(A.) 速率與時相關之公式。設有一運動體。其起首時之速率爲 V 。然以後則每一個單位時間。增加其速率。其所增之數。設爲 a (即加速率)。則一秒後。其速率爲 $V + a$ 。二秒後。其速率爲 $V + 2a$ 。三秒後。其速率爲 $V + 3a$ 。故 t 秒後。其速率爲 $V + ta$ 。或寫爲 $V + at$ 。設以 v 表此 t 秒後之速率。則得公式如下。

$$\underline{v = V + at}$$

今試設一例。以明公式之用。例如有一等加速率之運動體。其每秒之等加速率為12。設其起初時之速率為7。則五秒後之速率當為若干。

$$\text{因 } v = V + at \text{ 但此處 } V = 7, a = 12, t = 5$$

$$\text{故 } v = 7 + 12 \times 5 = \underline{67}$$

註。按 $v = V + at$ 公式中。共有 v, V, a, t 四數。依代數理。若已知其中之三數。即可求得其他之一數。例如知 v, V, a 三數。即可求 t 。知 v, a, t 三數。即可求 V 。知 v, V, t 三數。即可求 a 是也。

(B) 所經之路與時間相關之公式。如欲求此種等加速率運動體所經之路。則須另求一公式如下。法先求每個單位時間之平均速率。然後以共需之時乘此平均速率。則即得所經之路。按數學理。凡數種等加之數。其平均數恆為首尾二數相和之半。例如 $1, 2, 3, 4, 5$ 係五種等加數。其平均數為 $\frac{1+2+3+4+5}{5} = 3$ 。然此平均數 3。亦可由首尾二數 1 及 5 相加後折半得之 ($\frac{1+5}{2} = 3$)。今欲求等加速率之平均速率。其法亦如此。故設以 V 為起首時

之速率。則末後時之速率。當爲 $V + at$ 。(理見 $v = V + at$ 公式。) 則此首尾二速率之和。爲 $2V + at$ 。以二除之。則得 $V + \frac{1}{2}at$ 。是即平均速率也。此平均速率以共需之時 t 乘之。即爲所經之路。設以 S 表此所經之路。則得如 $S = (V + \frac{1}{2}at)t$ 之公式。或可寫之如下。

$$S = Vt + \frac{1}{2}at^2$$

今試設一二例。以明此公式之用。

(1) 設有一等加速率運動體。其每秒之等加速率爲 12 尺。設其起首時之速率爲 7 尺。問在五秒時。共經之路當爲若干尺。

$$\text{因 } S = Vt + \frac{1}{2}at^2 \text{ 但此處 } V = 7, a = 12, t = 5$$

$$\text{故 } S = 7 \times 5 + \frac{1}{2}(12 \times 5^2) = 185 \text{ 尺}$$

(2) 設有一物體。由靜而動。其每秒之加速率爲 20 尺。問在六秒時。共經之路。當爲若干尺。

按物體既由靜而動。則起首時之速率 V 等於 0。此外 $a = 20, t = 6$

$$\text{故 } S = Vt + \frac{1}{2}at^2 = (0 \times 6) + \frac{1}{2}(20 \times 6^2) =$$

$$0 + 360 = \underline{360 \text{ 尺}}$$

註. 此 $S = Vt + \frac{1}{2}at^2$ 公式中共有 S, V, a, t 四數。

若知無論何三數。即可求得其餘之數。故用此公式。不僅可求所經之路 S 也

(C) 所經之路與速率相關之公式。以上共得

$v = V + at$ 及 $S = Vt + \frac{1}{2}at^2$ 二公式。若將此二公式合併之。則可去 t 而得所經之路與速率相關之公式矣。如下。因 $v = V + at$ 。故 $v^2 = (V + at)^2 = V^2 + 2aVt + a^2t^2 = V^2 + 2a(Vt + \frac{1}{2}at^2)$ 。然 $Vt + \frac{1}{2}at^2 = S$ 。故得公式如下。

$$v^2 = V^2 + 2aS$$

今試設一例以明此公式之用。

設有一等加速率運動體。但知其起首時之速率為 10 尺，其加速率為 3 尺。問此物體經過 50 尺後。其速率當為幾何。

$$\text{此處 } V = 10, a = 3, S = 50$$

$$\text{故 } v^2 = V^2 + 2aS = 10^2 + 2 \times 3 \times 50 = 400$$

$$\text{故 } v = \sqrt{400} = \underline{20 \text{ 尺}}$$

註. 此 $v^2 = V^2 + 2aS$ 公式中。亦有 v, V, a, S 四數。

故知其三者。即可求其他。故用此公式。不僅可求末後之速率 v 也。

數 速 率
之 合 併

以上所舉等速運動及等加速運動之公式。係屬運動學中最緊要之公式。爲初學者所不可不知。初學者若能演用變化之。卽已足矣。茲更將數種速率合併 (Composition of velocities) 之作用究之。按此種作用。最易以繪畫法表之。蓋速率既含有大小及方向。(參觀前第 164 頁。又每單位時間內所經之路爲若干。卽其大小也。) 故速率可以一直線表之。以直線之長表其大小。而以直線之方向表其方向。例如設有一速率。爲每秒 60 英里。



第九十四圖

其進行之方向。爲自西

而東。此速率卽可以第九十四圖中之自西而東之 AB 直線表之。若以每半英寸表 10 英里。則可使 AB 長三英寸。卽可表 60 英里。若以一英寸表 10 英里。則可使 AB 長六英寸。亦可表之。其餘以此類推。

學者既明速率可以直線表之。今可即用此法。以研究數種速率合併之作用。茲擇其最要者三種論之。

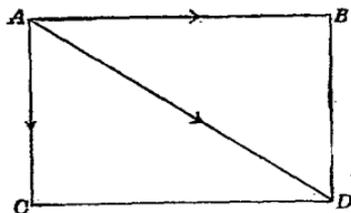
(1) 同在一直線上二速率之合併。設有一船。在不流動之水中。每小時可行 2 里。則若在流動之水中。其速率必異。設此水之流動速率。為每小時 3 里。則船若順水而行。船之進行速率。必變為 $2 + 3$ 即 5 里。而船仍得依原方向進行。船若逆水而行。船之進行速率必變為 $2 - 3$ 即 -1 里。蓋水之速率既較船之速率為大。則船必倒退也。

總之。凡一物體同時有二速率。而此二速率係在一直線上者。則如此二速率之方向相同。其結果速率 (Resultant velocity) 即為此二速率之和。而方向不改。如此二速率之方向相反者。則其結果速率為二速率之較。而其方向則為二速率中較大者之方向。

(2) 成角度之二速率之合併。設有一船。在不流動之水中 每小時可行 5 里。今若在每小時流動 3 里之流水中行駛。而船之進行方向。適與水流動之方向成 90° 之角。則其結

果速率。當爲如何。可依九十五圖求得之。設以 8 耗 (Millimeter 見書後度量衡表) 表 1 里。則 5 里可以 40 耗表之。3 里可以 24 耗表之。乃作 AB 線長 40 耗。以表每小時船行 5 里之速率。更作 AC 線與 AB 成 90°

之角。長 24 耗。以表每小時水流 3 里之速率。今即可由此二線以求結果速率。法由 C 點作 CD 線與 AB 平行。由 B 點作 BD 線與 AC 平行。如此則



第 九 十 五 圖

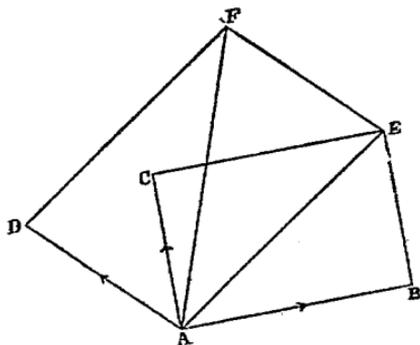
得一 $ABDC$ 之平行方形 (Parallelogram)。則此平行方形之對角線 (Diagonal) AD 。即爲所求之結果速率也。蓋當船由 AB 方向進行 5 里時。船被水衝向 AC 方向 3 里。故一小時後。船不克至 B 點處。而被移至 D 點處。按船一路進行時。一路起如此移動之作用。故船實在進行之方向。不爲 AB 方向。亦不爲 AC 方向。而爲 AD 方向也。吾人若繪之精準。則可量得 AD 約長 46.64 耗。按前繪畫時所用之標準。既以 8 耗爲 1 里。故此 46.64 耗共合 5.83 里。詳言之。即結果速率爲每小時船行 5.83 里是也。

總之。凡一物體同時有方向不同而互成角度之二速率。若欲求其結果速率之大小及方向。可將此二速率爲平行方形之二邊。而作成一平行方形。則此平行方形之對角線。卽爲所求之結果速率矣。

註。若用算學法。亦可算得結果速率。例如 AB 及 AC 二速率。既成直角（卽 90° ）。則 ABD 三角形。爲一直角三角形。故按幾何理。 $AD^2 = AB^2 + BD^2$ 。故 $AD^2 = 5^2 + 3^2$ 。故 $AD = \sqrt{5^2 + 3^2} = \sqrt{34} = 5.83$ 里。

(3) **多種速率之合併**。設有一物體。同時有三速率。一係向東者爲每秒 120 尺。一係向北者。爲每秒 80 尺。一係向西北者。爲每秒 100 尺。問其結果速率。爲每秒若干尺。

此結果速率。可依第九十六圖求得之。設以 1 糎表 40 尺。則 AB 長 3 糎。AC 長 2 糎。AD 長 $2\frac{1}{2}$



第九十六圖

纏。以表向東向北及向西北之三速率。今若先以 AB 及 AC 爲平行方形之二邊，而繪 $ABEC$ 平行方形。則對角線 AE 。即爲 AB 及 AC 二速率之結果速率。今若將 AE 及其餘之速率 AD 。作爲二邊。而另作一 $AEFD$ 平行方形。則對角線 AF 。即爲 AE 及 AD 之結果速率。即爲 AB 、 AC 及 AD 三速率之結果速率也。

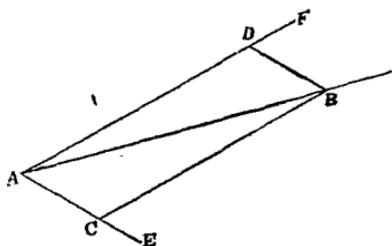
總之。凡一物體同時有二以上方向不同之數速率。則其結果速率。即爲用屢作平行方形法所得最後一平行方形之對角線。

一速率
之分解

由上可知數速率。可合爲一速率。然則一速率。亦可分爲數速率乎。曰可。蓋祇須將數速率之合併法。反其道而行之可也。例如設有一向東每小時 40 里之速率。今欲將此速率分爲二速率。其中一速率係向東南者。其他一速率。則與此向東南之一速率成 60° 之角。則可如下第九十七圖法求得之。

先繪 AB 以表向東每點鐘 40 里之速率。然後繪 AE 與 AB 成 45° 之角。(蓋欲求之一速率。係向東南向者。故與 AB 成 45° 之角。) 再繪 AF 與 AE 成 60° 之角。乃

由 B 點作 BD 及 BC 二線。以成 AEBG 一平行
 方形。則 AG 及 AD、即
 爲欲求之二速率也。蓋
 前數速率之合併中。見



第九十七圖

設 AC 及 AD 爲二速率。則其結果速率當爲 AB。
 故反之。若將 AB 分解之。則 AC 及 AD 自爲分解
 後所得之二速率矣。此種將一速率分爲數速率之
 作用。謂之速率之分解 (Resolution of velocities)。

習題

1. 何謂運動學。此學與動力學及靜力學之要別何在
2. 試舉運動、速率、加速率、結果速率之界說。
3. 考地球離日約爲 92,897 兆英里。設測得光由日至地球共
 需 8 分 19 秒鐘。問光之速率。每秒鐘約爲若干英里。

答約爲 186000 英里

註。參觀前第 166 頁等速運動之公式

4. 設有一物體。由靜而動。每秒之加速率爲 20 尺。問過
 6 秒後。其速率當爲若干。又問在此 6 秒中。共經之路爲

若干。答速率為每秒 120 尺共經之路為 360 尺

註。參觀前等加速運動中 $v = V + at$ 及 $S = Vt + \frac{1}{2}at^2$ 二公式。又學者當注意。此處物體既由靜而動。則起首時之速率自等於無。

5. 設有一等加速運動體。但知其起首時之速率為每秒 2 尺。又知過 3 秒後。其速率為每秒 20 尺。問此物體之加速率每秒當為若干尺。答 6 尺

註。參觀前第 168 頁中小註。

6. 設有一等加速率運動體。但知其每秒之加速率為 2 尺。又知其在 3 秒之時間中。所經之路。共為 30 尺。問此物體在第一秒起首時之速率。當為每秒若干尺。答 7 尺

註。參觀前第 170 頁中第一小註。

7. 設有一等加速率之火車。但知其起首時之速率為每秒 2 尺。經過 20 尺後。其速率達至每秒 10 尺。問此火車之等加速率。每秒為若干尺。答 2.4 尺

註。參觀前第 170 頁中第二小註。

8. 設有一運動之球。其速率為每秒 20 尺。當其進行之際。忽被一與其方向成直角每秒 40 尺速率之運動體所撞。試以繪

畫法求此球之結果速率。

答每秒鐘約 45 尺

註。參觀前第 173 頁上之法。

9. 設有一物體。同時受有三速率。第一速率與第二速率所成之角為 60° 。第二速率與第三速率所成之角為 45° 。又第一速率為每秒 20 尺，第二速率為每秒 30 尺。第三速率為每秒 40 尺。試以繪畫法求其結果速率。

答每秒約 69 尺

註。參觀前第 174 及 175 頁上之註。

10. 何謂速率之分解。試述以繪畫法使速率分解之大要。

II. 動力學

(Kinetics)

上之所論者。乃運動學。專論物之運動而不涉及關於此種運動之力。茲之所論者。乃動力學。專論關於物體運動之力。故運動學以運動為主旨。而動力學則以力為主旨。

數種緊要名稱之界說

學者既明運動學之主旨。茲當從事研究動力學之前。可先將以下數種緊要名稱之界說考之。以便引用。

1 力 (Force) 凡改變物體動靜之狀態者。均謂

之力。例如設有一本係等速運動之物體。今若欲其停止運動。或不爲等速運動。則非施之以力不可。又如設有一本係靜止之物體。如欲其動。亦非施之以力不可。故欲改變物體動靜之狀態。非力不可也。

2. 運動量 (Momentum) 考運動之物體。若欲其停止。有須用極大之力而後止者。有祇需些少之力而即止者。可知物體之運動。其大小之量有不同也。此種運動大小之量。謂之運動量。然運動量之大小。須視何者而定乎。經科學家研究之後。乃知須視以下二者而定。

a. 視運動體質量之多寡。 例如設有二物體。一爲火車 一爲小球。則火車之質量 (Mass 參觀前第 5 頁)。自較小球之質量爲多。設此火車及小球每分時均各行 100 尺。則吾人自知欲使此運動之火車停止。所需之力。必較使此運動之小球停止爲大。是蓋因火車運動之量。較小球運動之量爲大也。然火車運動之速率。既與小球之速率相同。則可知火車運動量之所以較大者。自必因其質量較多之故。由是觀之。運動量之大

小。須視質量之多寡明矣。

b. 視運動體速率之大小。例如設有甲乙質量相同之二小球。甲球以鎗射之。而乙球則以手拋之。則甲球之速率。自必較乙球為大。吾人亦知欲使鎗中射出之甲球停止。所需之力。必較使手中拋出之乙球停止為大。蓋因甲球之運動量。較乙球之運動量為大也。然甲球之質量既與乙球之質量相同。則可知甲球運動量之所以較大者。自必因其速率較大之故。由是觀之。運動量之大小。須視速率之大小明矣。

總上以觀。可知運動量之多寡。須視運動體之質量及速率之大小而定也。故質量多一倍。則運動量亦多一倍。速率多一倍。則運動量亦多一倍。今若以 m 表質量。 v 表速率。則得運動量之公式如下。

$$\text{運動量} = mv$$

茲試設一二例。以明此公式之用。

(1) 設有甲乙二球。甲球重 10 磅。每秒行 300 尺。乙球重 5 磅。每秒行 600 尺。問此二球之運動量。是否相同。

$$\text{甲球之運動量} = mv = 10 \times 300 = 3000$$

$$\text{乙球之運動量} = mv = 5 \times 600 = 3000$$

故此二球之運動量相同。

(2) 設有甲乙二物體。甲物體重 15 磅。每秒行 300 尺。乙物體重 3 磅。每秒行 1260 尺。問此二物體之運動量。何者爲大。

$$\text{甲物體之運動量} = mv = 15 \times 300 = 4500$$

$$\text{乙物體之運動量} = mv = 3 \times 1260 = 3780$$

故甲物體之運動量爲大。

3. 外力 (Impulse) 考以力施於物體上。其所生之效果。須視所施之力之大小而定。此種所施之力。謂之外力。然外力之大小。須視何而定乎。經科學家研究之後。則知須視以下二者而定。

a. 視力之大小 (Force)。例如設有一車。以大力推之。則其行較速。以小力推之。則其行較遲。可知所施之力較大者。其所生之效果亦較大。所施之力較小者。其所生之效果亦較小。由是觀之。外力之大小。須視力之大小而定明矣。

b. 視時之長短 (Time)。吾人常見重大之物體。初推之不動。然推之較久而能動者。若及說既動之後。仍接續推之。

則久而其動更速。可知施力之時較長者。其所生之效果亦較大。施力之時較短者。其所生之效果亦較小。由是觀之。外力之大小。須視施力之時之長短而定明矣。

總上以觀。可知外力之大小。須視所施之力之大小及施力之時之長短而定。故所用之力。若大一倍。則外力亦大一倍。施力之時。若大一倍。則外力亦大一倍。今若以 F 表力。而以 t 表時。則可得外力之公式如下。

$$\text{外力} = Ft$$

奈端運動
之定律

學者既明以上之界說。今首將奈端

運動之定律 (Newton's laws of motion) 研

究之。蓋此定律為動力學中之基礎。因其規定物體之運動。受外力後。起何種之結果也。考此定律。共計有三。第一律規定物體不受外力時之情狀。第二律規定測量力之大小之法。第三律規定物體受力後所起之反動力為如何。今將此三定律之大要考之如下。

第一律。凡物體若無外力以擾之。則靜者恆

靜。而動者恆依直線之路。等速進行。永無止境。

第二律。 凡物體受有外力。則其運動量之改變。恆等於外力之大小。且其改變之方向。恆與外力之方向相同。

註。此律中運動量之改變。等於外力之大小一句。係經科學家麥克氏 (Maxwell)。改為如此者。至奈端本來之言。則係運動量之改變。與外力成正比例。而不言等於外力。惟考得吾人若用適當之測量標準。則運動量之改變。實經於外力之大小。故鄙人舉麥克氏所改之言於此。以免多所曲折。而示初學者以簡便也。

第三律。 凡物體受有外力。則恆起一種相等而相反之力。吾人若以主動力 (Action) 名此外力。而以反動力 (Reaction) 名此相反之力。則可換言之曰。凡主動力必生反動力。此二力之大小相等。惟方向則相反。

按此三定律。既為動力學之基礎。且種種天文之推算。亦全恃此動力學定律之發明。惟此三律。頗難以恰當之試驗證之。然天文學家。照此三律

以推算星球之運行。恆能預知 誤。例如預知日蝕當在何時。月蝕當在何時等類。而至時則果起日蝕或果起月蝕。並不稍差。故可知此三律實屬確當無誤也。

以上所舉。不過此三律之大要。茲更將此三律分別討論之如下。

奈端運動第一律之討論

茲先將奈端之第一律討論之。

(1) 按奈端運動之第一律。在地球上頗難完全證明之。夫物體若無外力以擾之。則靜者恆靜。此事固為吾人所熟稔。蓋未有靜置之桌椅。不加外力而能自動者也。惟物體若無外力以擾之。則動者恆依直線之路。等速進行。永無止境一節。在天文中固成為事實。然在地球上。則頗難證之。因物體在地球上運動時。吾人頗難將種種外力（如空氣阻力及物體之摩擦力等）概行除去也。例如有一滑石。在極平之冰面上溜之。則見其直進頗遠。然終至停止者。蓋因滑石進行時。既與

空氣相抵觸而起阻力。且與冰面相抵觸。而生摩擦力。故石之速率漸被減少。而終至停止也。

(2) 按奈端第一律。更與物質之慣性相符合。
(Inertia 參觀第一章第 6 頁。即物質之靜者。有恆靜之性。物質之動者。有恆動之性也。) 故奈端之第一律。亦有名之爲慣性律者 (Law of inertia)。又奈端氏之第一律。亦可爲力之界說。蓋由此律可知凡改變物體動靜之狀態者。均爲力也。

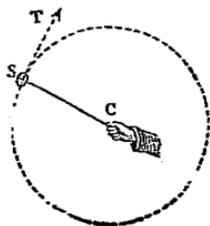
(3) 又按奈端之第一律。凡運動之物體。若無外力以擾之。則動者恆當依直線之路等速進行。故若物體之運動不如此者。則知其必有外力以擾之。例如物體依曲線運動者。吾人必知其有外力以擾之矣。

如第九十八圖。設以一石 S。繫於一 CS 線上。手執線之一端而疾轉之。則石依圓圈曲線而運動。其故因石之慣性。本欲使石依 ST 直線 (即圓圈之切線 Tangent) 進行。惟時被 CS 繩

下 = 力 = 速度 $v = \text{速度}$ m 質量

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

所牽住 故不克依直線進行。而依圓圈曲線進行也。此 US 牽住之力，即外加之力也。若一旦除去此外加之力。（如使繩忽斷或將繩忽放去）則石即依 ST 直線而飛去矣。



第九十八圖

註。向來科學家以為石之所以如此依圓圈曲線運動者。因離心力 (Centrifugal force) 及向心力 (Centripetal force) 二者作用之故。蓋以為此石如上疾轉時。發向外之力。惟被相等時向心力（即牽住之繩）所抵抗。故石不向外亦不向內而成圓曲線以運動也。

奈端運動第二律之討論

以上既將奈端運動之第一律。

加以討論。今將其運動之第二律

討論之。（參觀前第 183 頁奈端第二律）

(1) 按此第二律之最大用處。在吾人藉此律可以測量力之大小。蓋依第二律。運動量之改變。恆等於外力之大小。夫外力之大小。等於 Ft 。（見第 182 頁）至運動量之改變。則可求之如下。

前見運動量恆等於質量乘速率。(見第 180 頁) 故設若一物體。其質量為 m 。其速率為 V 。則其本來之運動量。當為 mV 。今若此物受有外力。致其速率增為 v 。則受力後該物體之運動量。當為 mv 。故受力後之運動量 mv 與未受力前之運動量 mV 相差之數。即為運動量之改變數矣。故 $mv - mV$ 。即為運動量之改變數也。

夫運動量之改變。既為 $mv - mV$ 。而外力之大小。則為 Ft 。故按奈端第二律。 $mv - mV = Ft$ 。故 $F = \frac{mv - mV}{t}$ 或可書之如下。

$$F = m \frac{v - V}{t}$$

詳言之。即設有一 m 質量之物體。其本來之速率為 V 。(若其物體本來係靜止者。則 V 自等於 0 。) 今若以力施於此物體上共 t 時之久。致 t 時後其物體之速率變為 v 。則所施之力之大小。即可以 $m \frac{v - V}{t}$ 之數測量之矣。然用此公式以量力之大小。須知施力之時 t 。夫施力之時若長。則共為若

于時固可測定。若施力之時極短。則頗難測準爲時究屬幾何。故此公式只通用於測量爲時頗長之力。若欲測量爲時極短之力。則此公式不能通用也。

然則若欲測量爲時極短之力。當用何公式乎。可得之如下。前第 167 頁。見 $v = V + at$ 。故得

$$a = \frac{v - V}{t}$$

故可以 a 代以上 $F = m \frac{v - V}{t}$ 公式中之 $\frac{v - V}{t}$ 。

即得

$$\underline{F = ma}$$

用此公式以量力。頗爲簡單。蓋祇須測量物體受力後所生之加速率 a 爲幾何。此數與質量相乘。即可得力之大小。故可免知施力之時。所以此公式用以量爲時極短之力。最爲便利。茲試設一例以明其用。例如設有一物體。其質量爲 10 克。若以外力施之。則知其得加速率爲每秒 50 糶。問所施之力爲幾何。

因 $F = ma$. 此處 $m = 10$ 克, $a = 50$ 韞

故 $F = 10 \times 50 = 500$ 達因 (Dyne 詳下)

註. 凡欲測量者。必須定一測量之標準。 例如欲測物之長短者。則須定尺為標準。(或定其他標準亦可。如英以碼 Yard。法以米 Meter 為標準之類。總之須定一標準耳。) 然後可以知所量之物為若干也。 又如欲測量物之輕重者。 則須定斤為標準。(或定其他之標準亦可。如英以磅 Pound 為標準。法以尅 Kilogram 為標準之類。總之亦須定一標準耳。) 然後可以知所權之物為重若干也。今欲測量力之大小。亦須先定一標準。而後可以從事。

按此種量力之標準。共計有二大類。曰絕對標準 (Absolute unit)。曰重力標準 (Gravitational unit)。絕對標準之定法。係用 $F = ma$ 之公式。即以一定多寡之質量 m 。乘一定多寡之加速率 a 。為力之標準也。 重力標準之定法。則不用 $F = ma$ 之公式。而以一定多寡質量之重。為力之標準。 然前第 5 頁吾人曾自質量不隨地而改變。而重量則隨地以改變。故一定多寡之質量。在地球之赤道及在地球之二極時。其質量之多寡。雖

並不改變。而其重量則不同。(在二極時爲較重。學者可更參觀以後第 200 頁物重之公式一段。)絕對標準之定法。既不用重量。而重力標準則用重量。故絕對標準無論在地球之何處。均可不改變。而重力標準。則有隨地改變之患。故絕對標準於科學中用之爲較合宜也。今將科學家所定此二大類標準之界說。分別述之如下。

(1) 絕對標準。考此種標準。法國與英國異。法以凡力施於一克之質量上 (即 $F = ma$ 公式中之 m)。能使此質量每秒得加速率一纏 (即 $F = ma$ 公式中之 a) 者。則此所施之力。即作爲量力之標準。謂之一達因 (Dyne)。故以上問題中所算得之力爲 500 達因。意即該物體所受之力。共計五百倍於此標準也。至英國則以凡力施於一磅之質量上 (即 $F = ma$ 公式中之 m)。能使此質量每秒得加速率一英尺 (即 $F = ma$ 公式中之 a) 者。則此所施之力。即作爲量力之標準。謂之一磅度 (Poundal)。

(2) 重力標準。重力標準。係以一定多寡質量之重爲標準。例如一克 (Gram) 質量之重。或一磅 (Pound) 質量之重。均可作爲一標準也。

學者既明以上量力之要義。茲設數問題於下。
以資練習。

1. 設有一本係靜止之物體。其質量為 40 克。今若以力施於此物體上。共計 30 秒之久。則此物體得有每秒 50 浬之速率。問所施之力。共為幾何。

解。因 $F = m \frac{v - V}{t}$ 此處 $m = 40$, $v = 50$, $V = 0$
(因該物體本係靜止者), $t = 30$

$$\text{故 } F = 40 \times \frac{50 - 0}{30} = \frac{2000}{30} = 66 \frac{2}{3} \text{ 達因}$$

2. 設有一運動之物體。其質量為 100 克。其速率為每秒 30 浬。今若此物體受有外力。共 10 秒之久。至 10 秒後。此物體之速率。變為每秒 60 浬。問所受之力。共為幾何。 答 300 達因

3. 設有 20 達因之力。加於 20 克質量之物體上。致使此體之物速率。由每秒 5 浬變為每秒 25 浬。問施力之時。應為若干。 答 20 秒

註。此問題係欲求 $F = m \frac{v - V}{t}$ 公式中之 t 。故學者可先由此公式化出 t 之公式。即 $t = \frac{m(v - V)}{F}$ 然後由此化得之式算之。

4. 設以 100 達因之力。施於 10 克質量之物體上。問此物

體所得之加速率。每秒應為若干。

答 10 種

註。 此問題係欲求 $F = ma$ 公式中之 a 。

5. 問以力施於 10 磅質量上。能使此物得有每秒 15 英尺之加速率。問此所施之力為若干。

解。 因 $F = ma$ ，此處 $m = 10$ 磅， $a = 15$ 英尺。

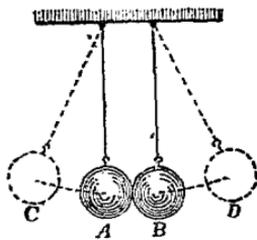
$$\text{故 } F = 10 \times 15 = 150 \text{ 磅度}$$

(2) 又按奈端之第二律。凡運動量改變之方向。恆與外力之方向相同。故如一物體同時受有數外力。則每一外力所起運動量之改變。各有其一定之方向。故此物體運動量之改變。如共有數方向。此數方向之運動量改變。即可照前數速率合併之法（見第 174 頁）合併之。則可求得其結果運動量之改變矣。

奈端運動第三律之討論

以上既討論奈端之第一律及第二律。今將其第三律討論之。即凡主動力必生反動力。此二力之大小相等。惟方向則相反是也。（參觀前第 183 頁）可試之如下。

試驗 64. 如第九十九圖。取 A 及 B 二相同之象牙球 (或鋼球亦可)。以線並懸之。今若將 A 球移至 C 處而放之。則見 A 球擊着 B 球時。A 球即行停止。而 B 球則被擊 D 至處。且 D 之高。等於 C 之高。



第九十九圖

是何故歟。蓋因 A 球進擊 B 球時。A 球即為主動力 (其方向為自左至右)。B 球受擊後。即生大小相等而方向相反之反動力 (即自右至左)。此反動力既與主動力相等而相反。故即相銷而使 A 球停止也。

註。 學者當注意。設以上試驗中 A 球之質量為 m 。B 球之質量為 M 。又設 A 球由 C 至 A 時之速率為 v 。而 B 球由 B 至 D 時之速率為 V 。則 A 球之運動量。當為 mv 。而 B 球之運動量。當為 MV 。以上試驗中 A 球擊着 B 球後。既即被停止。則可知 B 球得有 MV 之運動量時。必生有一 MV 之運動量。且此一 MV 之運動量。必與 mv 之運動量大小相等。故相抵相銷而使 A 球停止也。故主動力及反動力之大小及方向之

關係。可以下式表之。

$$mv = -MV$$

由此式可知若 m 及 M 之質量大小相等。則 v 及 V 之大小亦必相等。此所以上試驗中 D 之高等於 C 之高也。若 m 與 M 之質量不等。則其高低亦必不同矣。(學者若有疑惑。可以大小不同之二球照上試驗法試之。)

茲更設數習題於下。以便學者益明此例之要義。

1. 問鎗彈由鎗中放出時。鎗必向後倒退。何故。惟鎗彈放出後。所經之路甚巨。而鎗之倒退之路則頗小。試言其理。

解。因鎗彈放出時。生有反動力。故使鎗倒退。惟鎗彈之質量甚小。而鎗之質量則甚大。故照 $mv = -MV$ 之式觀之。若 M 大於 m 。則 V 自小於 v 。此所以鎗彈進行之路。較鎗倒退之路為大也

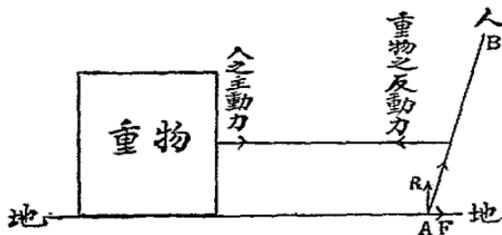
2. 問設將以上鎗之下端緊着於地。而後放之。則吾人只見鎗彈之進行。而不見鎗之倒退何故。

解。鎗之下端。若緊着於地。則 $mv = -MV$ 中鎗彈之質量 m 。為數甚小。而 M 之質量。則為鎗及地球合併之質量。

爲數甚巨。故 V 與 v 較。其速率自幾等於無矣。此所以只見彈之進行。而不覺鎗之倒退也。

3. 問主動力既必生相等而相反之反動力。則設一人以繩拖一重物。重物亦必以相等而方向相反之力拖人。然則人何以能將重物拖走乎。

解。如第一百圖。設 BA 爲人。(係斜向者。因拖車時身體向前也。) 以繩拖重物。則人拖重物而重物亦必以相等之力拖人。然人之所以能拖重物前進者。則因人脚着力



第一百圖

於地時。如圖中之 A 點處。地即起與之相等而方向相反之反動力。故其方向爲 AB 。此 AB 方向之反動力。可照一速率之分解法。(見第 175 頁) 分解爲 AR 及 AF 之二力。夫 AF 力既係向前進者。故能使人及所拖之重物向前進也。故人之能拖重物進行。並非有背於奈端之第三律。實因人脚所起之地之反動力。分解後有 AF 之一力故也。

物體關於吸
力之運動

以上既述奈端關於運動學之三定律。茲將運動之關於引力(Gravitation)者研究之。考引力亦係一種力。起於物體之相引。其最著而爲吾人所最易知者。卽爲地心引力(Gravity)。例如地球上物體。莫不有下墜於地之性。因地球有攝引他物之力故也。所以謂之地心引力者。因地球攝引物質之方向。均係引向地球之中心點。故地球之引力。一若均聚於其中心點故也。地面上各物。均爲地球攝引而不離者。全在此力。稱爲地攝力。又地面上之物因受此力而生重量。故此力亦稱爲重力。今將物體運動之關於此地心引力者。分別擇要研究之如下。蓋此亦爲動力學中之所當考求者也。

甲.墜體
之運動

凡物體被地心引力所攝引。致下墜向地者。謂之墜體(Falling bodies)。按尋常之人。以爲凡物之較重者。其墜亦較速。而較輕者。其墜亦較遲。惟吾人設法研究之。則知其不然。可試之如下。

試驗 65. 取一鷄毛及一銅元。同置於一長玻璃管中。管之一端閉塞。其他端則裝一可以啓閉之活塞。如第一百零一圖所示者。乃先將此管豎執之。而後急速倒執之。則見銅元下墜。較鷄毛爲速。因管中有空氣故也。今若將此管端之活塞。裝於抽空氣之器上。而將管中空氣抽出之。抽出後。速將活塞閉住。照上法試驗。則銅元與鷄毛同時墜下。並無遲速之分。

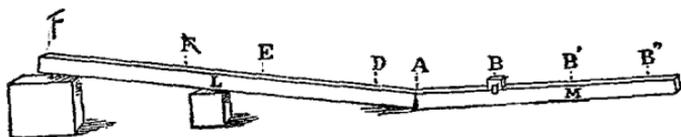
由此試驗。可知若能將空氣之阻力盡行除去。而輕重二物體。均由靜而下墜。則在相同之時間中。其所經之路。必亦相同。考此其所以然之故。實因無論何種物體下墜時。每秒

所得之加速率 (Acceleration 界說見第 165 頁) 恆各相等。而不以物體之輕重大小而異也。可證之如下。

試驗 66. 如第一百零二圖。取一中有小槽之長木板 L。約長 16 英尺。一端以物填高之。使此板成一斜面。此板之下



第一百零一圖



第一百零二圖

端。另接一相同之長木板 M 。中亦有小槽。亦約長 16 英尺。惟橫置之。使成一平面。又此二板之交接處 A 。須相齊不致有高低之患。乃以一球(或重或輕或大或小均可)執置 L 板槽中。放手而任其自行滾下。如此屢次爲之。則可試準在一秒時中。此球在 L 板上共滾若干路。在二秒時中。此球在 L 板上共滾若干路。其餘以此類推。設如此試得球置 D 點處滾至 A 點。共計一秒。球置 E 點處滾至 A 點。共計二秒。(若試之極準。則得 EA 等於四倍 DA 。) 球置 F 點處滾至 A 點。共計三秒。(若試之極準。則得 FA 等於六倍 DA 。) 其餘以此類推。

既知此。乃以一木塊 B 。置 M 平面板上。使 AB 之遠。二倍於 DA 。則可試得若將球置 D 處。任其滾至 B 木塊時。適爲二秒。故球由 A 至 B 爲一秒。由此可知球在 L 板上滾一秒後。所得每秒之速率。爲 2 倍於 DA 也。又若將 B 木塊向右移至 B' 處。使 AB' 四倍於 DA 。則若將球置 E 處。任其滾至 B' 處時。適爲三秒。故球由 A 至 B' 爲一秒。由此可知球在 L 板上滾二秒後。所得每秒之速率。爲 4 倍於 DA 也。又

若將 B 木塊移至 B'' 處。使 AB'' 六倍於 DA，則若將球置 F 處。任其滾至 B'' 處時。適為四秒。故球由 A 至 B'' 為一秒。由此可知球在 L 板上滾三秒後。所得每秒之速率。為 6 倍於 DA 也。總上以觀。可知球在 L 板上多滾一秒。則其所得之速率多增 2 倍 DA 之路。詳言之。即墜體每秒所得之加速率。恆各相等。而不以物體之輕重大小而異也。(因以上所用滾下之球或輕或重或大或小均可。其結果均同。)

註。學者當注意物體在斜面板上滾下。則愈滾愈速。因地心吸力增加其速率也。及達平面板時。則地心吸力增加其速率之作用除去。故球在 M 板上滾時。其速率即為其滾至 L 板下端時所得之速率矣。又學者當注意以上試驗中斜面板之斜角度。可大可小。不必須一定而後始能測知其加速率是否一定也。故若將斜角度增至 90° 使物體由上直墜而下。則其理仍同。蓋角度雖大。而每秒所增之速率。仍等於較前之一秒所增之速率。並不因角度大而致此秒所增之速率。與彼秒鐘所增之速率不相等也。科學家由此試得。物體若由上直墜而下。則每秒之加速率。約為 32 英尺或 980 浬。(按此數因地方不同。常稍有差異。例如在地球之赤道處。與在二極處。稍有不同。惟大數

則約爲每秒 32 英尺也。)

吾人既知墜體所得之加速率。即可推知以下數種緊要公式。

(1) 物重之公式。考物體之重。尋常係以若干斤若干磅等類名稱表之。然此種表重之法。於科學中頗不適宜。蓋同一物體。設在地球之赤道權之。爲重一磅。然在地球之二極處權之。則多於一磅。蓋其受地心引力。有大小不同也。(參觀第 190 頁) 故科學家另定一權物之法。須計及所受地心引力之大小者。其法如下。考物體之有重 (Weight)。實因物體被地心引力攝引所致。夫引力既亦係一種力。則自可以物體之質量乘加速率量之 (因 $F = ma$ 見第 188 頁)。換言之。即物體之重。可以其質量乘加速率量之也。故設以 W 爲物體之重。 m 爲其質量。 g 爲加速率 (即每秒約 980 厘米之加速率。約合 32 英尺。此加速率本當以 a 字表之。惟此處加速率既由於地心吸力 Gravity 所致。故科學中常以 g 字表之。以便

識別)。則得物重之公式如下。

$$W = mg$$

茲試設二題。以明此公式之用。

1 設有物體。其質量為 10 克。該處 g 為 980 厘。問此物之重幾何。

解。 $W = mg = 10 \times 980 = 9800$ 達因

2 設有一物。其質量為 10 磅。該處 g 為 32 英尺。問此物之重幾何。

解 $W = mg = 10 \times 32 = 320$ 磅度

註。學者由此式。益可知重量與質量之別。蓋質量 m 。係物體多寡之量。而重量 W 。則係質量乘地心吸力所起之加速率 g 也。然在地球上。 g 常隨地而稍有不同。故重量常隨地而更改。而質量則不隨地以更改。(參觀前第 5 頁)

(2) 墜體速率與時間相關之公式。墜體每秒鐘所得之加速率。既為等加速率。(因每秒鐘均約 32 英尺。)則墜體速率與時間相關之公式。自可即用 $v = V + at$ 之公式。(見第 167 頁) 惟此處之等加速率。既由於地心吸力 (Gravity) 所致。故科學中常以 g 字

代 a 。以便識別。故得公式如下。(此式中 v, V, t 三字所表者。與前第 167 頁中之公式同。)

$$v = V + gt$$

茲試設一題以明此式之用。設有一物體。由靜而下墜。問過五秒後。其速率爲每秒若干英尺。

解。因 $v = V + gt$ ，此處物體由靜而下墜。故 $V = 0$ 又 $t = 5$

$$\text{故 } v = 0 + 32 \times 5 = 160 \text{ 英尺}$$

(3) 墜體所經之路與時間相關之公式。此式即可用 $S = Vt + \frac{1}{2}at^2$ 公式。(見第 169 頁) 因墜體之加速率。亦爲等加速率也。以 g 字代 a 。則得公式如下。

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

茲試設一題以明此式之用。設有一物體。由靜而下墜。問在五秒時中。所經之路共爲若干。

解。因 $S = Vt + \frac{1}{2}gt^2$ ，此處 $V = 0, t = 5$

$$\text{故 } S = (0 \times t) + \frac{1}{2}(32 \times 5^2) = 400 \text{ 英尺}$$

(4) 墜體所經之路與速率相關之公式。此式即可用 $v^2 = V^2 + 2aS$ 之公式。(見第 170 頁) 以 g 字代 a 。則得公式如下。

$$v^2 = V^2 + 2gS$$

茲試設一題以明此式之用。例如設有一物體。由靜而下墜。問此物體經過 100 英尺後。其速率當為每秒幾何。

解。因 $v^2 = V^2 + 2gS$, 此處 $V = 0, S = 100$

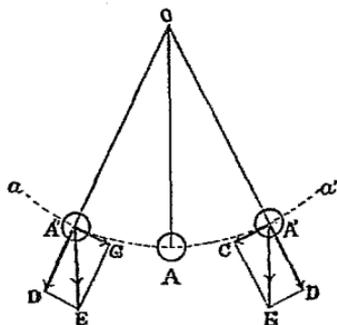
$$\text{故 } v^2 = 0^2 + (2 \times 32 \times 100) = 6400$$

$$\text{故 } v = \sqrt{6400} = 80 \text{ 英尺}$$

乙擺之運動 以上既述墜體之運動。(係一種關於吸力之運動) 茲將擺 (Pendulum) 之運動。擇其大要研究之。按擺之運動。實亦由於地心引力之故。可解之如下。

如第一百零三圖。設 A 為一重球。以 OA 線懸之。今若將此球移至一邊 (如至 A' 處之類) 而放之。則此球即在 aa' 圈弧

路上。起左右之擺動。是何故歟。蓋球被地心引力所吸引。故有重量。設此重量以圖中之 $A'E$ 線表之。則此 $A'E$ 可依一速率之分解法。(見第 175 頁) 分解而為 $A'D$ 及 $A'C$ 二力, $A'D$ 係與 OA' 線同方向者, 故此力祇能將線拖緊。而不能使球擺動。



第一百零三圖

惟 $A'C$ 力係與 $A'D$ 成直角。按幾何理。此係 aa' 圈弧之切線。故使球向左運動。待其至左邊時。復得 $A''C$ 向右之力。故球復向右運動。由是觀之。可知擺之運動。由於地心引力之故明矣。(按球擺動時。有空氣之阻力等。故愈擺而所行之路愈短。終至停止。)

註。 學者當注意以下數種緊要名稱。以便以後引用。

(1) 球由某點向某方向起擺。至以後復照此方向經過此點時。謂之成一完全振動(Complete vibration)。其共需之時。謂之完全振動週期(Period of complete vibration)。例如球由 A 點向右起擺。至 A' 點而回。經過 A 點至 A'' 點。由 A'' 點復至

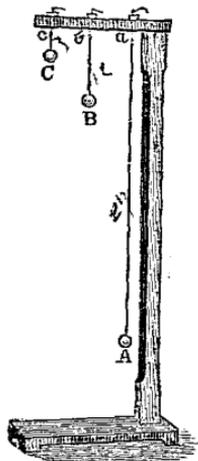
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$$

A 點。則成完全振動，因球復至 A 點時。其方向復為右也。其共需之時。謂之完全振動週期。

(2) 球在一振動週期中所經之路之四分之一。謂之振幅 (Amplitude)。例如球由 A 點至 A' 點之路。係一振幅也。

學者既明以上擺之大要。今將此種擺之運動之定律考之。如下。

試驗 67. 如第一百零四圖。取 A, B, C 三小鐵球。以線懸於一架上。如 a, b, c 三點處。使 a 點至 A 球之中心點長 27 寸。b 點至 B 球之中心點長 12 寸。c 點至 C 球之中心點長 3 寸。故此三擺之長之比例。為 9 : 4 : 1 也。(因 27 : 12 : 3 猶 9 : 4 : 1。) 乃先將 A 球稍移至一邊而放之。使之擺動。而計其完全振動十次共需若干秒時。則以十除共需之秒數。即得 A 球每一完全振動所需之時矣。然後使 B 球擺動。而計其完全振動十次共需若干秒。以十除之。則得 B 球每一完全振動



第一百零四圖

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad t = \text{週期}$$

所需之時矣。然後使 C 球亦擺動。而計其完全振動十次共需之時。亦以十除之。則得 C 球每一完全振動所需之時矣。今若將此所得之 A, B, C 各球每一完全振動所需之時比較之。則知其爲 3 : 2 : 1 之比。適爲其擺長 9 : 4 : 1 之平方根 (Square root。蓋 $\sqrt{9} = 3$, $\sqrt{4} = 2$, $\sqrt{1} = 1$)。

由此可知。擺之振動週期。與擺長之平方根成正比例。

試驗 68. 將以上第一百零四圖中之 A 球。移至右邊約五寸。而後放之。使擺動。測定其每一完全振動所需之時爲若干秒鐘。然後使 A 球停止。而後移至右邊約十寸。而復放之使擺動。測定其每一完全振動所需之時。是否與前相同。當可知其與前相同。

由此可知。擺之振動週期。不因其振幅之大小而異。

試驗 69. 按第一百零四圖中之 A。本係一小鐵球。其每一完全振動所需之時。業於上試驗中測定。今若易以一大小相同之鉛球。則其質量自與小鐵球異。惟懸線之長短。則仍須

與前同。不可稍異。乃使此鉛球擺動。而測其每一完全振動所需之時爲若干。今若將此所得之時。與前小鐵球每一完全振動所需之時比較之。則知二者相同。並不差異。

由此可知。擺之振動週期。不因其質量之多寡而異。

試驗 70. 按第一百零四圖中之小鐵球 A。其每一完全振動所需之時。業已於前測知。今若將一大磁石 (Magnet)。置於 A 球之下。(不可與 A 球接觸。)而使 A 球擺動。再測定其現在每一完全振動所需之時爲若干。當知置磁石後。所需之時。較未置磁石前所需之時爲短。學者當注意磁石有吸鐵之性。故置磁石後。A 球不僅受地心引力。且受有磁石之吸力。故置磁石無異將地心引力增加也。

由此可知。擺之振動週期。因地心引力之大小而異。

丙奈端吸
力之定律

地球有攝引物體之力。學者業已確知。今試研究物體所受地心引力之大小。與物體質量之多寡。及物體離地之高低。有

$$F \propto \frac{m m'}{r^2} \quad F = K \frac{m m'}{r^2} \quad K = 6.5 \times 10^{-8}$$

①

何一定之關係乎。按此種關係。實包含於奈端引力之定律 (Newton's law of universal gravitation)。其律之大要如下。

凡一物體攝引他物體。其引力之大小。恆與此二物體質量相乘之積成正比例。而與此二物體距離之平方成反比例。

茲試將此律之前後二段。分別釋論之如下。

(1) 第一段為引力之大小。恆與此二物體質量相乘之積成正比例。故設地球之質量為 M 。而地球上甲乙二物體。甲之質量為 m 。乙之質量為 m' 。則按奈端定律第一段。地球引甲物體之力。當為 Mm 。而地球引乙物體之力。當為 Mm' 。故甲物體所受之引力。與乙物體所受之引力相比。當為 $Mm : Mm'$ 。即 $m : m'$ 也。詳言之。即物體所受地心引力之大小。係視其質量之多寡而異。故質量多一倍。則所受之地心引力亦當多一倍也。

(2) 第二段為引力之大小。恆與二物體距離之平方成反比例。故設在地球上甲乙二物體。甲物體與地心之距離為 d 。

乙物體與地心之距離爲 d' 。則按律。甲物體所受之地心引力：
乙物體所受之地心引力： $d'^2 : d^2$ 。故設有一物體在海平面時權
之。爲重 1000 克。若在山上離海平面高四英里處權之。則當
爲重幾何。可卽照以上反比例式求之如下。

按地球之半徑。約爲 4000 英里。故物在海平面時。與地心
之距離爲 4000 英里。若在山上離海平面 4 英里時。則與地心
之距離當爲 $4000 + 4$ 。卽 4004 英里也。故物體在山上離海平
面四英里時之重： $1000 :: 4000^2 : 4004^2$ 。故物體在山上離海
平面四英里時之重 = $\frac{1000 \times 4000^2}{4004^2} = 998$ 克。科學家以實驗
證之。而知其果然如此。

由上觀之。可知奈端氏吸力之定律爲確切。考
此定律。不僅在地球上爲確切。卽星球之引力。
亦莫不依此定律。天文學家用此定律。以推算星
球相引之作用。其所得之結果。與所見之事實。
均相符也。

以上所述動力學之大要。足爲初學之用。此外
不再多贅。茲特設數種關於動力學之習題於下。
以資溫習。

習題

1. 何謂動力學。此學究與運動學何別。
2. 試舉運動量及外力之界說。又運動量及外力之大小。何以測之。

$$m \times v = F \times t$$

3. 設有運動量相等之甲乙二球。甲球之速率為每秒 20 呎。乙球之速率為每秒 500 呎。如甲球之質量為 100 克。則乙球之質量為若干克。

$$m v = m' v'$$

$$100 \times 20 = m' \times 500$$

答 4 克

4. 試舉奈端運動之三定律。又此三定律科學家公認其為確切。究竟何所據而然。

5. 奈端運動之第一律。與物體之慣性相符。試詳釋之。
6. 何謂達因。試詳釋之。設有一力。加於 100 克質量之靜止物體上。共 4 秒之久。則此物體得有每秒 20 呎之速率。問所加之力。為若干達因。

$$\frac{100 \times (20 - 0)}{4} = 500$$

答 500 達因

註。參觀 $F = m \frac{v - V}{t}$ 公式。見前第 187 頁。

7. 設以 100 達因之力，施於一 50 克質量之物體上。問此物體所得之加速率。為每秒若干呎。

$$100 = 50 \times a$$

答 2 呎

註。參觀 $F = ma$ 公式。見前第 188 頁。

8. 設重二磅之鉛彈。由重 10 磅之鎗中放出。若倒鎗退之

速率 爲每秒 14 尺。問鉛彈起首時之速率。每秒當爲幾尺。

答 70 尺

註。 參觀前第 194 頁 $mv = -MV$ 公式。

9. 由地心引力所起之加速率 g 。爲每秒 32 英尺。如一物體所受地心引力爲 320 達因。問此物體之質量當爲若干克。

答 10 克

註。 參觀 $W = mg$ 之公式。見前第 201 頁。

10. 試由 $W = mg$ 公式。解明重量與質量之別。

11. 設有一物體。由靜處下墜。過 5 秒後。得有每秒 160 英尺之速率。問此處由地心引力所起之加速率。當爲每秒若干英尺。

$$160 = 0 + 32 \times 5 = 32 \times 5$$

答 32 英尺

註。 參觀 $v = V + gt$ 之公式。見前第 202 頁。

12. 設一人手執一石。立高橋上放手而使石下墜。測知石達水面時。共爲 3 秒。問此橋高於水面若干英尺。

$$0 + \frac{1}{2} 32 \times 9 = 144$$

答 144 英尺

註。 參觀 $S = Vt + \frac{1}{2} gt^2$ 公式。見前第 202 頁。

13. 設有一擺。長 16 呎。每一完全振動所需之時爲 2 秒。若欲使此擺之一完全振動。所需之時。適爲 1 秒。則擺之長當

爲若干種。

答 4 種

解。 因擺之振動週期。與擺長之平方根成正比例（見前第 206 頁）。故 $2 : 1 :: \sqrt{16} : \sqrt{x}$, 故 $x = 4$ 種
 $4 : 1 = 16 : x = 4x = 16 \quad x = 4$

14. 有一物體。在離海平面 3 英里山上權之。重 500 克。

問如在海平面時權之。當重若干。

答 500.75 克

註。 參觀前第 209 頁。

15. 科學家考得地球非正圓球形。二極較扁。問物體當在赤道時爲較重。抑在二極處爲較重。試言其所以然之故。

III. 靜力學

(Statics)

學者既將關於物體運動之力。於以上動力學中研究之。茲將關於物體靜止之力考之。此種學問。謂之靜力學。（參觀前第 163 頁）。

凡一物體同時受有數力。如此數力適能相抵而相銷。則此物體不因受此數力而生運動。此種作用。科學家謂之平衡 (Equilibrium)。故靜力學亦可謂之研究數力加於一物體上。如何而後可以平

衡之學也。(學者當注意流體物質。富於流動之性。故受力後之作用。與固體物質異。故此處所稱物體二字。係指固體物質。且視其為並無流動之性者而言。以別於流體物質。至流體物質受力後之作用。則俟下章流體力學中論之。) 茲試擇其要者。分別述之如下。

二力之
平衡

凡二力如欲平衡。則須在一直線上。

且其大小須相等。而方向須相反。如第

一百零五圖。設 AB

及 A'B' 為在一直線

上大小相等而方向



第一百零五圖

相反之二力。同時加於一球上。則此二力相抵而相銷。球不因受此二力而生運動。故其結果為平衡。

註。 此其所以然之故。亦可以奈端運動之第二律證之。

蓋由第二律。吾人見力等於質量乘加速率 ($F = ma$ 見第 188 頁)。故設以上球之質量為 m 。AB 之力為 F 。由此 F 所生之加速率為 a 。則 $F = ma$ 。又設 A'B' 之力為 F' 。由此 F' 所生之加速率為 a' 。則 $F' = ma'$ 。然此二力係相等而方向相反。

故 $F = -F'$ 。故 $ma = -ma'$ 。即 $a = -a'$ 。詳言之。即以上 AB 力所生之加速率。等於 A'B' 力所生之加速率。而方向則相反。故此二加速率相抵而相銷。其結果為加速率等於 0。是以球並不因受此二力而生運動也。

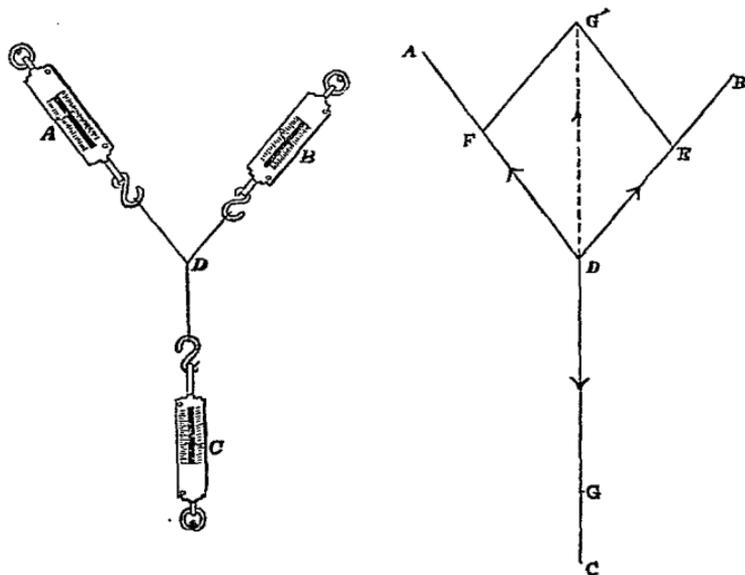
三力之
平衡

凡三力同時加於一物體上。如何則可以平衡乎。欲解決此問題。吾人可分為二類研究之。即 (a) 此三力係互成角度者 (b) 此三力係不成角度者。茲試分別試驗之而推其定律如下。

(a) 三力係互成角度者

試驗 70. 取堅固之線三段。將三線之一端。結束一處。如第一百零六圖左邊之 D 處。而將線之他端。繫於 A, B, C 三簧秤 (Spring balance) 之鈎上。乃用三釘套於三秤上端之圈上。而使之緊張於一黑板上 (或桌上)。記明此三秤上之指針所在處各為若干 (設 A 為 100 克。B 為 90 克。C 為 150 克)。更以粉筆在黑板上記明 D 點及三線繫於鈎處之各點。然後將三秤及線取去之。而將黑板上之 D 點。各與其三點繪三直線連接之。此三直線即表明三力之方向。如第一百零六圖右邊之 DA, DB

及 DC 是也。



第 一 百 零 六 圖

學者可定若干耗表若干克。(參觀第 173 頁上之法。)而將以上所得之 100 克, 90 克, 150 克在此三直線上表之。設圖中 DF, DEDG 之長。表此三數。乃照成角度之二速率之合併法。(見第 173 頁。)在 DF 及 DE 上作 DEG'F 之平行方形。則 DG' 對角線。即為 DF 及 DE 二力之結果力 (Resultant of forces)。吾人若量此 DG' 之長。則可知其適與 DG 等長。且在同一直線上。惟方向則相反(學者注意科學家名此為平行方形定律 Law of pa-

rallelogram)。又吾人若在 DE 及 DG 上作一平行方形。則可知其對角線等於 DF 之長。又若在 DF 及 DG 上作一平行方形。則可知其對角線等於 DE 之長。

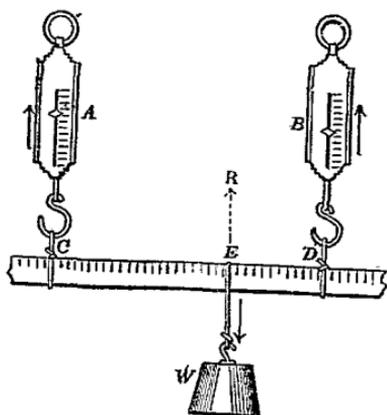
由上可知。凡互成角度之三力。如欲平衡。則無論何一力。須與其他二力之結果力在一直線上。且大小須與之相等而方向須與之相反。

註。學者若細觀第一百零六圖。則可知此三力實可以 D EG' 三角形之三邊表之。蓋 DE 表 B 秤之力。其方向為 DE。又 EG' 可表 A 秤之力。因 $EG' = DF$ 也。其方向為 EG'。又 G'D 可表 C 秤之力。因 $G'D = DG$ 也。其方向為 G'D。故吾人可將以上之定律換言之曰。若成角度之三力平衡。則此三力須可依次以一三角形之三邊表之。

(b) 三方係不成角度者

試驗 71。如第一百零七圖。取 A, B 二簧秤。如圖平行懸掛之。乃以一刻有度數之條。以 C, D 二線懸於此二秤之鉤上。而條上則懸一重物 W。如此則諸物懸掛甚穩。故 A, B, W 三力必平衡。今若欲研究此種平衡一定之律。可將 A, B 二秤上指

針所在處之數記明之。而更將 CE 及 DE 之長記明之。然後將 W 移向左边或右边。使改變其原地位。而更記明現在 A, B 秤上爲何數。CE 及 DE 之長爲何數。則可得緊要之結果如下。



第一百零七圖

AB 二數之和。恆等於

W 之重。且 $A : B :: ED : EC$ 。可知 A, B 向上之二力、其結果力 (亦必係向上者。如圖中之 R)。必在 E 點處 (至此 E 點之地位。恆使 $A : B :: ED : EC$)。故能被在此點處大小與之相等而方向與之相反之 W 力所抵住而達平衡也。

由上可知。凡二平行力 (如圖中之 A, B)。施於一物體上。則其結果力恆等於此二力之和。且此結果力之所在點 (即圖中之 E)。恆使二力之比。等於二力與此點距離之反比。至此結果力之方向。自與此二力之方向同。若在此點處。施以一與此結果力

大小相等而方向相反之第三力 (如圖中之 w)。則此物體可以平衡。

數力之
平衡

凡三力以上之數力。同時加於一物體上。如何則可以平衡乎。欲解決此問題。吾人亦可分爲二類研究之。即 (a) 此數力係互成角度者。 (b) 此數力係不成角度者。

(a) 此數力係互成角度者。 前第 214 頁試驗 70。見凡三力如平衡。則無論某一力與其他二力之結果力。必在一直線上。大小相等而方向相反。今吾人若用四簧秤照試驗 70 法緊張於黑板上。而記明此四力之方向及大小。則若將接近之三力用屢次平行方形法 (參觀前第 174 頁第九十六圖) 而求其結果力。即可知此結果力亦適等於其他之一力。惟方向則相反。又吾人若用更多之簧秤。照法試之。則亦知無論某力恆等於其他各力之結果力。且恆在一直線上。惟方向則相反。

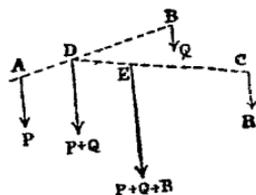
由上可知。凡互成角度之數力。如欲平衡。則無論某一力。須與其他各力之結果力在一直線上。其大小須相等。而方向須相反。

註。 前第 216 頁小註中。見凡互成角度之三力。如平

衡。則可依次以一三角形之三邊表之。考多於三力以上之數力。
如平衡。則可依次以一多邊形 (Polygon) 之各邊表之。其理與
 三角形能表三力之理同。

(b) **此數力係不成角度者。** 如第一百零八圖。設有

P, Q, R 三平行力。施於一物體上。則按
 前試驗 71 所得之定律。P 及 Q 二力
 之結果力。當為 $P + Q$ 。而其所在點當
 為 D。使 $P : Q :: BD : AD$ 。又 $P + Q$
 及 R 之結果力。當為 $P + Q + R$ 。而
 其所在點當為 E。使 $P + Q : R :: CE : DE$ 。



第一百零八圖

由是觀之。可知 P, Q, R 三力之總結果力。即為 P,
Q, R 三力之和。故如有較多於 P, Q, R 之數平行力。
其總結果力。亦必為此數力之和。而此總結果力
之所在點。可用屢次使二力之比等於與此點距離
反比之法求得之。故若在此總結果力之所在點。
施以一與之大小相等而方向相反之力。則此物體
可以平衡。

重
心

按此理極關緊要。可藉以釋物體重心 (Center of gravity) 之理。蓋凡物全體之重。一若可以聚於一點者。此點即謂之重心。故若在此重心點上。施以一與物重方向相反之力。則此物可以不墜。可試之如下。

試驗 72 取一書。以手之一

指頂之。則如頂在適當之點時。書即可以不墜。此一點即書之重心所在之點也。



此其所以然之故。即可以上 第一百零九圖 解釋之。蓋書之各點。各被向下之地心吸力所吸引。故全書受有多數之向下平行力也。此多數平行力。必有一總結果力。此總結果力之所在點。即書之重心也。故以上試驗中。手指若適頂在此重心點所在之處。則書受有一與此總結果力大小相同而方向相反之力。故達平衡而書可以不墜也。

物體之三
種平衡

由上觀之。可知凡物體必有其一定之重心點。既明乎此。則可研究物體之三種平衡。蓋凡物體。有置之頗為穩固。雖稍推側之而仍能復其原地位者。是之謂平定安衡 (Stable equilibrium)。例如第一百圖中之圓錐體 A。雖稍推側之。仍能

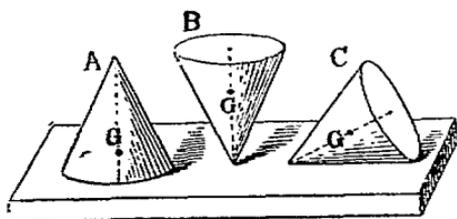
復行直立是也。

亦有一種物體。

置之不甚穩固。

稍推側之。即由

其原地位倒去者。



第一百圖

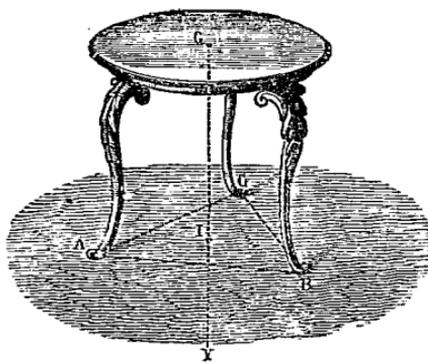
是之謂不安定平衡 (Unstable equilibrium)。例如圖中圓錐體 B 是也。更有一種物體。稍推之使改變其地位。而即能安於其新地位。故既不復其原地位。亦不倒去者。是之謂中立平衡 (Neutral equilibrium)。例如圖中之圓錐體 C 是也。至此三種平衡所以然之故。可以重心之理分別釋之如下。

- (1) 考安定平衡之物體。稍推側之。所以能復其原地位者。

實因推側後。其物體之重心點 G 。強被舉高之故。(學者可觀一百十圖中之 A 。若稍推側後。其重心點 G 。自必移至較高處也。) 夫重心既由地心引力所起。故恆欲向下。此所以一放手。則此重心復向下進行。而使物體復其原地位也。

學者更當注意一要點。即安定平衡之物體。若稍推側之。固能復其原地位。然若推之過限。則亦必倒去而不復能回。例如第一百十一圖中之桌。亦係一安定平衡也。稍推之。能復其原地位。若推之過限。則必倒。然則此種界限究何在乎。可以解之如下。

ABC 爲桌之三足所成之底(Base)。 G 爲桌之重心點。當此桌如圖安置時。重心之垂直線 G Y 。在 ABC 底之內。



第一百十一圖

今將此桌稍推側之。此垂直線仍在 ABC 底之內。則桌不倒。而仍能復其原地位。然若推之過限。則垂直線出於 ABC 底之外。桌即倒去而不復能回至原地位矣。由是觀之。可知安定平衡物

體推側之度。須以垂直線仍在底內爲限。則可不倒而復其原地位。若過此限。則垂直線出乎底外。而物必倒矣。

(2) 至不安定平衡之物體。稍推側之。所以即由原地位倒去者。實因稍推倒後。物體之重心點 G 。即被移至較低處之故。故此重心下墜之力。即使其物體由原地位倒去也。又凡不安定平衡之物體。其底與其全體比較。必極其小。故稍一推側。則重心之垂直線。即出乎其底之外。故即倒去也。

(3) 至中立平衡之物體。所以推之而能安於其新地位者。則因其物體受推後。其重心 G 。既不舉高。亦不低下。仍與未推之前相等。故既不復其原地位。亦不倒去也。又此種物體。無論若何置法。其重心之垂直線。恆在其所成之底之內。故即能安於其新地位也。

習題

1. 靜力學研究何事。試言其大要。
2. 試舉二力平衡之定律。更試將此定律與三力平衡之定律及數力平衡之定律比較其異同之處。
3. 設前第一百零七圖中。A 爲 100 克。B 爲 60 克。CD 之長爲 20 厘。問其總結果力之所在點 E。當離 D 點若干厘。

解。CD = 20 糎，故設 ED = x ，則 CE = $20 - x$

故由 A : B :: ED : EC 之公式

即得 $100 : 60 :: 20 - x : x$

故 $x = 7.5$ 糎 即 E 點當離 D 點 7.5 糎也。

4. 設前第一百零七圖中，W 重 150 克。EC 長 15 糎。ED 長 5 糎。問 A 力當為若干克。又 B 力當為若干克。

答 A = 37.5 克, B = 112.5 克

5. 何謂重心。試言物體所以有重心之故。

6. 意大利有一斜立之高塔。問此塔何以能不倒。試言其理。

7. 雞蛋極難使之直立。一觸即倒。然若橫置之。則無論如何均可安置。試詳言其所以然之故。

8. 吾人上山時。常將身體向前傾側。何故。又年老者。若持杖行走。則較為穩固。何故。

IV 工作及能力之研究

(Work and energy)

以上既述運動學、動力學、及靜力學。今將工作及能力分別研究之。(參觀前第 163 頁)

工 作

凡以力施於物體上。如物體因之而移動者。
則科學家謂此力在物體上顯工作 (Work)。 例
 如重物下墜。則可打樁入地。此地心引力 (因物體
 之重。係由地心吸力所起) 之顯工作於樁上也。又如汽
 機中之水汽。因膨脹而使活塞往返移動。此膨脹
 力之顯工作於活塞上也。此外以此類推。

註。 學者須知以力加於物體上。必須使其物體移動者。
則此力始顯工作。 若力加於物體而不能使之移動者。則其力雖
 大。亦不顯工作。例如房屋之柱。雖受有屋頂等之大壓力。然
 柱既不因之而移動。則壓力雖大。亦並無工作之發生也。

學者既明工作之界說。今試研究工作之大小。
 須視何者而定乎。故有何法可以測量工作之大小
 乎。經科學家研究之後。則知工作之大小。須視
 以下二者而定。

$$W = F \delta$$

a. 視所施之力之大小。 例如有二重物。一爲重 10 磅。一
 爲重 20 磅。在同高處墜下打樁。則重 20 磅者。將樁打下之路。
 自二倍於重 10 磅者。故 20 磅重物所顯之工作。自二倍於 10 磅

之重物也。由此觀之。工作之大小，須視力之大小明矣。

b 視移動之路之多寡 由上可知一力所顯打樁之工作，若二倍於他力。則一力使樁下打之路。亦二倍於他力。可知工作之大小。須視移動之路之多寡明矣。

總上以觀。可知工作之大小。須視所施之力之大小。及物體受力後。依施力之方向所移動之路之多寡明矣。故所施之力大一倍。則工作亦大一倍。移動之路多一倍。則工作亦必多一倍。今若以 W 表工作。 F 表所施之力。 S 表移動之路。則得工作之公式如下。

$$W = FS$$

詳言之。即工作之大小。可以所施之力及移動之路相乘之積量之也。學者既明乎此。更當注意以下二要點。即 (A) 工作之標準 (B) 工作與時有無關係。

(A) 工作之標準 (Units of Work)。按凡欲測量者。必須定一測量之標準。而後可以從事。例如欲測量物之長短者。須定尺為標準。(或其他之標準亦可。如碼或米之類。惟總須定一標準

耳。)然後可以知該物爲長若干尺也，又如欲測量物之輕重者。須定斤爲標準。或其他之標準亦可，如磅或鈞之類。惟亦總須定一標準耳。)然後可以知該物爲重若干斤也。今欲量工作之大小。亦非妥定標準不可。按此標準。可用 $W = FS$ 公式定之。即以若干一定之力 (F)。乘若干一定之路 (S)。爲力之標準也。然前第 190 頁見力 (F) 共有四種標準。即達因及磅度 (此二者係絕對標準)。克及磅 (此二者係重力標準)。故工作之標準。亦共可有四種。即 (1) 可以一達因之力。加於物體上。使物體移動一厘米者。作爲量工作之標準。謂之愛格 (Erg)。(2) 或以一磅度之力。加於物體上。使物體移動一英尺者。作爲量工作之標準。謂之呎磅度 (Foot poundal)。(3) 或以一克質量之重之力。加於物體上。使物體移動一厘米者。作爲工作之標準。謂之克厘米 (Gram centimeter)。(4) 或以一磅質量之重之力。加於物體上。使該物體移動一英尺者。作爲量工作之標準。謂之呎磅 (Foot pound)。

按達因及磅度二標準之力 (F)。均係絕對標準。不隨地以改變。而克及磅二標準之力。則係重力標準。常隨地以改變。(參觀第 190 頁) 故愛格及呎磅度二標準。亦不隨地以改變。而克厘米及呎磅二標準。則亦隨地以改變。故愛格及呎磅度二標準。較

地心吸力 $32 \text{ 呎} = 980 \text{ 呎}$

爲合於科學之理。

又 10,000,000 愛格。科學家另給以專名。謂之一佳爾(Joule)；

又 421,390 愛格。約合一呎磅度。

以上既述量工作之四種標準。茲試設數問題以示其用。

1. 設有一銀圓^{重量}重 267.3 克。今若欲將其舉高 100 呎。問應用之工作爲若干愛格。

解。因 $W = FS$ ，此處 $S = 100$ 呎。然 F 究爲若干達因。須先求得之。而後可以知工作爲若干愛格也。此 F 可求之如下。夫銀圓之重。由於地心引力而起。故若欲將銀圓舉高。所需之力。即等於地心引銀圓之力。此地心引力。究爲若干達因。可用 $F = ma$ 之公式算出之（見第 188 頁）。此處 $m = 267.3$ 克。 a 即地心引力所起之加速率。故等於 980 呎（見第 199 頁上之註）。故 $F = 267.3 \times 980 = 261954$ 達因。

故 $W = FS = 261954 \times 100 = 26195400$ 愛格。（按 10,000,000 愛格爲一佳爾。故此 26195400 愛格。共合 2,61954 佳爾。）

2. 設有 50 磅度之力。加於物體上。使之移動 10 英尺。問其工作爲幾何。

解. 因 $W = FS$, 此處 $F = 50$ 磅度 $S = 10$ 英尺。

$$\text{故 } W = 50 \times 10 = 500 \text{ 呎磅度。}$$

3. 設有一石。重 75 克。若舉之至高 25 呎之屋頂上。問工作共爲幾何。

解. 因 $W = FS$, 此處 $F = 75$ 克, $S = 25$ 呎。

$$\text{故 } W = 75 \times 25 = 1875 \text{ 克呎。}$$

4. 設有一馬。以 150 磅之力。拖一重物。上 100 英尺高之山。問其所顯之工作爲若干。

解. 因 $W = FS$, 此處 $F = 150$ 磅 $S = 100$ 英尺。

$$\text{故 } W = 150 \times 100 = 15000 \text{ 呎磅。}$$

(B) 工作與時有無關係。又學者更當注意。工作之大小。祇因所施力之大小。及移動路之多寡而異。然並不因所需時 (Time) 之長短而異也。例如欲以力打樁。使入地一尺。若用大力打之。則一舉而即可使入地一尺。並用小力打之。則多次之後。亦可使之入地一尺。此二者所需之時。雖有短長之別。然其所成之工作則一也。又如設一人身重 150 磅者。若欲上至高 100 呎之山頂。則其工作恆須 15000 呎磅。固不論此人在數分時內卽至山頂。或直至數小時後而始至山頂也。

學者須知工作之大小。與時之長短無關係。則爲一事。然若吾人欲計算在一定之時間內。所成之工作爲若干。則爲另一事也。例如以上所言一人上至山頂。共需工作 15000 呎磅。設此人在三分時內卽至山頂。則每分時內之工作爲 $\frac{15000}{3} = 5000$ 呎磅也。設此人在二小時半內 (每小時爲 60 分。故二小時半爲 150 分) 上至山頂。則每分時內之工作爲 $\frac{15000}{150} = 100$ 呎磅也。此種以共需之時。除此時內共成之工作。所得之數。謂之工率 (Power 又名 Activity)。按吾人若欲測量工率之大小。亦須特定一標準。(其理與欲測物之長短須定標標。或欲測物之輕重須定標準等同。)考此種標準。通用者有二。卽英國之馬力。法國之瓦德也。英國以在 1 秒內成 550 呎磅工作者。爲工率之標準。謂之一馬力 (Horse power)。簡書之。則爲 H.P. 所以謂之一馬力者。因當初首定此標準之科學家瓦德氏 (James Watt 卽汽機之發明家)。以爲每一酌中能力之馬。每秒能工作 550 呎磅。故後人從之也。法國則以在一秒內成一佳爾 (卽 10,000,000 愛格見前第 228 頁) 之工作者。爲工作之標準。謂之一瓦德 (Watt)。此卽科學家瓦德氏之名。所以取此者。以表追念大科學家之意也。又 1000 瓦德。謂之千瓦德 (Kilowatt)。

簡書之則爲 K. W.，而 746 瓦德。等於 1 馬力。故英法二國之工率標準。可照此以彼此合計也。茲試設數問題。以明馬力及瓦德二標準之用。

(1) 有一打水機器。每秒能將 5500 磅重之水。打至高 10 英尺之處。問此機有若干馬力。

解。因 $W = FS$ ，此處 $F = 5500$ 磅， $S = 10$ 英尺。

故 $W = 5500 \times 10 = 55000$ 呎磅。此即在每秒內所成之工作也。然每秒 550 呎磅工作爲一馬力。故 55000 呎磅當爲 $\frac{55000}{550} = 100$ 馬力也。

(2) 問 100 馬力。合若干瓦德。

解。1 馬力 = 746 瓦德。故 100 馬力等於 74600 瓦德。

(3) 設在 1 分時內。所成之工作爲 180 佳爾。問其每秒之工率爲若干瓦德。

解。1 分時內工作爲 180 佳爾。故一秒內之工作當爲 $\frac{180}{60} = 3$ 佳爾。然每秒一佳爾之工作爲一瓦德。故每秒 3 佳爾之工作。共合爲 3 瓦德也。

能
力

以上既述工作之要義。茲將能力研究之。
前第 2 頁吾人見凡能顯工作者。均謂之能

力 (Energy)。故如地心引力、人力、馬力、蒸汽力等。莫不可謂之能力。因用此種能力。則可爲種種之工作也。又前第⁸頁吾人曾言能力。不能生滅。不能增減。不過可由一種能力變而爲他種能力而已。

按能力共可分爲二大類。曰位置之能力 (Potential energy)。曰運動之能力 (Kinetic energy)。茲試分別研究之。

(1) 凡物體因位置之故所起之能力。謂之位置之能力。例如鐘內之法條。緊上之後。其地位自與未上之前不同。緊上後則得有能力。故能使鐘擺搖動。此能力爲其未上之前所無也。又如一重物。若在高處下墜。則其力自較在低處下墜者爲大。可知物體在高處時。所具之能力。較在低處者爲大。此所增之能力。亦因位置而得來者也。

今試研究此種高物體所得位置能力之大小。可用何法以測量之。如下。

夫欲使物體至高處。則須需工作以提高之。提之愈高。則所需之工作亦愈大。故按能力不減之定律。物體所得位置之能力。即等於將其提高時所需之工作也。夫提高時所需之工作。可以所施之力及移動之路相乘之積量之。(見第226頁)然所施之力。等於物體之重。而移動之路。即等於提高之路。故若以 W 表重。而以 h 表高。則 Wh 即提高時所需之工作也。故物體所得位置之能力 = Wh 。然前第 201 頁言物體之重 W 。可以 mg 量之。故得公式如下。

$$\text{位置之能力} = Wh = mgh$$

茲試設數題。以明此公式之用。

a. 設有一物。重 100 磅。離地 10 英尺。問此物之地位能力為幾何。

解 因位置之能力 = Wh ，此處 $W = 100$ 磅， $h = 10$ 英尺。

$$\text{故位置之能力} = 100 \times 10 = 1000 \text{ 呎磅。}$$

b. 設有一物。其質量為 10 克。其離地為 5 呎。又此處由

地心引力所起之加速率爲每秒 980 呎。問此物之位置之能力爲幾何。

解。 因位置之能力 = mgh ，此處 $m = 10$ ， $g = 980$ ， $h = 5$
故地位之能力 = $10 \times 980 \times 5 = 49000$ 愛格。

(2) 凡物體因運動之故。所起之能力。謂之運動之能力 (Kinetic energy)。 例如鉛彈置在礮中。未放之前。並無若何之能力。然若開礮將其放出。則即得有極大之能力。故雖堅硬之物中。亦能打入。此種能力。顯係因彈運動而起。故謂之運動之能力也。

按物體運動能力之大小。亦可用一定之公式以測量之。此種公式。可求之如下。設有一運動之物體。其質量爲 m 。其速率爲 v 。若欲求其運動能力爲幾何。可視其所能成之工作爲幾何。故設此物體進行時。遇有一與之方向相反之力 F 。致此運動體之速率。逐漸減少。終至停止。又設自遇力時起至停止時止。其物體所經之路爲 s 。則爲物體運動能力之大小。自可以 Fs 之工作量之

矣。然前第 188 頁言 $F = ma$ ，又由前第 170 頁上之公式。吾人可得 $S = \frac{v^2}{2a}$ 。(因 $v^2 = V^2 + 2aS$ 。然以上物體遇 F 力後。其速率既由 V 而逐漸減少。以至停止。則 V 自等於 0。故得 $v^2 = 2aS$ 。由此即得 $S = \frac{v^2}{2a}$ 。)故以上 FS 之工作 $= ma \times \frac{v^2}{2a} = \frac{1}{2}mv^2$ 。即物體運動能力之大小。可以 $\frac{1}{2}mv^2$ 量之也。故得公式如下

$$\text{運動之能力} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (愛格或呎磅度)}$$

按由上可知得此公式時。力 (F) 既以 ma 代之。則此力必為絕對標準之達因或磅度。而必不為重力標準之克或磅。(參觀第 190 頁) 故此 $\frac{1}{2}mv^2$ 之工作。必為若干愛格。或若干呎磅度。而不為克糶及呎磅也。設若當初力 (F)。係以重力標準表之者。則可將 $\frac{W}{g}$ 代此 $\frac{1}{2}mv^2$ 中之 m 。蓋前第 201 頁重量之公式中。言 $W = mg$ 。故 $m = \frac{W}{g}$ 也。故得式如下。

$$\text{運動之能力} = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times v^2 = \frac{Wv^2}{2g} \text{ (呎磅或)}$$

克糰)。

茲試設數題。以明計算運動能力之法。如下。

(1) 設有一運動之彈。其質量為 $15 \frac{1}{2}$ 克。其速率為每秒 150 糰。問其運動之能力為若干。

解。 因運動之能力 = $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 15 \times 150^2 = 168750$ 愛格。

(2) 設以上運動之彈。其質量為 15 磅。其速率為每秒 150 英尺。則其運動之能力當為若干。

解。 因運動之能力 = $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 15 \times 150^2 = 168750$ 呎磅度。

(3) 設一運動體之重為 100 磅。其每秒之速率為 10 英尺。問其運動之能力為若干。(設此處由地心吸力所起之加速率約為 32 英尺。)

解。 因運動之能力 = $\frac{Wv^2}{2g} = \frac{100 \times 10^2}{2 \times 32} = \frac{10000}{64} = 156 \frac{1}{4}$ 呎磅。

(4) 設以上運動體之重為 100 克。每秒之速率為 10 糰。則其運動之能力當為若干。(按 g 約為 32 英尺。約等於 980 糰。)

解。 因運動之能力 = $\frac{Wv^2}{2g} = \frac{100 \times 10^2}{2 \times 980} = \frac{10000}{1960} =$

$5\frac{5}{49}$ 克厘。

V. 機械學

(Machines)

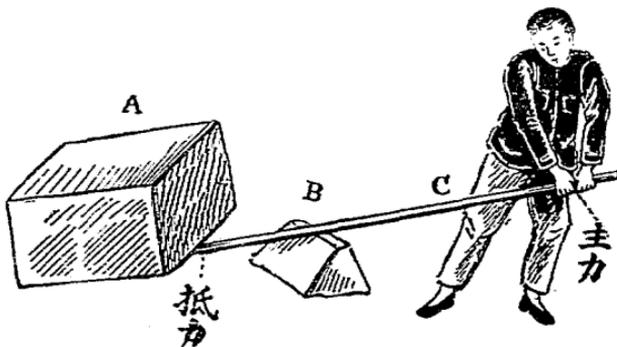
總
論

機械學乃固體力學之一部分。(參觀第163頁)
專論各種機械之要理。於實用上極有關係。
學者當悉心研究之。

考機械之作用。其最著者。爲吾人藉之可以較小之力。而得較大之效果也。可設一例以明之如下。

設有一重大之石。一人以二手執之。不克將其提起。可知此人之力。

較石之重
爲小、而
又無他人
以助之。
而有何法
可以起之
乎。曰有。



第一百十二圖

如第一百十二圖。可以一槓桿 G 。一端插入大石 A 下。近石處以一物填於桿下如 B 。今此人若手執桿之他端而下壓之。則石即可以提起。

由上可知此人之力。本較石之重爲小。而不克將石提起者。今藉槓桿之作用。即以此人之力。亦可將石提起。顯見藉槓桿之作用。以較小之力。可得較大之效果也。凡此種器具。以力施於器之一處。而使在器之他處能發生一他力(其方向及大小常與所施之力不同)以作有用之工者。謂之機械(Machine)。故以上之槓桿。亦機械之一種也。學者當注意此種所施之力。謂之主力(Effort 又名 Power)。而所發生之他力。謂之抵力(Resistance 又名 Weight)。凡各種機械之作用。不過爲此二力之作用。故機械之要理。莫非研究此二力之關係而已。抵力較主力愈大。則吾人因用機械而得之利益亦愈大。故抵力與主力之比(即抵力：主力。或 $\frac{\text{抵力}}{\text{主力}}$)可爲測量因用機械所得利益之大小。此種比例。科學家謂之機械之利(Mechanical advantage)。亦可以公式表之如

下。

$$\text{機械之利} = \frac{\text{抵力}}{\text{主力}}$$

例如設以上第一百十二圖中之人。在槓桿一端所施之主力爲 70 磅 而槓桿他端所起之抵力爲 490 磅。問此人因用是槓桿所得之利益爲若干。(即機械之利)

解。 因機械之利 = $\frac{\text{抵力}}{\text{主力}} = \frac{490}{70} = 7$ 。意即因用槓桿之故。所得之效果。較其所用之力大七倍也。

又學者當注意。設以上第一百十二圖中所用之主力爲 70 磅。所得之抵力爲 490 磅。則主力小於抵力七倍明矣。然吾人若將主力之着力點。往下移動之路。及抵力之着力點。往上移動之路。分別測量而比較之。則知主力移動之路。大於抵力移動之路。適約七倍。可知主力乘其移動之路。等於抵力乘其移動之路也。換言之。即主力所成之工作。等於抵力所成之工作也。(參觀第 226 頁工作之公式。) 是謂之機械之定律(General law of machines)。而與能力不減之定律相符。故設如 P 爲主力。W 爲抵力。S 爲主力移動之路。S' 爲抵力移動之路。

則得公式如下。

$$PS = WS'$$

由此公式。可知抵力 W 。若大於主力 P 若干倍。則抵力移動之路 S' 。即小於主力移動之路 S 亦若干倍。故得之於力者。即失之於路。以上第一百十二圖中之所以能以較小之主力。生較大之抵力。即係此理。凡種種機械之作用。亦莫不如此。

然學者須知機械者。以物質製成者也。此種物質。必有其重量。故機械動作時。一部分之力。須用以勝此重量。且機械動作時。必生摩擦力。故一部分之力。須用以勝此摩擦力。因此之故。於實驗上常有一部分之力。費諸無用之地。故抵力實在所成之有用工。作常較所用主力之工作為小。科學家以此種抵力所成之有用工作。與所用主力之工作之比。為其機械所能實顯之功效。謂之有效率 (Efficiency)。故

$$\text{機械之有效率} = \frac{\text{抵力所成之有用工作}}{\text{所用主力之工作}}$$

例如上第一百十二圖中。所用主力爲 70 磅。而以實驗測得實得之抵力爲 48 磅。主力移動之路爲 7 英尺。抵力移動之路爲 1 英尺。問此槓桿之有效率爲百分之幾。

解。 此處主力所成之工作爲 $70 \times 7 = 490$ 尺磅。

又實得抵力所成有用之工作爲 $48 \times 1 = 48$ 尺磅。

故有效率 = $\frac{48}{490} = \frac{48}{49}$ 即每 49 分工作中。實得有用

之工作祇 48 分也。故每百分之工作中。當實得有用之工作爲

$$\frac{48 \times 100}{49} = \text{約 } 98\%。$$

以上既述機械共同之要理。茲將各種機械分別於下研究之。蓋機械共計有六種。莫不能以較小之主力得較大之抵力。而以上所言之槓桿。不過其中之一種而已。此六種維何。即 (1) 槓桿 Levers。 (2) 滑車 Pulleys。 (3) 輪軸 Wheel and axle。 (4) 斜面 Inclined planes。 (5) 尖劈 Wedge。 (6) 螺旋 Screw。此六種機械。謂之單簡機械 (Simple machines。因無論何種繁複之機械。莫不爲此六種中之二種或數

種簡單機械所合成者也。

註 學者若細將此六種簡單機械研究之後。則可察知滑車及輪軸。實係槓桿之變相。又尖劈及螺旋。實係斜面之變相。故若推至極端。可將六種簡單機械。祇歸成爲槓桿及斜面二種而已。

今將此六動簡單機械。分別於下研究之。

(1) 槓桿

(Lever)

槓桿之 種類

凡槓桿係以一堅固之桿所製成。(或直或曲均可。)倚於一點上而可以轉動者也。

此所倚之點。謂之支點 (Fulcrum)。例如第一百十二圖中之 B 點。卽槓桿之支點也。又學者業已明悉在槓桿之一處。施以一主力。則在他處卽發生一抵力。故凡一槓桿。共有三點。卽支點 (Fulcrum) 抵力點 (Weight) 及主力點 (Power) 是也。如支點在主力點及抵力點之間。則謂之第一類槓桿 (First class lever)。如抵力點在支點及主力點之間。

則謂之第二類槓桿 (Second class

lever)。如主力點在支點及抵力點之間。則謂之第三類槓桿

(Third class lever)。如第一百十三圖中所示者也。(C 為支點。A 為

抵力點。B 為主力點。) 又由支點

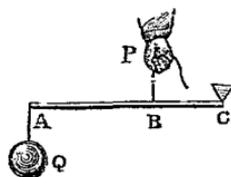
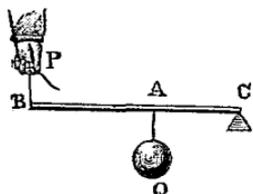
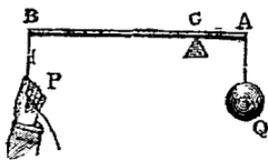
至主力方向之垂線距離。或由

支點至抵力方向之垂線距離。

謂之桿臂 (Arms)。故以上第一

百十三圖中。由支點至主力點

之直線。或由支點至抵力點之直線。均係桿臂也。



第一百十三圖

槓桿機械之利

學者既明槓桿之種類。今試研究槓桿
抵力與主力大小之比。(即槓桿機械之利。參

觀第 239 頁。) 須視何者而定乎。可求之如下。

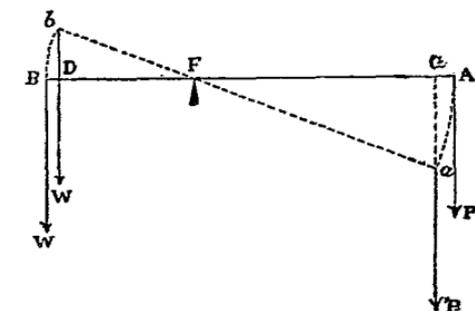
如第一百十四圖。AB 為一槓桿。其臂為 FA 及 FB。又 P 表主力之大小。W 表抵力之大小。今將此桿旋動至 aFb 地位。則主力點移動之路為 aC。抵力點移動之路為 bD 故按

機械之定律。(即主力
之工作等於抵力之工
作。見第 239 頁。) P
 $\times aC = W \times bD$ 。

故 $\frac{W}{P} = \frac{aC}{bD}$ 但 $\triangle FbD$
 $\sim \triangle FaC$ 。又 $Fa =$

$F A$ 。 $Fb = FB$ 。則

$$\frac{aC}{bD} = \frac{Fa}{Fb} = \frac{FA}{FB}$$



第一百十四圖

$$\frac{W}{P} = \frac{FA}{FB}$$

由此公式。可知抵力與主力之比。(即機械之利)
等於二桿臂長之反比。

註。 $\frac{W}{P} = \frac{FA}{FB}$ 可寫 $W \times FB = P \times FA$ 。可知抵
力與其桿臂相乘之積。等於主力與其桿臂相乘之積也。凡此種
力與桿臂相乘之積。科學家謂之能率 (Moments)。故可簡言之
曰。槓桿抵力之能率。等於主力之能率。

茲試設數題如下。以明此公式之用。

(1) 設前第一百十二圖中。支點至主力之桿臂長 10 尺。
支點至抵力之桿臂長 2 尺。如其人所施之力為 30 磅。則所
生之抵力當為若干。

解。 因 $\frac{W}{P} = \frac{FA}{FB}$, 故 $\frac{W}{30} = \frac{10}{2}$, 故 $W = \frac{30 \times 10}{2} =$

150 磅。

(2) 設有一槓桿。長 5 米。一端懸重 10 尅之物。他端懸重 16 尅之物。問此桿之支點。當在何處。

解。 設 x 為由支點至抵力之遠。則 $5 - x$ 為由支點至主力之遠。

$$\text{因 } \frac{W}{P} = \frac{FA}{FB}, \text{ 故 } \frac{16}{10} = \frac{5 - x}{x}$$

故 $x = 1.923$ 米。即支點在離抵力點 1.923 米處。

(3) 設有一第二類槓桿。在離其支點 20 厘處。懸一 20 尅之重物(即抵力)。若其主力為 5 尅。試求此桿之長。

解。 因 $\frac{W}{P} = \frac{FA}{FB}$, 故 $\frac{20 \text{ 尅}}{5 \text{ 尅}} = \frac{\text{主力點至支點之長}}{20 \text{ 厘}}$

故主力點至支點之長 = 80 厘。是亦即桿之長也。

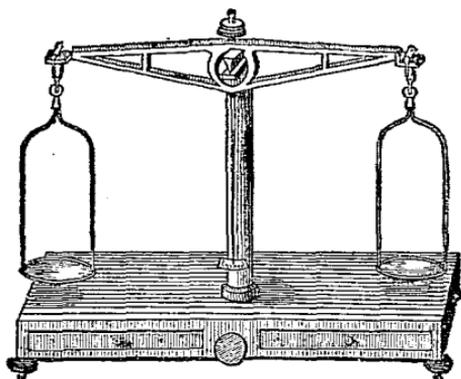
(4) 設有一物重 500 磅。今欲用一長 20 尺之槓桿。起此重物。問如支點至重物為 4 尺。則在桿之他端。當施若干磅力。始可將此重物提起。

解。 因 $\frac{W}{P} = \frac{FA}{FB}$ 故 $\frac{500}{P} = \frac{20 - 4}{4}$, 故 $P = 125$ 磅。

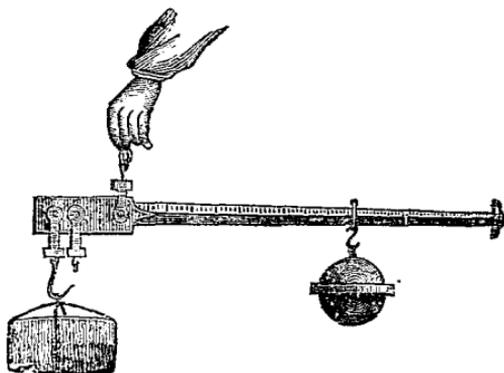
關於槓桿理之
數種緊要器械

考有多種常見之器械。係藉槓桿之理以製成者。例如第一百十五圖之天平 (Balance)。乃第一類槓桿也。其支點即

係其中間頂住此平之點。精佳之天平。其二桿臂之長。當適相等。則一端盤中法碼之重 (即主力)。可適等於他端盤中物體之重 (即抵力)。又如第一百十六圖之秤 (Steelyard)。亦係第一類槓桿也。其支點即在手提之處。其



第一百十五圖



第一百十六圖

二桿臂之長短不同。較短桿臂之定點上。懸一欲

權之重物(即抵力)。較長之桿臂上。則懸一可以左右移動之稱錘(即主力)。又如鐵箝鐵剪等類。其作用亦莫非槓桿之作用也。

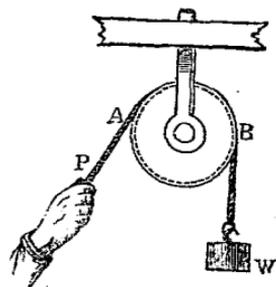
(2) 滑車

(Pulleys)

定滑車及動
滑車之別

滑車亦係簡單機械之一種。(參觀第 241 頁) 爲一周有小槽之小輪。此輪在其軸上。可以自由轉動。至軸之二端。則插於一木架上 (Block)。故以一線置小槽中。則可任意移動。如線移動時木架不移動者。則謂之定滑車 (Fixed pulley)。如線移動時木架亦移動者。則謂之動滑車 (Movable pulley)。

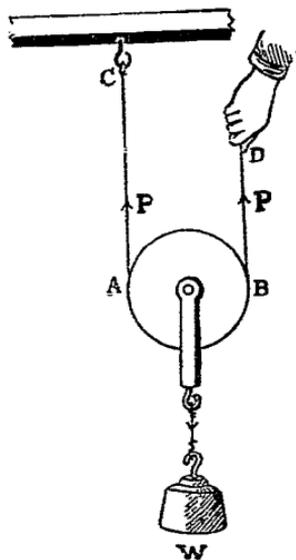
按定滑車祇能用以改變力之方向。而不能使抵力大於主力。如第一百十七圖。爲定滑車。設一端繫一重物 W (即抵力)。二端以手拖住。所用之力爲 P (即



第一百十七圖

主力)。此二力平衡。而主力之方向爲 AP 。抵力之方向爲 BW 。故方向不同也。然此二力既爲平衡。則 P 自等於 W 。故用此種定滑車。不能使抵力大於主力也。然若用一動滑車。則可得抵力大於主力一倍。如第一百十八圖。爲一動滑車。重物 W

係懸在車之下端。至滑車中之線。則一端繫住於一鉤如 C 。而他端則可施以主力。(如圖中手提之處。)設此重物提住如圖所示。則 AC 及 BD 二力之和。自等於其物之重。(參觀試驗 71 中所得之結果。)故設



P 爲 AC 或 BD 之力。 W 爲物之重。則 $W = P + P = 2P$ 。然

AC 之 P 力。即爲鉤之力。不

第一百十八圖

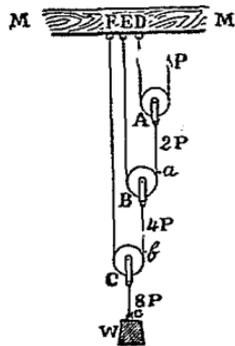
必另用人力以提住之。故祇須用 BD 之 P 力 (即主力)。即可提住 W (即抵力)。換言之。即以主力 P

可得抵力 W 也。然 $W = 2P$ 。故 $P = \frac{W}{2}$ 。可知若用此種動滑車。則所用之主力。祇須抵力之半。故抵力大於主力一倍也。設如重物為 100 磅。則用此種動滑車。以 50 磅之力。即可起之。

數滑車
之合併

以上所論者。祇係一滑車之單獨作用。茲試研究若將數滑車合併。則其作用如何。考此種合併之法。共可分為三類。茲分別論之如下。

(A) **第一類合併滑車** (First system of pulleys) 第一類滑車合併法。如第一百十九圖。MM 為一不動之木橫條。A, B, C 為三動滑車。每車有一線。故共計三線。各線之一端。繫於 MM 條上。他端則繫於上一滑車之下端。至 A 滑車線之他端。則施以主力如 P 。最下一滑車之端。則懸一重物如 W 。今將此種滑車之機



第一百十九圖

械之利考之。設所施之主力爲 P 。則 Aa 之力。自等於 $2P$ 。(理見以上動滑車中) Bb 之力。自等於 $4P$ 。而 Cc 之力。自等於 $8P$ 。然 Cc 之力。即 W 之重。故 $W = 8P$ 。此式可寫爲 $W = 2^3P$ 。此指數 3 字。適與以上所用三線之數等。設如用四線(四滑車)。則即得 $W = 2^4P$ 。故設 n 爲線之數。則得公式如下。

$$W = 2^n P$$

茲試設數題。以明此公式之用。

1. 設用 5 動滑車及 5 線。照第一類合併滑車法併之。

今若施以 3 磅之力。問能理若干磅之重物。

解。 因 $W = 2^n P$ ，此處 $n = 5$ ， $P = 3$

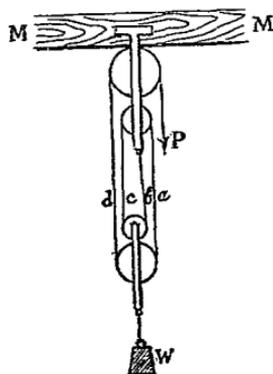
故 $W = 2^5 \times 3 = 32 \times 3 = 96$ 磅。

2. 設如用第一類合併滑車。1 磅之力。能起 16 磅之重物。問共當用若干個動滑車及若干條線。

解。 此處抵力(即重)既十六倍於主力。故 $W = 16P$ 。或可寫爲 $W = 2^4P$ 。故共用 4 個動滑車及線 4 條也。

3. 設有一重 500 磅之物。今欲以六個動滑車及線六條之第一類合併滑車提起之。問應用力若干磅。

(B) **第二類合併滑車** (Second system of pulleys)。此滑車合併法。如第一百二十圖。將數滑車分置二木架上。以一線如圖穿連之。一木架緊裝於一不動木條 MM 上。而下一木架則可上下移動。故以重物 W 繫於下木架之下端。則施力於 P 處。此重物即可提起。



第一百二十圖

今將此種滑車之機械之利考之。觀圖即可知 W 之重。為下木架之 a, b, c, d 四線所提住。故設每線所受之力為 P 。則 $W = 4P$ 。4 卽下木架上之線數也。故設以 n 為下木架之線數。則得公式如下。

$$W = nP$$

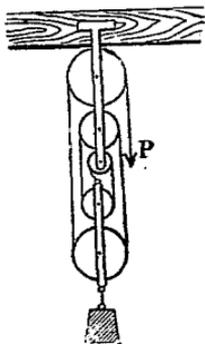
茲試設數題。以明此公式之用。

1. 設第二類之合併滑車。下木架上之線數為 5。如第一百二十一圖。問以 10 磅之力。能起若干磅之重。

解。 $W = nP$, 故 $W = 5 \times 10 = 50$ 磅。

2. 設有第二類之合併滑車。一磅之力。能起 6 磅之重。問下木架中。共有若干條線。

解。 $W = nP$, 故 $6 = n \times 1$, 故 $n = 6$



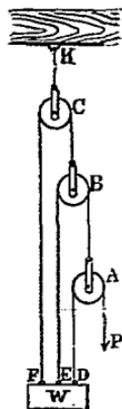
第一百二十一圖

3. 設有一重 500 磅之物。今欲以下木架上有 5 條線之第二類合併滑車提起之。問應用力若干磅。 答 100 磅。

(C) 第三類合併滑車 (Third system of pulleys)。此第

三類滑車之合併法。其實即係將第一類滑車倒置所成。將第一類懸重物之線端。懸於木條上。而將第一類懸於木條上之線端。懸於重物上。如第一百二十二圖。

今將此種滑車之機械之利考之。設所施之力為 P 。則 AB 之力。自等於 $2P$ 。而 BC 之力。等於 $4P$ 。 CK



第一百二十二圖

之力。等於 $8P$ 。故木條所受之力。共爲 $8P$ 也。然此木條所受之力。亦卽爲 W 及 P 之和。故 $8P = W + P$ 。故 $W = 8P - P = 2^3P - P = (2^3 - 1)P$ 。此 3 卽繫於重物上之線數也。故設以 n 爲懸於重物上之線數。則得公式如下。

$$W = (2^n - 1)P$$

茲試設數題以明此公式之用。

1. 設以四個滑車。照第三類合併滑車法合併之。則若施以三磅之力。當能起重若干磅。

解。用四個滑車。則繫於重物上之線數。亦必爲 4。故 $W = (2^n - 1)P = (2^4 - 1) \times 3 = (16 - 1) \times 3 = 15 \times 3 = 45$ 磅。

2. 設以一第三類合併滑車。用 10 磅之力。能起 70 磅之重。問所用滑車之數。共計若干個。

解。 $W = (2^n - 1)P$ ，故 $70 = (2^n - 1)10$ ，故 $2^n = 8 = 2^3$ ，可知所用滑車之數爲 3。

3. 設有一 500 磅重物。欲以五個滑車之第三類合併滑車提起之。問應用力若干磅。

答 16.13 磅

4. 設與汝 6 個滑車。欲汝設法將 1500 磅之重物提起。問汝如以此 6 個滑車照第一類合併之。則應用力若干磅。即可將其提起。又如照第二類合併之。則應用力若干。如照第三類合併之。則應用力若干。

答照第一類合併。則需力 23.44 磅。

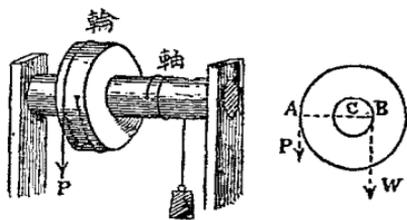
照第二類合併。則需力 250 磅。

照第三類合併。則需力 23.81 磅。

(3) 輪軸

(Wheel and axle)

輪軸亦係簡單機械之一種。(參觀第 241 頁) 即同樞之大小二圓柱體。大者為輪。小者為軸。如第一百二十三圖。輪上及軸上各繫以一線。惟二線繞轉之方向。則適相反。故將一重物繫於軸上之線端。



第一百二十三圖

在輪上之線端施之以力。即可將重物提起。今試將此種輪軸之機械之利考之。如圖中右邊所示

者。爲輪軸之橫截面。 C 爲輪軸之樞點。則 CA 爲輪之半徑。 CB 爲軸之半徑。主力施於 A 點處。而抵力則施於 B 點處。故按槓桿機械之利之理(見第

244頁) $\frac{W}{P} = \frac{CA}{CB}$ 。故輪軸機械之利之公式如下

$$\frac{W}{P} = \frac{\text{輪之半徑}}{\text{軸之半徑}}$$

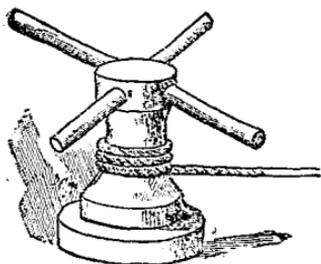
茲試設數題以明此公式之用。

1. 設輪之半徑爲 48 英寸。軸之半徑爲 6 英寸。問如欲起 56 磅重之物。當用力若干。

解. 因 $\frac{W}{P} = \frac{\text{輪之半徑}}{\text{軸之半徑}}$

$$\text{故 } \frac{56}{P} = \frac{48}{6} \text{ 故 } P = 7 \text{ 磅。}$$

2. 第一百二十四圖。爲轆轤式樣。船上起錨時常用之。上面之四桿。係代一輪者。而下面繫繩之處。則爲軸。今設每桿之長爲 6 英尺。軸之半徑爲 1 英尺。錨重 500 磅。當用力若干。



第一百二十四圖

解。 因 $\frac{W}{P} = \frac{\text{輪之半徑}}{\text{軸之半徑}}$ 故 $\frac{500}{P} = \frac{6}{1}$

故 $P = 83.33$ 磅。

3. 設以 5 磅之力。用輪軸以起 70 磅之重。如軸之半徑爲 3 英寸。問輪之半徑當爲若干英寸。 答 42 英寸。

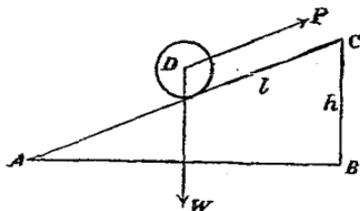
(4) 斜面

(Inclined plane)

斜面亦係簡單機械之一種。(見第 241 頁) 藉斜面之作用。吾人亦可以較小之主力。得較大之抵力。今若欲研究此種斜面之機械之利。共可分之爲二種。即 (1) 所施主力之方向。與斜面之面平行者。
(2) 所施主力之方向。與斜面之底平行者。茲試分別論之如下。

(a) 所施主力之方向。與斜面之面平行者。 如

第一百二十五圖。ACB 爲一斜面。AC 爲斜面之面。D 爲一重物。設其重爲 W 。P 爲所施之主



第一百二十五圖

力。其方向與 AC 平行。今欲研究其機械之利。可設此重物被 P 力由 A 點移至 C 點。則其工作爲 $P \times AC$ 。然同時 W 所成之工作爲 $W \times BC$ 。因 W 提高之直路爲 BC 也。按機械之定律。此二工作必相等。故 $W \times BC = P \times AC$ 。或可寫爲 $\frac{W}{P} = \frac{AC}{BC}$ 。然 AC 卽斜面之面長。 BC 卽爲斜面之高。故得公式如下。

$$\frac{W}{P} = \frac{\text{斜面之面長}}{\text{斜面之高}}$$

茲試設數題以明此公式之用。

1. 設一斜面之面長爲 5 英尺。^高爲 3 英尺。問如欲將 20 磅重之物提起。應用力若干磅。(此力之方向係與斜面之面平行者。)

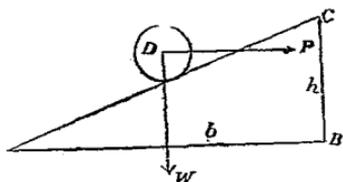
解. $\frac{W}{P} = \frac{\text{斜面之面長}}{\text{斜面之高}}$, 卽 $\frac{20}{P} = \frac{5}{3}$

故 $P = 12$ 磅。

2. 設一人之力爲 70 磅。而一物之重爲 500 磅。問如欲用高 4 英尺之一斜面提起之。則斜面之面。當長若干。(施力之方向。係與斜面之面平行者。) 答 28.57 英尺。

(b) 所施主力之方向。與斜面之底平行者。如

第一百二十六圖。P 力之方向。係與斜面之底 AB 平行。今試研究其機械之利。可設此重物。被 P 力由 A 點移至 C 點。則其工作為 $P \times AB$ 。因



第一百二十六圖

P 之方向。既與 AB 平行。故重物移動之路。當以 AB 計算也。然同時 W 所成之工作為 $W \times BC$ 。因 W 提高之直路為 BC 也。按機械之定律。此二工作相等。故 $W \times BC = P \times AB$ 。或可寫為 $\frac{W}{P} = \frac{AB}{BC}$ 。然 AB 即斜面之底長。BC 即斜面之高。故得公式如下。

$$\frac{W}{P} = \frac{\text{斜面之底長}}{\text{斜面之高}}$$

茲試設數題以明此公式之用。

1. 設如斜面之高。與斜面之底相比之數為 3 : 8。則 12 磅之重物。當用若干之力。始可提起。(施力之方向與斜面之底平行。)

解。 $\frac{W}{P} = \frac{\text{斜面之底長}}{\text{斜面之高}}$ 即 $\frac{12}{P} = \frac{8}{3}$ 故 $P = 4.5$ 磅。

$$\frac{w}{p} = \frac{\text{斜面之長}}{\text{底}}$$

2. 設有一斜面。高 4 英尺。底長 28.57 英尺。問如欲提 500 磅之重物。當用力若干。(施力之方向係與底平行者。)

答 70 磅。

(5) 尖劈

(Wedge)

尖劈亦係簡單機械之一種。(參觀第 241 頁) 其實為二斜面合併所成。用以劈木。最為適宜。如第一百二十七圖。將劈之尖端。插入木隙中。而後以重物擊之。則尖劈入木。而木即劈開。考尖劈機械之利。其理本與斜面同。然尖劈入木時。摩



第一百二十七圖

擦力 (Friction) 極大。勢難棄置不顧。即此一原因。可知尖劈機械之利。不能以一定之公式表示之也。

註。 當吾人欲將一物體在他物體上移動時。則此他物體即生一種力欲阻止其移動。此力謂之摩擦力 (Friction)。此蓋因物體必難極其光滑故也。若物體上塗油。則較為光滑。故摩擦力即可較小。

(6) 螺旋

(Screw)

螺旋亦係簡單機械之一種。(參觀第 241 頁) 即一

圓柱之外面。繞有凸出之
旋形線者。如第一百二十



第一百二十八圖

八圖之式是也。考此種旋

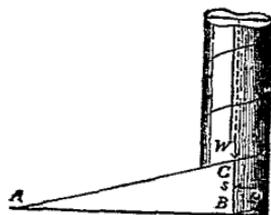
形線。均係斜面。設如吾
人用一三角形之紙。卷於一鉛筆上。則三角形之
斜面。即成旋形線。如第一百二十九圖。按每上

下二旋形線之距離。謂之

旋距 (Pitch)。例如圖中 G

及 B 之距離 s 。即旋距也。

螺旋轉動一周。則下移之



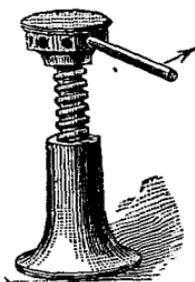
第一百二十九圖

路。即等於旋距 s 。

今試將螺旋機械之利考之。接欲將螺旋轉動。

常法係一槓桿。一端橫插入螺旋之上部。而後施

力於槓桿之他端。故槓桿旋轉一周。則螺旋即下移旋距 s 之路。設以 W 為抵力。 P 為主力（即所施之力）。則按機械之定律。 $P \times$ 槓桿一周之路 $= W \times s$ 。然槓桿一周之路。按算學理為 $2\pi R$ 。（ $\pi = 3.1416$, R 即槓桿之長。）故 $P \times 2\pi R = WS$ 。由此得螺旋機械之利。公式如下。



第一百三十圖

$$\frac{W}{P} = \frac{2\pi R}{S}$$

茲試設數題以明此公式之用。

1. 設槓桿之長為 1 英寸。旋距之長為 1 英寸。則若所施之主力為 3 磅。問可得抵力若干。

解。 $\frac{W}{P} = \frac{2\pi R}{S}$, 故 $\frac{W}{3} = \frac{2 \times 3.1416 \times 1}{1}$

故 $W =$ 約 18.9 磅。

2. 設以長 30 英寸之槓桿。照前第一百三十圖。裝於一螺旋上。則槓端施以 5 磅之力。螺旋即生 500 磅下壓之力。問此螺旋之旋距。當為若干。 答。約 1.9 英寸。

註。 本固體力學章既終。教師當設問題數種。使諸生對答。以資溫習。

流體力學

Mechanics of fluids

又名

Hydrostatics.

第 五 章

流體力學

(Mechanics of fluids 又名 Hydrostatics)

前第 162 頁。言力學可分爲固體力學及流體力學二種。蓋流體富於流動之性。而固體則否。故流體受力後。其作用與固體不同也。固體力學既於前第四章中論述。茲將流體力學研究之。

流體名稱。係指液體及氣體二者而言。(參觀前第 10 頁) 蓋液體及氣體二者。莫不富於流動之性也。考流體力學。包含亦頗廣。吾人爲便利起見。可分爲數節研究之。即(1)關於液體中分子力之研究。(2)關於流體中壓力之研究。(3)關於流體浮力之研究。(4)關於空氣壓力之研究。茲試將此各節分別研究之如下。

I. 關於液體中分子力之研究

(Molecular forces in liquids)

物體爲分子所組織而成。已於前第 7 頁可分性

中及之。故液體亦爲分子所組織而成也。此種分子。有互相吸引之力。液體中之多種現象。可以顯之甚明。茲試舉其要者數種。分別考之如下。

凝 聚
力

液體中分子。有互相吸引之力。極易證明之。例如吾人若將一潔淨之玻璃箸。一端浸入清水中而取起之。則箸端黏有一水點。若此水點過重。則自行墜落。當其墜落時。成圓式水點。其所以成圓式者。則因水之分子互相吸引。使水之面積爲最小也。(按球形之面積。較同質量之他形面積爲最小)。此種液體分子互相吸引之力。謂之凝聚力 (Cohesive force)。按此種凝聚力。常被地心引力所障蔽。今若將火酒加入水中。至水與火酒混合物之密度。與油相等。則油即可任意在此混合物中沈浮。地心引力之作用被除去。而油分子之凝聚力。即可將油收聚而亦成爲一圓點。

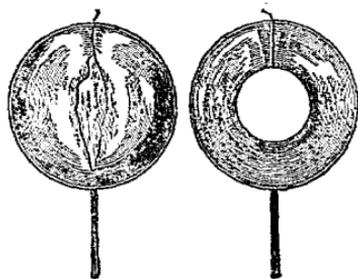
表 張
面 力

考液體之表面。常顯緊張之作用。如一層薄膜者然。是之謂表面張力 (Surface tension)。

可試之如下。

試驗 73. 取乾潔縫衣針。輕輕橫置於潔淨之水面上。如謹慎爲之。則可試得此針能浮於水面。細察之。則見針周圍之水面。被壓下少許。成一小槽形。一若水面張有 薄膜者然。

又以粗鐵絲作成一有柄之圓圈。
(直徑約長 70 耗) 而以一線環
繫於此鐵絲圈上。使環張開時。
約適居圈之中央。如第一百三十一
一圖。乃將此圈浸入肥皂之溶液
中而取出之。則圈上張有一層溶



第一百三十一圖

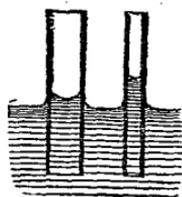
液薄膜。今若以一燒熱之鐵絲。觸於線環中之薄膜上。則環中之薄膜破裂。而環外薄膜之張力。將環拉成一圓圈形。此亦證明液體之薄膜表面有張力也。

由上試驗。可知液體表面有一種緊張之力明矣。此何故歟。蓋液體之表面。與液體之內部不同。內部中之每一分子。其上下及四周。均有他分子吸引之。而表面處之每一分子。則只有其下面及

四周之分子吸引之。其上面並無分子吸引之。故此表面之分子。常向下壓縮。因此壓縮之故。以致表面成薄膜狀態也。

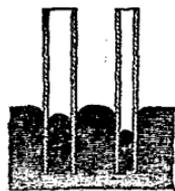
微管之
現象

吾人若將較大及較小之二乾潔細玻璃管。將一端浸入水中。置之片刻。則見水自能上升管中。故管中之水面。較管外之水面為高。管愈小者。則上升亦高。且細察之。



第一百三十二圖

管中之水面係成凹形者。如第一百三十二圖所示者是也。又吾人若將較大及較小二乾潔細玻璃管之端。浸入水銀中。則所得之結果。適與以上相反。蓋管中之水銀。較



第一百三十三圖

管外為低。管愈小。則愈低。且細察之。管中之水銀面。係成凸形者。如第一百

同種液體之液體在管中之上升或下降
恆與管之半徑成反比例。 定律

三十三圖是也。

此種現象。謂之微管現象 (Capillary phenomena)。

總之。凡某液體之分子。與微管之分子。互相吸引之力。較其液體分子自相吸引之力爲大者。(如水之類) 則與微管相接觸處之液體分子。必逐漸上升。此種上升之分子。因凝聚力之作用。故與之接近之分子亦隨附上升。所以管中之液面。較管外之液面爲高。且成凹面形也。又管中液面既較管外爲高。則此較高之液體之重。必成爲一種下壓之力。故管中液體上升之度。自以其上升之力。適等於此下壓力之時爲止。然管較小。則其中液體之重。自亦較輕。此所以管愈小。則上升亦愈高也。

反之。如某液體之分子。與微管之分子。互相吸引之力。較其液體自相吸引之力爲小者。(如水銀之類) 則一切作用。自與以上相反。即管內之液

面。較管外爲低。且成凸面形。而管愈小。則下
低亦愈甚也。

註， 微管之現象。吾人常見之。如吃墨紙之吸收墨水，
油之由燈心上升。海絨之吸水等類皆是也。

題關

1. 何謂凝聚力。液體之有凝聚力。何以證之。
2. 筆套端之肥皂水泡。當其收縮時。若在套之他端。置一
火柴。則火柴竟可被其吹滅。問此係何力之作用。
3. 蠟燭燃點。則蠟油能自行上升燭端。試言其故。

II. 關於流體中壓力之研究

(Pressure in liquids)

以上所論者。係液體中分子力所顯之現象。故此種現象。由液體自己之力所發生者也。今試研究液體受有外加之力後。則起何種一定之作用。
又學者當注意。以下所得之要理。亦通用於氣體。
蓋氣體及液體二者。均係流動之物也。

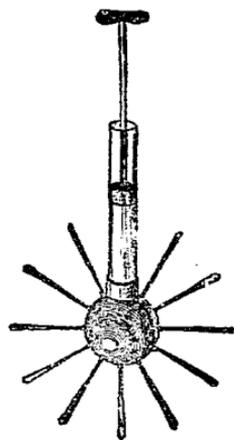
巴氏流體傳力之定律

考此種定律。其最緊要者。爲巴氏流體傳力之定律 (Pascal's law)。此

法人 1623-1662

定律爲何。卽以下二試驗之結果也。

試驗 74. 如第一百三十四圖。取一下端接有空圓球之玻璃筒。球之面上各處。鑿有多數之小孔。乃以水充滿於筒及球中。而以一活塞入筒之上端壓之。則見水從各小孔中射出。其射出之速率相等。而無遲速之分。



第一百三十四圖

由此試驗。可知以壓力 (Pressure 卽每若干面積上所受之力) 施於盛在器中之流體。則此壓力能在此流體中各處傳達。而不限於一定之某方向。(此顯與固體之傳力異。蓋固體傳力之方向。只限於施力之方向也。) 故盛此流體之器各處。均受有壓力也。至各處所受之壓力。其大小是否各與所施之壓力相同。則可試之如下。

試驗 75. 如第一百三十五圖。以大小不同之甲乙二圓筒。中接以管。使之相通。二筒

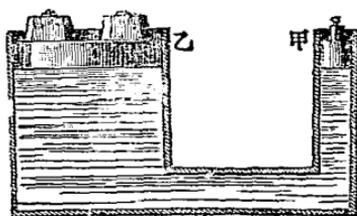
中盛以水。其上各配以木活塞。

(須不可太緊。亦不可太寬。)設甲

活塞之面積為 1。而乙活塞之面積

為 30。則可試得甲上置以 10

磅重之物。乙上須置 300 磅之



第一百三十五圖

重。(即三十倍於 10 磅)則二活塞始可平衡。可知乙活塞上。每 1

面積所受之壓力為 10 磅。與甲活塞上所施每一面積 10 磅之

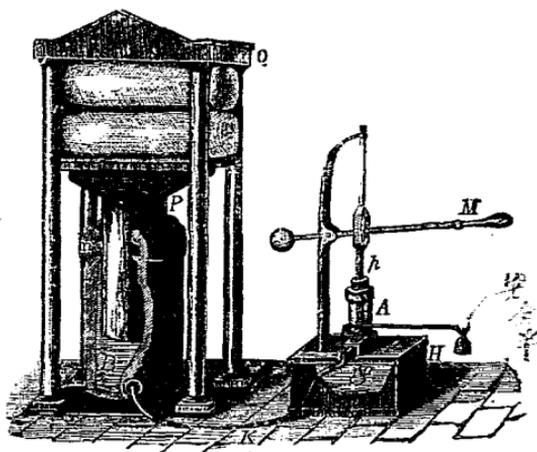
壓力相同。

由上可知流體中各處所受之壓力。其大小各與所施之壓力相同。故如所施之壓力。為每面積若干磅或若干克者。則此液體中無論何處每面積上所受之壓力。亦必為若干磅或若干克。而不稍差也。

按此定律。於實際上極為有用。蓋上試驗中。見如乙之面積。大於甲之面積三十倍。則乙上所生之力。較甲上所施之力。亦大三十倍。故吾人

$$\text{圓面積} = \pi r^2$$

若使甲之面積極小。而使乙之面積極大。則甲上施少許之力。乙上即生極大之力。此所生極大之力。可用以作



第一百三十六圖

種種有用之工。如壓棉花之類。水壓機 (Hydraulic press) 即藉此理而製者也。如第一百三十六圖。

A 爲一小唧筒。B 爲一大圓筒。此二筒以 K 管連接之。B 之面積。既較 A 爲大。則 A 筒上以槓桿施以力。B 筒上即生較大之力。至共大若干倍。則須視 B 之面積。較 A 之面積爲大若干倍而定。

故 $\frac{B \text{ 上所生之力}}{A \text{ 上所施之力}} = \frac{B \text{ 之面積}}{A \text{ 之面積}}$ 。然按算學理。 $\frac{B \text{ 之面積}}{A \text{ 之面積}} = \frac{B \text{ 之直徑平方}}{A \text{ 之直徑平方}}$ 。故得公式如下。

$$\frac{B \text{ 上所生之力}}{A \text{ 上所施之力}} = \frac{B \text{ 之面積}}{A \text{ 之面積}} = \frac{B \text{ 之直徑平方}}{A \text{ 之直徑平方}}$$

茲試設數題。以明此公式之用。

(1) 設一水壓機。大筒之面積為 200 英方寸。小筒之面積為 1 英方寸。問如小筒上施以 50 磅之壓力。則大筒上所生之力。當為若干。

解。因 $\frac{B \text{ 上所生之力}}{A \text{ 上所施之力}} = \frac{B \text{ 之面積}}{A \text{ 之面積}}$ 故 $\frac{B \text{ 上所生之力}}{50}$
 $= \frac{200}{1}$ 故 B 上所生之力 = 10000 磅。

(2) 設水壓機大小二筒。直徑之比。為 4 與 1 之比。則大筒上如欲起 5000 磅之重物。小筒上當施力若干。

故。因 $\frac{B \text{ 上所生之力}}{A \text{ 上所施之力}} = \frac{B \text{ 之直徑平方}}{A \text{ 之直徑平方}}$ 故 $\frac{5000}{A \text{ 上所施之力}}$
 $= \frac{4^2}{1^2}$ 故 A 上所施之力 = 312.5 磅。

(3) 如用一水壓機。小筒上施以 10 磅之力。則大筒上能起 300 磅之重。問如小筒之面積為 3 英方寸。則大筒之面積。當為若干。

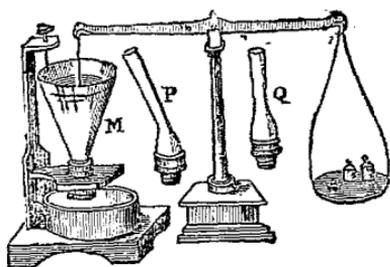
答 90 英方寸

由地心引力所起
之壓力之研究

流體既亦係物質。則自必被地心引力所攝引。此種攝引之力。亦係一種壓力也。今試先行研究此種壓力之

大小。視何而定。可設種種試驗以考之如下。

試驗 76. 如第一百三十七圖。取一無底之玻璃器 M。用架堅持之。乃以一中有一線之銅片。托於器底下。線之上端。則繫於天平之一邊。而天平之他邊盤中。



第一百三十七圖

則加以重物。使二邊平衡。然後盤中加法碼 200 克。而以水漸漸傾入器中。至所托之銅片下墜時。記明器中之水。共深若干。今若盤中易以 400 克之法碼(即較前 200 克多一倍)。而再照法試之。則見現在銅片下墜時。器中水之深。較前亦適多一倍。

由上試驗。可知流體向下壓力之大小。與流體之深成正比例。

試驗 77. 以上第一百三十七圖中之玻璃器 P 或 Q。其式樣各與玻璃器 M 不同。惟其底圈之大小。則各與 M 相同。今若將 M 易以 P 或 Q。而照上試驗 76 法試之。則可試得若盤中法碼之數。與前用 M 器試驗時相同。則欲使銅片下墜。P 或 Q 器中應加之水之深。亦與前用 M 時相同。

由上試驗。可知流體向下壓力之大小。(即盛該液

體之器之底上所受之力。) 祇與器底
之大小有關係。而與器之式樣。
全無關係。

試驗 78. 如第一百三十八圖。

取二玻璃管。彎成 J 字式。故每管有長

短二臂。二管之短臂口。其方向不同。 第一百三十八圖



(如圖中一係向上。一係向側者。) 惟由口至管底之高則相等。乃
 在二管中各盛等深之水銀。而將二管置入一杯之水中。則可試
 得若二短臂之口。在同一之高低時。二管中水銀面高之更變。
 亦各相同。

由上試驗。可知流體中之每點。無論對於何方
向。其所受之壓力。大小均等。

試驗 79. 先照前第 274 頁試驗 76 法。試明盤中如加
 200 克之法碼。則器中應加之水共深若干。今若盤中仍置 200
 克之法碼。而器中則加以水銀。(按水銀約較水重 13.5 倍) 則
 可試得應加水銀之深。較水之深。約少 13.5 倍。

由上試驗。可知流體向下壓力之大小。與流體
之密度成正比例。

註。 密度 (Density) 即各種流體等體積比較之重。例如一體積之水銀。與一體積之水比較。猶 13.5 與 1 之比。故水之密度為 1。而水銀之密度。則為 13.5 是也。

學者既作以上之種種試驗。則可知流體向下壓力之大小。不過視三者而定。即液體之深。器底之面積。及流體之密度是也。吾人既知此。則可設法求一壓力之公式如下。按液體盛於器中。則器底受有壓力。此壓力必由流體之重而生無疑。故吾人若欲求器底壓力之大小。祇須求器底所受流體之重。設 A 為器底之面積。 H 為器中液體之深。則 AH 自必為器底上所受流體之體積。(參觀前第 274 頁試驗 76 及 77 之理。) 故設如 d 為其液體每體積之重。(參觀前第 275 頁試驗 79。) 則 AHd 自必為器底上所受液體之重。此重即器底所受之總壓力也。故設以 P 為器底上所受之總壓力。則得公式如下。

$$P = AHd$$

$$P = A \frac{H}{d} d$$

註。 按受壓力之面如係平橫者。則流體之深 H 。自即流體

面至底之距離。然若受壓力之面係斜側者。則流體之深 H 。自必當為流體面至斜面各點距離之平均數。即流體面與斜面中點或重心點之距離也。

又按一立方呎體積之水。為重 1 克。而一立方英尺體積之水。為重 62.4 磅。故設如液體為水。此即以上公式中 d 之數也。至他種液體之 d 。則可設法求之。例如設水銀較水約重 13.5 倍。則每一立方呎體積之水銀。當重 1×13.5 克。或每一立方英尺之水銀。當重 62.4×13.5 磅也。

茲試設數問題。以明上公式之用。

(1) 設有一池。其底之面積為 250 英尺。水之深為 5 英尺。問池底上所受之壓力。共為若干。

解。因 $P = AHd$ 。此處 $A = 250$ 英尺。 $H = 5$ 英尺。而 d 則當為 62.4 磅。

$$\text{故 } P = 250 \times 5 \times 62.4 = 78000 \text{ 磅。}$$

(2) 設有一方形之器。每面長 50 英尺。高 8 英尺。設器中滿盛以水。問每旁面上所受之壓力。當為若干。

解。因 $P = AHd$ 。此處按算學理。 $A = 50 \times 8 = 400$ 英方尺。 $H = 4$ 英尺。(即 8 之半。此乃面之中點。與水面之距離也。理已見本頁上端。) 而 d 則為 62.4 磅。

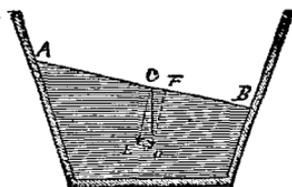
$$\text{故 } P = 400 \times 4 \times 62.4 = 99840 \text{ 磅。}$$

(3) 設以一長 12 英尺。寬 1 英尺之木板。橫置在水中。板面離水面 6 英尺。問板面所受之總壓力。共為若干磅。

$$P = 12 \times 6 \times 62.4 = 4492.8 \text{ 磅} \quad \text{答 4492.8 磅。}$$

以上既將關於由地心引力所起壓力之大小測量法考之。茲末將此外關於地心引力所起壓力之要點考之。如下。

(A) 液體靜止時之面 (Surface of liquid at rest) 考液體如祇受地心吸力。而無他力以擾之。則當液體靜止時。其面必為平面 (Horizontal surface)。蓋設使其面不平。如第一百三十九圖之 AB 。則在此面上任取一液體之點如 C 。其重力為 CO 。



此 CO 之力。可分解而為 CE 及 CF 二力。夫液體面上四周所受之空氣壓力既均等。且液體靜時。並無阻力。則此 CF 之力。當使 C 點向右進行移動。然該液體既係靜止。其質點並無移動之作用。故液體靜止時。其面必平無疑。蓋不平則必當有此 CF 之力。而不能靜止

第一百三十九圖

也。

註。液體靜止時。其面必為平面。此事實於實際上頗為有用。例如酒精平準器 (Spirit level)。即藉此理而製者也。如第一百四十圖。即此器之式樣。法以二端關閉之玻璃管。中置酒精。有少許之氣泡留在其中。



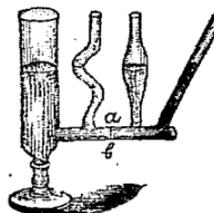
第一百四十圖

此器置平時。則氣泡在器之中間。如置之不平。則氣泡不在中間。故用此器以置於物面上。則可測知物面是否係平面也。

(B) 連通管中之液體 (Liquid in Communicating tubes)

如數管中之液體。設法連通之。則各管中液體之面之高。均各相等。可試之如下。

試驗 80。取連通之數玻璃管。如一百四十一圖。乃以有顏色之液體。傾入管中。則見各管中液體面之高。均各相等。



此何故歟。可以釋之如下。以上試驗中。各管中之液體面達同一之

第一百四十一圖

高低時。管中之液體。即行靜止。而達平衡。故圖中接連管之橫截面。(如 $a b$) 二邊所受之壓力必相等。故設 A 為橫截面之面積。 H 為右邊管中液體之高。 H' 為左邊管中液體之高。 d 為水之密度。則 $AHd = AH'd$ 也。故 $H = H'$ 。詳言之。即右邊管中液體之高。當與左邊管中液體之高相等。此所以流通各管中液體之面。均必等高也。

註。連通管中液體面之高必相等。此事於實際頗為有用。例如市鎮上所用之自來水(Water supply)。即藉此理而成者也。自來水公司中。用機將水壓至高處。此水以鉛管通至各處。則水在各處。亦能升高。故雖在層樓之上。亦能得自來水也。又如泉水及噴泉之作用。亦係此理。

習題

1. 吾人若將氣吹入一球中。則球之各處。同時一律均勻漲大。試以巴氏流體傳力之定律釋之。
2. 設有 1000 磅之重物。置於一水壓力之大筒上。如大筒之直徑為 5 英尺。小筒之直徑為 $\frac{1}{2}$ 英尺。問小筒上應施力若干。

則重物可以上升。

答 10 磅。

3. 設有一方筒。每邊長 4 英尺。筒高為 24 英尺。今若此筒中滿盛水銀。問筒底上所受之壓力為幾何。

24

答 323481.6 磅。

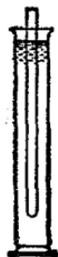
4. 液體靜止時之面。恆係平面。何以證之。

III. 關於流體浮力之研究

(Buoyancy of liquids)

凡流體不但有向下之壓力。(此向下之壓力。業已於前研究之。)且有向上之壓力。此種向上之壓力。謂之浮力 (Buoyancy)。可證之如下。(又學者當注意以下所得之要理。亦通用於氣體。蓋氣體及液體二者。均係流動之物也。)

試驗 81. 取一有底之玻璃管。以手執之。使壓入一筒之水中。如第一百四十二圖。則放手後。其管立即上升。顯明液體有向上之浮力。



又如取一簧秤。其下懸一重物。而記明秤上指針所在之度數。今若使此重物入於水中。第一百四十二圖則見秤上指針所在之度。較前為少。一若此重物改變為較輕也。

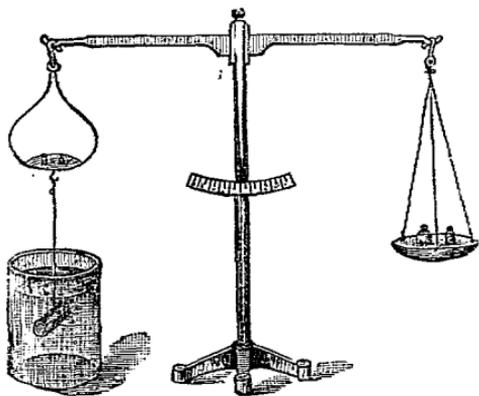
者。是亦因液體有向上之浮力故也。

亞幾默德
氏之定律

由上可知流體之有浮力明矣。然則此浮力之大小。須視何者而定乎。可以下述試驗法考求之。

試驗 82. 第一百四十三圖。如取一金類所製之圓筒。

長 3.5 厘。直徑為 1.9 厘。故其體積共合 10 立方厘。以一細線繫之。而懸於天平之左邊盤底。天平之右邊盤中。則加以重物。使天平之二邊平衡。乃以一杯之清水。置於



第一百四十三圖

圓筒之下。使圓筒全體盡行浸入水中。則見天平失其平衡。而左邊向上。顯見圓筒入水後。失其重量。然若以 10 克之法碼。置於左邊之盤中。則復其平衡。可知左邊所失之重為 10 克也。然圓筒之體積既為 10 立方厘。則浸入水中後。被其擠去之水之體積。亦為 10 立方厘。按法國度量衡。則 10 立方厘之清水。共重 10 克。可知圓筒入水後所失之重。適等於被其擠去之

水之重也。

287-212 BC 亞幾默德氏

由上試驗。可知一物體浸入流體中。則所受流體之浮力。其大小適等於被物體擠去之流體之重。是之謂亞幾默德氏之定律 (Archimedes' principle)。蓋此律係由此人所發明也。

註。由此定律。可知凡一物體全行浸入流體中。如物體之重。過於被其擠去之流體之重。則其物體必下沈。如物體之重。適等於被其擠去之流體之重。則其物體無論置在流體中之何處均可。如物體之重。少於被其擠去之流體之重。則其物體必上浮。至達被其擠去之流體之重。適等於其物體之重而止。故如舟之浮於水面。氣球之上升空際。皆此理也。

密度之
測定法

按以上定律。吾人可利用之。以助物體密度之測定。按物體之密度 (Density)。乃其物體每體積中之質量。故以其物體之總共體積。除其物體之總共質量。所得之數。即為其物體之密度。(設 v 為總共體積。 m 為總共質量。 d 為密度。則 $d = \frac{m}{v}$ 。) 然物體之總共質量。恆可權而知之。

至物體之總共體積。則有時頗難測定。例如極不整齊之物體是也。然藉以上亞幾默德氏之定律。則無論該物體若何不整齊。吾人亦可設法測定其體積。如將此物體浸入水中。則其所失之重。即等於被其擠去之水之重。此水之重。以每體積水之重(此重可以實驗測定。如每一立方厘米水。爲重一克之類。)除之。則所得之數。即爲被擠去之水之體積。此被擠去之水之體積。亦即爲此物體之體積。故無論其物體若何不整齊。其體積可用此法測定。其體積既可藉此測定。則其密度亦可算得矣。茲試設數問題以明之如下。

(1) 設有一物體。較水爲重。在空氣中權之。爲重 10.5 克。在水中權之。爲重 6.3 克。試求此物體之密度。

解。 此物體在空氣中權時。爲重 10.5 克。其在水中權時。爲重 6.3 克。故被此物體擠去之水之重爲 $10.5 - 6.3 = 4.2$ 克。然每立方厘米水重 1 克。故此水之體積爲 $4.2 \div 1 = 4.2$ 立方厘米。亦即所測物體之體積也。故此物體之密度。爲 $10.5 \div 4.2 = 2.5$ 克。即此物體每立方厘米。爲重 2.5 克也。

(2) 設有一物體。較水為輕。故須繫在一重物上。始可浸入水中。設

物體在空氣中權之為重……………4.8 克

重物在水中權之為重……………10.2 克

物體及重物二者在水中合併權之為重共…8.4 克

設求此物體之密度。

解。 物體在空氣中之重。及重物在水中之重。共為 $4.8 + 10.2 = 15$ 克。然二者在水中時合併之重為 8.4。故物體在水中所失之重為 $15 - 8.4 = 6.6$ 克。此即被物體擠去之水之重也。然 1 克重之水。其體積為一立方釐。故 6.6 克之水。其體積為 6.6 立方釐。即物體之體積也。故此物體之密度。為 $4.8 \div 6.6 = 0.73$ 克。即物體每立方釐。為重 0.73 克也。

(3) 設有一物體。能溶化於水中者。則須另擇一種液體。俾物體在此液體中不致溶化。而後可以測定其密度。設此物體在火酒中不能溶化。而此火酒每一立方釐。試得為重 0.8 克。此物體在空氣中權時。為重 4.8 克。在火酒中權時。為重 3.2 克。問此物體之密度為若干。

解。 此物體在空氣中權時為重 4.8 克。在火酒中權時為重 3.2 克。故被此物體擠去之火酒之重為 $4.8 - 3.2 = 1.6$ 克。然

每立方厘米火酒重 0.8 克。故 1.6 克火酒。共合 2 立方厘米。(即 $1.6 \div 0.8 = 2$) 此物體之體積也。故物體之密度。為 $4.8 \div 2 = 2.4$ 克。即每立方厘米為重 2.4 克也。

按以上所述者。乃固體物質密度之測定法。至液體物質密度之測定法。則共計有三。茲附論之如下。

A. 用比重瓶法 (By specific gravity bottle) 此係一種特製之瓶。其式樣如第一百四十四圖。此種瓶大小共有多種。圖中之所示者。則係在 15°C 時能容 50 立方厘米清水之瓶也。(此外尚有容 100 立方厘米 1000 立方厘米等類者。) 用法。先權此瓶。計重若干。然後滿注以欲測密度之液體。而再權其重。此二重之差。

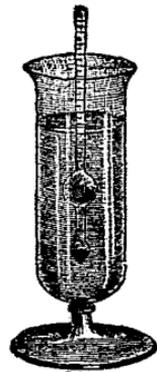


即瓶中液體之重也。此重以瓶之體積除之。 第一百四十四圖
所得之數。即為其液體每體積之重。即其液體之密度也。

B. 用玻璃墜物法 (By glass sinker) 取一玻璃物體。(如玻璃箸一段之類。) 先在空氣中權其重量。然後將其墜入欲測定之液體中。而權其重量。則按亞幾默德氏之定律。此二重量之差。即為被玻璃物體排擠之液體之重。然後再將此玻璃物體墜入水

中權之。而將所失之重量（即被玻璃物體排擠之水之重）。以水之密度（即每體積水爲重若干之數）除之。則所得之數。即爲被擠之水之體積。亦即玻璃物體之體積。亦即前被此玻璃物體排擠之液體之體積也。今若以此體積除前得之被玻璃物體排擠之液體之重。則所得之數。即其液體之密度矣。

C. 用浮秤法 (By hydrometer) 見前第 283 頁。如一物體。輕於液體。（流體之一種）則必上浮。至達被其擠去之液體之重。適等於其物體之重而止。故液體之密度愈大。則物體上浮亦愈高。可知物體上浮之高。可用以測定液體之密度也。科學家即本此理。製成一種物體名浮秤。用以測量各種液體之密度。極爲簡易。如第一百四十五圖。係浮秤之式樣。上端係一刻有度數之玻璃管。下端係一空玻璃球。球底置以水銀或鉛屑之類。以便浮秤得以直立液體中。茲試舉例。以明此秤之用。設此秤置清水中。則浮至 100 度。然置在一種欲試驗之液體中。則浮至 60 度。是可知 60 體積之液體。其重與 100 體積之水相等



第一百四十五圖

也。故每體積之液體。較每體積之水重 $\frac{100}{60} = 1.67$ 倍。然每
 立方糲之水重 1 克。故每立方糲之液體。當重 $1 \times 1.67 = 1.67$ 克。
 即所測液體之密度也。

註。 以上所述之種種密度測定法。已足為初學者之用。
 故此外不再多贅。惟尚有一事。為學者所當注意。即密度名稱
 之外。更有所謂比重 (Specific gravity) 者是也。夫密度乃物體
 每體積中之質量。學者業已明晰。而比重者。則為各種物體之
 密度。與水之密度相比之數也。故設如 d 為一種物體之密度。
 d' 為水之密度。則該物體之比重。即為 $\frac{d}{d'}$ 也。

按用法國之度量衡制。則一立方糲水重 1 克。故 $d' = 1$ 。故 $\frac{d}{d'}$
 $= d$ 。詳言之。即物體之比重。即等於其密度。故用法國制。物
 體比重之數。即其密度之數也。然英國則一立方尺水重 62.4 磅。
 故 d' 不等於 1。故 $\frac{d}{d'}$ 不等於 d 。所以用英國制。則所得物體
 比重之數。與其密度之數不相同也。茲試設一例以明之。例如
 實驗得一立方糲之鐵重 7.4 克。是即鐵之密度。此密度與水之
 密度比較。(即一立方糲水重 1 克) 為 $\frac{7.4}{1} = 7.4$ 。是即鐵之比

重。與鐵之密度 7.4 之數相等也。然若用英國制。則一立方呎之鐵重 461 磅。是即鐵之密度。此密度與水之密度比較。(即一立方呎水重 62.4 磅) 爲 $\frac{461}{62.4} = 7.4$ 。是即鐵之比重。與其密度 461 不同也。(惟學者當注意。用法國制所得鐵之比重爲 7.4。而用英國制所得鐵之比重亦爲 7.4。可知無論用何制度。其所得比重之數均同也。是蓋因物體之比重。實係其重於等體積水若干倍之數。故不論用何國制。均各相同。)

習題

1. 石在水中移動。較在空氣中爲易。試言其故。
2. 試舉亞幾默德氏之定律。此律何以於物體密度之測定。

大有用處。

3. 設有一物體。在空氣中權之。爲重 62 克。在水中權之。爲重 42 克。試求此物體之密度。(參觀第 284 頁問題 1。)

答 3.1

4. 有一物體。較水爲輕。在空氣中權時爲 0.1 克。若繫於一重物而在水中權之。則二者共重 3.375 克。若重物獨在水中權時。爲重 3.5 克。問此物體之密度爲若干。(參觀第 285 頁問題 2。)

答 4 克

5. 有一物體。在空氣中權時爲重 24 克。在火酒中權時爲

重 20.8 克。問此物體之密度爲若干。(每立方釐火酒重 $\cdot 8$ 克。又參觀第 285 頁問題 3。)

答 $\frac{6}{6}$

6. 有一比重瓶。爲重 15.063 克。滿盛以水後。共重 64.485 克。問此瓶之體積爲幾何。又若此瓶滿盛以火酒。則共重 53.462 克。問此火酒之密度爲若干。(參觀第 286 頁用比重瓶法。)

答瓶之體積爲 49.4 立方釐。火酒之密度約爲 $\cdot 8$

7. 設有玻璃箸一段。在空氣中權之。爲重 10 克。在水中權之。爲重 4 克。今若將此玻璃墜入一種液體中權之。則爲重 3 克。問此液體之密度爲幾何。(參觀第 286 頁用玻璃墜物法。)

答 1.17

8. 設一浮秤。置在水中。則浮至 100 度處。今若將秤置在一種液體中。則浮至 75 度處。問此液體之密度爲若干。(參觀第 287 頁用浮秤法。)

答 1.33

9. 有一物體。在空氣中權之。爲 100 磅。在水中權之。重 20 磅。問此物體每立方呎重若干磅(即密度)。又若一立方呎之水。重 62.4 磅。問此物體之比重爲若干。(參觀第 288 頁小註。)

答密度 = 78 磅。比重 = 1.25

10. 有一王冠。吾人但知爲金銀合質所製成。而不知所雜之銀。究爲幾何。此冠在空氣中權之。爲重 985 克。在水中權

之。爲重 918 克。問如試得一立方糲之純金重 19 克。一立方糲之純銀重 8 克。試求此冠中有純金若干。並雜銀若干。

解。此冠在空氣中重 985 克。在水中重 918 克。故被此冠擠去之水爲 $985 - 918 = 67$ 克。故冠之體積爲 67 立方糲也。設 x 爲冠中金之體積。則 $67 - x$ 卽爲冠中銀之體積。然一立方糲之金重 19 克。則 $19x$ 卽冠中金之重量。又一立方糲之銀重 8 克。則 $8(67 - x)$ 卽冠中銀之重量。此金銀二重量之和。必爲冠之重量。故得式如下。

$$19x + 8(67 - x) = 985$$

由此化得

$$x = 40.82$$

故

$$19x = 775.5 \text{ 克。卽冠中金之重量。}$$

又

$$8(67 - x) = 209.5 \text{ 克。卽冠中銀之重量。}$$

IV. 關於空氣壓力之研究

空氣有壓力之證明

空氣包圍於全地球之周。故無處無之。所以關於空氣之壓力。不可不特別研究之也。今欲證明空氣之有壓力。當先證明空氣之有重量。蓋空氣若有重量。則自必有壓力矣。

試驗 83. 取

一有啟閉活塞之大空心球。將球中空氣。用抽氣筒抽去之。如第一百四十六圖右邊所示者。乃閉活塞而懸之於靈敏之天平上。

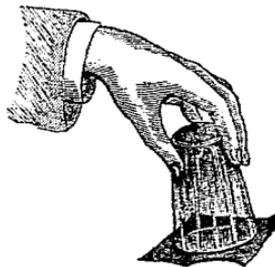


第一百四十六圖

他端加以法碼。使達平衡。今若將球之活塞啟之。則空氣自行入於球內。即見天平失其平衡。而懸球之一端較重。顯明空氣係有重量之物。

由此試驗。既證明空氣係有重量之物。則空氣自必有壓力可知矣。茲試舉數種緊要試驗如下。以明空氣之有壓力。

試驗 84. 取一口邊極平之玻璃杯。滿盛以水。(須極滿至外溢) 然後以一吃墨水紙嚴密覆於其上。而將杯倒執之。(惟倒側時。切不可使水流出。) 如第一百四十七圖。則見紙能緊托杯中之水。而不使下墜。是蓋因空氣之壓力。壓於

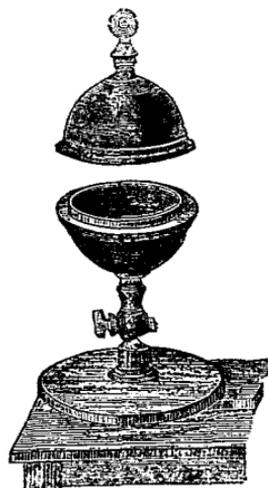


第一百四十七圖

紙上故也。阿多防格可克 1652-1686 德人

試驗 85. 取麥葛得堡球 (Magdeburg hemispheres 所

以名者。因此球係德堡麥葛德地方 Otto von guericke 科學家所製者也。)如第一百四十八圖。此二半球係可以合併而成一球者。當其中有空氣時。極易使之分開。今若將其合併。而用抽氣筒將其中空氣抽去。乃緊閉其活塞而取下。用二手曳之。如第一百四十九圖。則可試得雖用極大之力。亦難使之分開。是蓋因球中無空氣。則球外之空氣壓力。



第一百四十八圖

無球內之力以抵當之。故壓之甚緊。而不易分開也。



第一百四十九圖

空氣壓力
之大小

由上試驗。足以證明空氣之壓力頗大。今試研究空氣之壓力。其大小究爲幾何乎。可先試之如下。

試驗 86. 如第一百五十

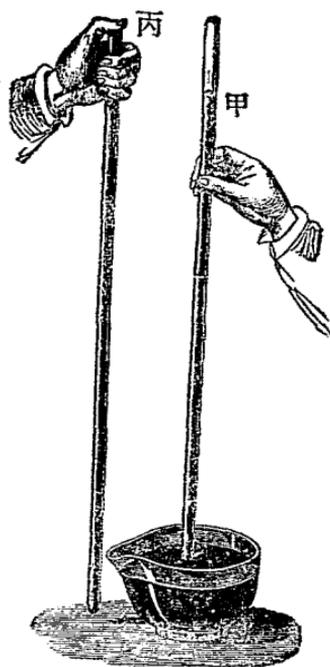
圖。取一長玻璃管。約長 80 釐或 90 釐。管之一端係封閉者。乃以水銀滿灌管中。而以手指緊覆管口。倒執而置於水銀槽中。將手指移去。則見管中水銀下落少許。然至管中水銀面。較管外槽中水銀面高約 76 釐時。(約合 30 英寸) 卽不再行落下。

註。此試驗首爲科學家脫

而昔里 (Toricelli) 所發明。故常

謂之脫而昔里試驗 (Torricellian

Experiment)。1608-47 年



第一百五十圖

此何故歟。蓋當管中水銀下落少許後。管之上端。卽成一無空氣之空地位。(科學家謂之真空 Vacuum) 管外之空氣壓力。無管內之空氣壓力以抵當之。故管中水銀上升。至管中上升之水銀柱之重。適足以抵當管外所受之壓力而止。故吾人若欲求空氣

壓力之大小。祇須求管中上升之水銀柱之重。此重可用 AHd 算之。 (參觀前第 276 頁 $P=AHd$ 之公式)

此處 $H=76$ 糎 (即以上試得之高)。 $d=13.6$ 克 (即水銀之密度。為每立方糎約重 13.6 克。係以實驗試得者)。設 $A=1$ 方糎 (即設水銀柱之底面積為 1 方糎)。則

$$P = AHd = 1 \times 76 \times 13.6 = 1033.6 \text{ 克}$$

詳言之。即每方糎面積上所受之空氣壓力。為 1033.6 克。此數合英國制。約為每方吋所受之空氣壓力為 15 磅。是均謂之一氣壓 (One atmosphere)。按學者當注意。此數為在海平面處之平面壓。蓋科學家屢經試驗之後。知在海平面時。管中水銀上升之高。平均計之。始約為 76 糎。然若在山頂高處試之。則水銀上升之數為較少。且愈高則愈少。蓋愈高則空氣之壓力愈小。其故有二。一因前第 274 頁所言流體向下壓力之大小。與流體之深成正比例。今愈高則空氣之深愈減。故壓力亦愈小。一因離地面愈遠處。空氣之密度。漸較近地

面處爲稀。故愈高則空氣之壓力愈小也（參觀第 275 頁流體壓力之大小。與流體之密度成正比例）。科學家以實驗試得。凡每離海平面高 12 米。則水銀柱降低約一耗。或以英制計之。則每高 90 英尺。水銀柱降低約 0.1 英寸也。

氣 壓
表

由此觀之。管中水銀柱之高低。因空氣壓力之大小而異。故視水銀柱之高低。吾人可知空氣壓力之大小。氣壓表 (Barometer) 即藉此理而製成者也。其式樣共有多種。第一百五十一圖。則係一種簡單式樣之氣壓表也。此表係一端封閉之彎曲玻璃管所製成。中置水銀。左邊一臂之上端。係真空。故空氣壓於右邊臂中之水銀面。則左臂中之水銀上升。壓力愈大。則上升亦愈高。此高可在管端後面所



第一百五十一圖

附之糞數尺上讀之。例如設左邊管中之水銀面在 75 上。意即當時之空氣壓力。可支持水銀柱高 75 糞也。

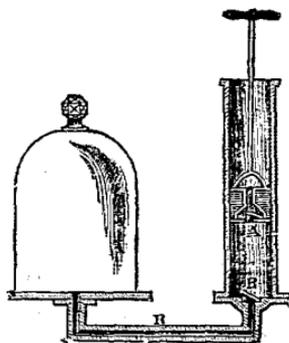
按此種氣壓表。極為有用。不獨可以隨時測知空氣壓力之變動。且可藉此預知天之將晴或將雨。蓋由閱歷上試得。天雨時。氣壓表之水銀常較低。若一旦忽升高。則可預知天之將晴矣。又天晴時。氣壓表中之水銀常較高。若一旦忽降低。則可預知天之將雨矣。是蓋因水氣較空氣為輕。天雨時。空氣中雜水氣太多。故壓力較小。而水銀降低。今若下雨已多。則空氣中之水氣減少。故壓力較大。所以天晴或天將晴時。氣壓表之水銀常升高。由此觀之。氣壓表之可預知晴雨。非奇事也。故氣壓表亦可謂之晴雨表。

又氣壓表更可為測量某處離海平面若干高之用。前²⁹⁶頁言凡每離高 12 米。則水銀柱降低

約一耗。設如氣壓表在海平面時爲 76 糵。而在一高山上則爲 68 糵。可知水銀共降低 8 糵(即 76-68)。即合 80 耗。前言每離高 12 呎。水銀降低 1 耗。故水銀降低 80 耗。則離高當爲約 960 呎也。詳言之。即此山之高。離海平面爲 960 呎也。

各種
唧筒 以上之氣壓表。爲一種藉空氣壓力所製成之有用器具。考此外尙有數種有用之器具。亦藉空氣之壓力以製成者。如各種之唧筒(Pumps)是也。茲試分別述之如下。 650年發明

(I) 抽氣筒(Air pump)。此筒爲抽去空氣之用。如第一百五十二圖。可以說明其要理。左邊爲一鐘罩。右邊爲一圓筒。罩與筒以 R 管通連之。筒之下端。有一舌門 B。係祇



第一百五十二圖

能向上開者。筒中有一活塞。塞上亦有一祇能向

上開之舌門^A。設今欲將左邊鐘罩中之空氣抽去。法可將右邊筒中之活塞。上下抽動之。則空氣即可漸被抽出。蓋當活塞上升時。上面空氣之壓力。使^A舌門關閉。故上面之空氣。不能入至^A下。而^A下之空氣。則因活塞上升。故變為稀少。於是罩中之空氣。即得漸漲。經過^R管而由^B舌門入於活塞下。當活塞下壓時。則活塞下之空氣忽被壓縮。故^B舌門被壓閉。而^A舌門被壓開。此空氣即由^A舌門抽出。如此活塞屢次上下。則空氣逐漸抽出。故罩中之空氣。可漸被減少也。

註。 如欲將一物體中之空氣抽去。可將此物體置鐘罩中。則罩中空氣被抽去。此物體中之空氣。亦自被抽去矣。

(2) 壓氣筒 (Condensing pump)。壓氣筒之作用。適與抽氣筒相反。蓋係將空氣壓入一器具中也。吾人若使第一百五十二圖中之^A、^B二舌門。均變為向下開。則即變為壓氣筒之作用。如第一百五十三圖所示者是也。將一器接於^R管之端。而將

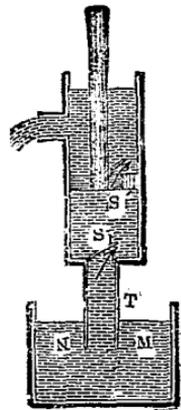
筒中之活塞上下之。則空氣即可壓入器中。蓋活塞上升時。^A 舌門即向下開放。而外面之空氣入筒中。活塞下降時。筒中空氣被壓緊。故 ^A 舌門即彼壓閉。而 ^B 舌門即被壓開。故空氣即由 ^R 管壓入器中。活塞再上升時。筒中空氣復稀淡。器中較濃之空氣。因壓力較大之故。即將 ^B 舌門壓閉。而筒外之空氣。復入於筒中。如此活塞屢次上下。則空氣逐漸壓入器中矣。按此種唧筒。亦極有用。例如將二氧化碳氣之壓入荷蘭水中。或將空氣壓入煤火爐使起猛烈之燃燒等事。皆藉此筒之作用也。



第一百五十三圖

(3) 抽水筒 (Water pump) 如第一百五十四圖。可以釋明其要理。^{MN} 為所欲抽去之水。抽水筒管之下端。即浸入此水內。筒之底有一向上開之舌

門 S。筒中活塞上。亦有向上開之一舌門 S'。若將活塞上下抽動。則 MN 水即可逐漸抽去。蓋活塞上升時。活塞下筒中之空氣。變為稀少。故 MN 水面上之空氣壓力。即將水由 T 管壓上。將 S 舌門壓開。而入於筒中。活塞下降時。活塞下之水受有壓力。



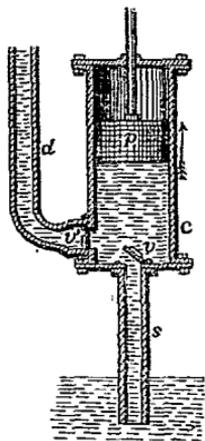
第一百五十四圖

故 S 舌門被壓閉。而水即由 S' 舌門出至筒上。當活塞再上升時。筒上之水。即被活塞提起。由左邊之管中流出。而 MN 之水。復升至活塞下。如此活塞屢次上下抽動。則 MN 之水。均可抽去矣。

註。前試驗 86。試得尋常空氣之壓力。足以支持水銀柱約高 30 英寸。然水較水銀約輕 13 倍。則可知空氣之壓力。當可支持水柱約高 $30 \times 13 = 390$ 英寸 = 約 32 英尺也。故若第一百五十四圖中抽水筒之底 S 處。離 MN 水面太高。致過於

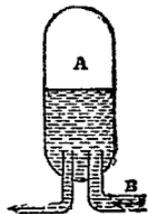
32 英尺。則 MN 面所受之空氣壓力。不足以使水升至 S 以上。故抽水筒即不能將水抽出矣。由是觀之。若欲用抽水筒將水抽起。則筒底離水面。切不可高過於 32 英尺。

(4) **壓水筒** (Force pump)。此筒之要理。可以第一百五十五圖釋明之。 v 及 v' 爲二舌門。 v 係向上開者。 v' 係向 d 管開者。當活塞 P 上升時。 P 下之空氣即稀少。故 v' 舌門被由 d 管入來之空氣壓閉。而 v 舌門被 s 管中上升之水壓開。此水即入活塞下之筒中。當活塞下降時。 v 舌門被壓閉。而 v' 舌門被壓開。此水即由 d 管中上射。如 d 管上通空氣。則此水即高射至空中。可爲救火等之用。若 d 管上有活塞。則此活塞上升之力甚大。故可利用之以作有用之工。如前第一百三十七圖之水壓機是也。



第一百五十五圖

註。學者須注意。當以上 p 活塞下降時。則 d 管中之水上升。至活塞上升時。則 d 管中之水。即停止上升。須待 p 活塞再下。而後 d 管中之水始再上升。故上射之水。忽斷忽續。於救火之用。頗不完美。蓋救火之水。最好能繼續不斷也。茲欲達此目的。須使 d 管之水。先通入一空氣室 (Air dome)。如第一百五十六圖。此室之出水管 C。較入水 B 管為小。故當壓水機之活塞下降時。水即由 B 管入室中。將室中之空氣壓縮。此壓縮之空氣。即生反動力。而將水由 C 管壓出。然 C 管既較 B 管為小。則由 C 管射出之水。不若由 B 管壓入之水之多。故當壓水筒活塞上升時。C 管中之水。仍在射出也。待活塞再下降時。水復壓入室中以補足之。故藉空氣室之作用。則 C 管中射出之水。可繼續不斷矣。



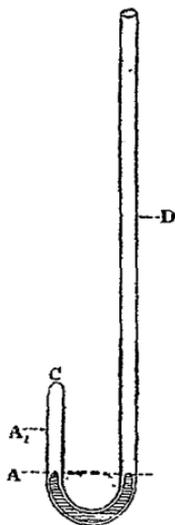
第一百五十六圖

附波以耳氏之定律及空氣之浮力

以上所述關於空氣壓力之種種要點。已足為初學者之用。茲末將波以耳氏之定律。及空氣之浮力二者附考之。蓋此二者。亦為初學者所當知也。

(A) 波以耳氏之定律 (Boyle's law)。按氣體係可以壓縮之物體。故施以壓力。則其體積即縮小。且壓力愈大。則其體積之縮小亦愈甚。然則所施壓力之大小。與體積縮小之多寡。有何一定之關係乎。可先試之如下。

試驗 87。如第一百五十七圖。取一曲玻璃管。此管之短臂端係關閉者。而其長臂端則否。乃將水銀由長臂口漸漸傾入管中。至短臂中之水銀面。與長臂中之水銀面等高而止。如是則 CA 中之空氣所受之壓力。等於當時空氣之壓力。此 CA 空氣之體積為幾何。可以測量 CA 之長短而知之。至當時空氣壓力之大小。則可觀氣壓表而知之。(參觀前第 296 頁) 乃再將水銀加入管中。使長臂中水銀面。較短臂中水銀面為高。且所高之數。適等於當時氣壓表中水銀柱之高而止。如是則短臂中空氣所受之壓力。較前多一倍。然吾人現今若再將短臂中空氣體積量之。則知較前適少一半。



第一百五十七圖

由此試驗。可知氣體積之大小。與其所受之壓力適成反比例。是之謂波以耳氏之定律。故設如受 P 壓力時之體積為 V 。而受 p 壓力時之體積為 v 。則按此定律。氣體積之大小與其所受之壓力適成反比例法。即得 $V : v :: p : P$ 之式。此式或可書之如下。

$$VP = vp$$

茲試設一題以明此公式之用。例如設有一氣體。所受之空氣壓力為 740 耗。(可以觀當時氣壓表中水銀柱之高低而知之。)則量得其體積為 500 立方糎。問若空氣壓力變為 750 耗。則此氣體之體積當為若干。

解。 $VP = vp$ 。此處 $V = 500$ 立方糎。 $P = 740$ 耗。
 $p = 750$ 耗。

$$\text{故 } 500 \times 740 = v \times 750$$

$$\text{故 } v = \frac{500 \times 740}{750} = 493.3 \text{ 立方糎}$$

習題 1. 有一氣體。受 氣壓之壓力時(見前第 295 頁)。其體積為 5000 立方糎。問當氣壓表水銀柱高 73 糎時。其體積當

變爲若干。

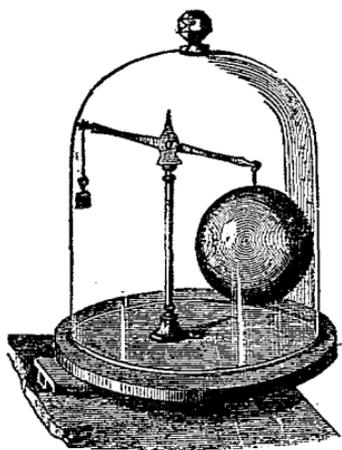
答 5205.4 立方糎。

習題 2. 問如一氣體。當其體積爲 50 立方糎時。所受之空氣壓力爲 70 糎。問如其體積變爲 60 立方糎時。其所受之壓力。當爲若干。

答 58.33 糎。

(B) 空氣之浮力 (Buoyancy of air)。以上既考波以耳氏定律。茲更將空氣之浮力附考之。前第 281 頁。言流體有上浮之力。空氣既係流體之一種。則自必亦有上浮之力。可試之如下。

試驗 88. 取一大薄空球。懸於天平之一端。天平之他端。懸一銅鉛等所製之小重物。使天平得以平衡。今若將其移置於一抽氣筒之罩中。而將罩中之空氣抽去之。則見懸球之一端下墜。而天平失其平衡。如第一百五十八圖。顯明懸球之一端。實較他端爲重。其在空氣中時。所以能與他端之重物平衡者。則因球之體積較大。故所受空氣上托之力(即



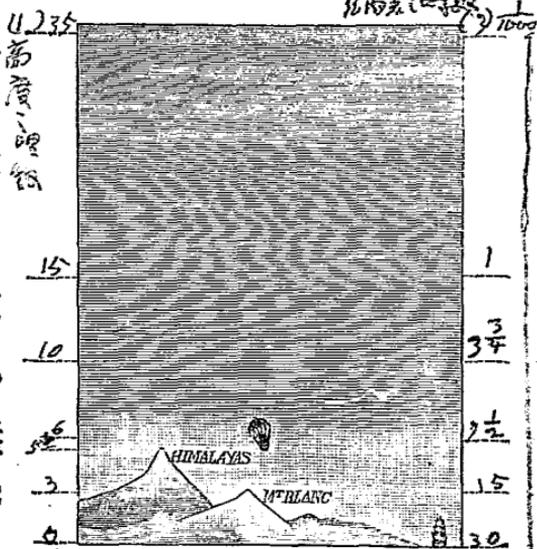
第 百五十八圖

浮力) 亦較大故也。今一旦將上托之力除去。則較重之球。自必向下墜落矣。

由上試驗。可知空氣有浮力無疑。空氣既有上浮之力。故若有一物較空氣為輕。則空氣上浮之力。自必較此物之重為大。故此物即可上升空際。

考氣球(Balloon) 之作用。即藉此理而成。以一大囊中盛較空氣為輕之氣。(如輕氣 Hydrogen 或一氧化炭氣 (carbon monoxide 之類。)) 則此球即可上升。故球下若以

線懸一籃。則人即可坐籃中而一同上升矣。如第一百五十九圖。按空氣愈高則愈稀。故球升愈高。則所受之空氣壓力愈小。(參觀第 296 頁) 壓力既小。



第一百五十九圖

空氣愈高愈稀
(13) 10000
30000

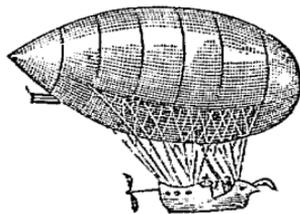
1/30
1/4
1/2
1

則球即漲大。故所受空氣之浮力亦愈大。(理見前第 283 頁亞幾默德氏之定律。) 以致愈升愈高。且球囊常有漲裂之慮。欲免此患。其法有二。即一則起初時。球中盛氣切不可過多。以備上升漲大之地步。一則升至高處時。須相機將氣門開放。以便漏出多餘之氣。若漏出過多。則浮力大減。而球可復行下降矣。

註。 初時氣球尙未完善。並無駕駛之機關。故上升後。

不能自由駕駛。須乘風之方向而進。後來發明可以駕駛之氣球 (Steerable balloon)。如第一百六十

圖。法將氣球改爲橄欖式。且球端懸以一舵。而懸器之一尾。裝一如輪船上所用之螺旋推進機。以機器急速旋轉之。



則可進行自如矣。惟此種可以駕駛之

第一百六十圖

氣球。仍係輕於空氣。近來更有所謂飛艇者 (Flying machine)。則其身實較空氣爲重。如第一百六十一圖所示者。係飛艇之一種形狀也。然此種較空氣爲重之器。何以亦能在空氣中飛行乎。其理可以風箏斷線時之作用明之。按風箏係較空氣爲重之物。

當其放在空際時。若其線忽斷。則此風箏能依一種斜平面 (Aero-

plane)。而漸漸溜下。且

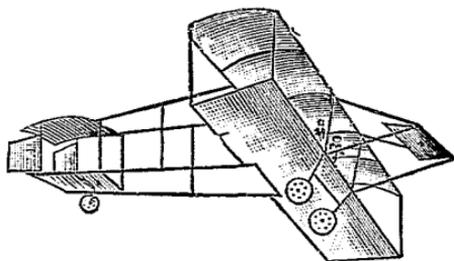
能保持其平衡。而並不

直墜而下。今若能當風

箏依斜平面向下溜時。

吾人依此斜平面施以一

種向上之力。則此風箏



第一百六十一圖

當可不溜下。若此向上之力。較風箏下溜之力為大。則此風箏

非但可以不溜下。且可使之上升矣。飛艇之作用。即係此理。

其施力之物。即其以機器力急速轉動之螺旋葉也。

習題

1. 空氣有壓力。何以證之。又此種壓力之大小。可用何法以測定之。

2 如每方呎面積上所受空氣壓力為 1000 克、問此壓力可支持水銀柱高若干。

解。 $P = AHd$ 。此處 $P = 1000$ 克 $A = 1$ 方呎。 $d = 13.6$ (即水銀之密度)。

$$\text{故 } 1000 = 1 \times H \times 13.6$$

$$\text{故 } H = 74 \text{ 呎}$$

3. 設有一種油。其密度為 915 。如當時之空氣壓力為每方
 糎 900 克。問此壓力可支持此油柱若干高。 答 983.6 糎。

4. 在海平面處。空氣壓力之酌中數。考得為每方糎 1036.32
 克。又考得一立方糎之空氣重 0.00129 克。問如作地面上空氣之
 密度。並無稀濃之差。則地面上之空氣。共有若干高。

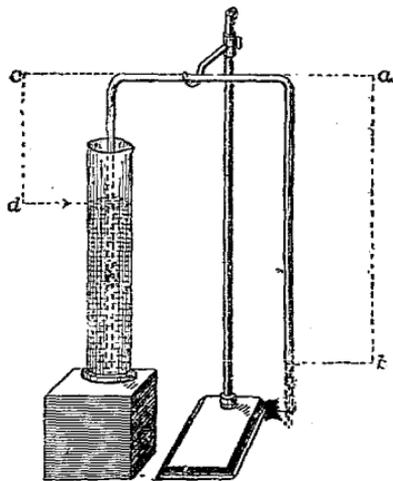
答。約高 8.03 杆 (Kilometers)。合英里約五里。

5. 氣壓表何以能預知天時之晴雨。試言其故。

6. 如氣壓表在海平面時為 75 糎。移至一高山上時。則為
 60 糎。問此山約為若干高。(參觀第296頁) 答 1800 米。

7. 試將抽水筒之作用釋明之。又抽水筒如離水面之高。過
 於 32 英尺。何以即不能將水抽起。

8. 若將一玻璃管彎曲
 之。使二臂長短不等。管中
 滿盈以水。以二指覆其二端。
 而以短臂端浸入一玻璃筒之
 中。則去指後。長臂端水。
 能外流不斷。如第一百六十
 二圖。試言其故。按此種器
 具。謂之虹吸管 (Siphon)



解。 設以 p 為各臂

端所受之向上空氣壓力。則

第一百六十二圖

$p-cd$ 水柱向下之重。爲短臂中向上之結果力。而 $p-ab$ 水柱向下之重。爲長臂中向上之結果力。然 cd 較 ab 爲小。則 $p-cd$ 。自較 $p-ab$ 爲大。詳言之。即短臂中向上之結果力。較長臂中向上之結果力爲大。故水可自短臂流至長臂。須待二臂中水柱等高時。則二面向上之結果力相等。而水即不復自一臂流至他臂矣。

9. 有一氣體。當其受 63 厘空氣壓力時。其體積爲 10 立方厘。問如其體積變爲 9 立方厘時。空氣壓力。變爲若干。

答 70 厘。

10. 氣球何以能上升。上升後如欲其下降。當用何法以致之。

11. 較空氣爲重之飛艇。何以亦能設法使之上升。試言其理。

註。 本流體力學章既終。教師當設爲種種問題。使諸生對答。以資溫習。

$$v_1 = \int_1^3 v_0 = v_0 t_2^3$$

$$v_2 = v_1(1+Bt) = \int_1^3 (1+At)^3$$

$$= v_1 (1+At)^3$$

等

$$= v_1 (1+3At+3A^2t^2+A^3t^3)$$

$$v_1(1+Bt) = v_1(1+3At+3A^2t^2+A^3t^3)$$

$$1+Bt = 1+3At+3A^2t^2+A^3t^3$$

约去

$$\therefore \underline{B = 3A}$$

熱 學

H E A T

第 六 章

熱 學 (Heat)

考熱學包含頗廣。吾人爲便利起見。可分爲數節研究之。卽 (I) 熱與物體漲縮之關係。(II) 比熱之測量法。(III) 熱與物體變態之關係。(IV) 熱之傳佈。(V) 熱與工作之關係。

茲將以上各節。分別研究其大要如下。

I. 熱與物體漲縮之關係

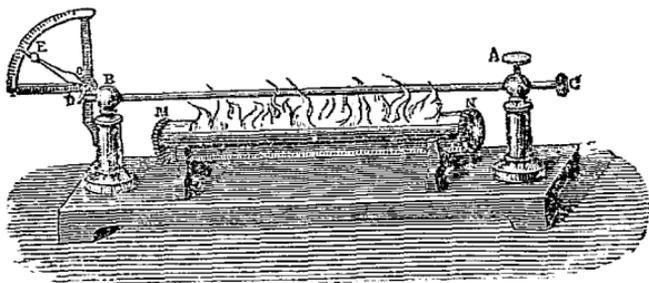
(Heat and Expansion)

物體漲縮
之試驗

考物體遇熱則常漲。遇冷則常縮。凡固體液體及氣體。莫不如此。可分別試之如下。

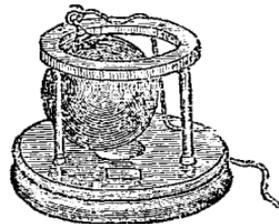
試驗 89. 如第一百六十四圖。取一金類所製之桿 C。橫插於架之二柱中。一柱上以螺旋 A 旋緊之。使桿不克移動。而他柱上則否。桿之左端。觸於一指針之短臂上。如 D。以便桿漲大時。將短臂 D 推動。因而使長臂 E 起明顯之移動也。如是則桿之漲縮。極易顯見。今若將 MN 火酒器具燃點之。則桿卽受熱。吾人卽可見 E 針向上移動。可知桿遇熱而漲也。今若將火

酒燈移
去。稍
待則見
B 針復
向下移
動。可



第一百六十四圖

知桿冷而復縮也。又如第一百六十五圖。
名爲葛氏球圈(Grave sande's ring)。此
球係金類所製。在平常之熱度時。適能
在圈中經過。今若將此球置熱水中熱之。
而後再置於圈上。則不復能落下。顯見
此球因熱而漲大也。然及其冷後。則復能落下。可知球冷而復
縮也。



第一百六十五圖

試驗 90 取一鐵片。及一銅片。疊置之。以數釘將其

釘在一處。如第一百六十六圖之(1)。



今若以火酒燈在其中間熱之。則見
此片漸漸彎曲。如圖中之(2)。銅在
其凸面處。而鐵在凹面處。可知銅



第一百六十六圖

鐵二金類之漲大不同。銅之漲大。較鐵爲多。

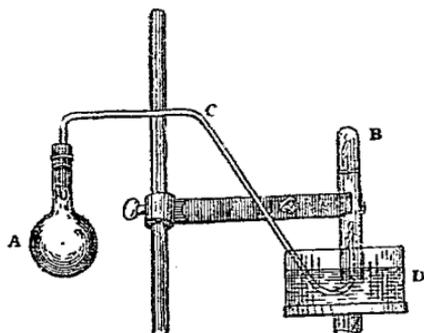
由上種種之試驗觀之。可知固體熱則漲大。冷則縮小。至其漲縮之多寡。則因各種物體而異。惟科學家研究之後。知像皮及碘化銀 (Silver iodide 係一種化學品)。有時不依此定律。蓋在一定之界限內。此二者能遇熱而縮。遇冷而漲也。

試驗 91. 取直徑相等之細玻璃管數箇。管之一端。均係關閉者。各管中盛以各種不同之液體。如水、火酒、蜜糖等類。各高均 15 釐。又各液體中。各加紅顏色少許。以便觀看。今若將各管下端。同時浸入熱水中。則見各管中。各液體均漸上升。而其數則不等。今若將各管下端。置在冰中。則見各液體下降之數亦不等。

由此試驗。可知液體亦遇熱而漲。遇冷而縮。至其漲縮之多寡。則亦因各液體而異。惟亦有數種液體。在一定之界限內。遇熱而不漲者。例如水由 0°C 熱至 4°C 時。非但不漲。且反縮小是也。然在 4°C 以上。則遇熱而能漲矣。

試驗 92. 裝配器具如第一百六十七圖。A 爲玻璃瓶。C 爲玻璃曲管。瓶與管之中。均係空氣。U 管之一端。浸於 D 槽

之水中。乃將一刻有度數之玻璃試管 B。滿盛以水。以手覆其口。而側置於槽中 C 管之口上。如是則去手而管中水不落下。(其理與前第 294 頁試驗 86 相同)



第一百六十七圖

今若將 A 瓶浸於熱水中。則瓶中之空氣漲大。由 C 管上放出。而入於 B 管中。將水壓下少許。可在 B 管上讀明其中氣體積為若干度。乃將 A 瓶中易以他氣。如煤氣之類。照前法試之。則可試得 B 管中所聚之氣體積。每次均各相等。而不以所用氣之不同而異也。

由上試驗。可知氣體亦遇熱而漲。然各種氣體之漲度。大概相等。無甚大差。此氣體之特異處也。

寒暑
表

由上可知。物體遇熱則漲。遇冷則縮。且愈熱則愈漲。而愈冷則愈縮。然則視一物體在二時漲縮之多寡。而可以知何時為較熱矣。例如一玻璃管之水銀。置在空氣中。若今日

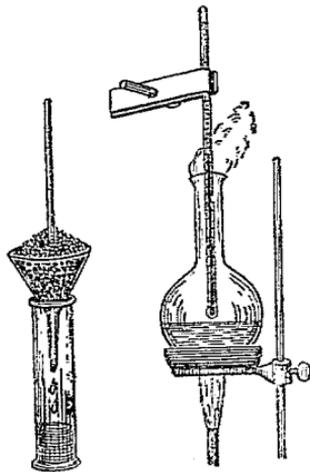
之升漲。較昨日之升漲爲多。則即可知今日之天氣。較昨日爲熱。又如將此水銀管置甲乙二玻璃杯之水中。若在甲杯時。其升漲之數。較在乙杯時爲多。則可知甲杯之水。較熱於乙杯矣。此種比較之冷熱。謂之熱度 (Temperature 學者須知物體熱度之高低。與其物體中熱量 Quantity of heat 之多寡有別。例如一杯中之水。可較熱於一池中之水。故杯中之水。其熱度較池中之水爲高。然若將一池之水所含之熱之總量。與一杯之水所含之熱之總量比較。則自一池之水所含之熱量爲較多矣)。

寒暑表者 (Thermometer)。即一種測量熱度高低之器具也。尋常之寒暑表。係用水銀爲漲縮之物體。將水銀盛於一細玻璃管之下部中。如第一百六十八圖。則水銀柱漲時上升。縮時下降。觀其下降之數。而可以知熱度之高低矣。今將此種水銀寒暑表之製造法。述其大要如下。

擇一直徑均勻之細玻璃管。其下端須吹成一泡式者。先將此管熱之。則其中空氣漲大。故管中一部分之空氣被驅出。乃將此管倒置於水銀中。則冷後管中空氣復縮。而少許之水銀。即

升入管中。乃將此管直置而熱之。則管中一分部之水銀蒸出。將管中之空氣驅出。然後速用吹火筒將管口封閉。如是則管中水銀面上係真空矣。

以上既將水銀封閉在管中。則第一步之事畢。至第二步。則須設法在此玻璃管上刻度數。以便測量管中水銀升降之數。法先將此管下端。置在冰中。如第一百六十八圖之(1)。待數分鐘後。看明管中水銀面在何處。即在此處管外刻一畫以記之。是之謂冰點 (Freezing point)。乃將管移至水之沸蒸汽中。如圖中之(2)。待數分鐘後。看明管中水銀面在何處。即在此處管外刻一畫以記之。是之謂沸點 (Boiling point)。既得此管之冰點及沸點。然後可將冰點與沸點中之距離。平均分為若干小段。每一小段。謂之一度 (Degree)。如



(1)

(2)

是則一寒暑表成矣。

第一百六十八圖

按寒暑表冰點與沸點中之距離。究竟分為若干度。其法亦不一。常用者。共計有三。(1)攝氏表 (Centigrade) 將冰點與沸

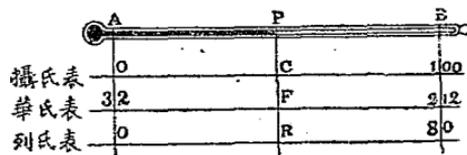
742 攝氏。 Celsius 1701-44 瑞典

點間之距離。共分爲一百度。零度爲其冰度(簡書之爲 0°C 。此C字。即指明係攝氏表)。而百度爲其沸點(簡書之爲 100°C)。此表於科學中最爲通用。(2)華氏表(Fahrenheit)將冰點及沸點間之距離。共分爲一百八十度。其冰度並不寫爲零度。而寫爲32度(簡書之則爲 32°F)。故其沸點爲212度(即 $32+180=212$ 。簡書之。爲 212°F)。是蓋因當華氏製此表時。以雪與氯化銻(Ammonium chloride)之混合物之熱度爲零度。而不以清水結冰時之熱度爲零度。蓋華氏以爲雪與氯化銻混合物之熱度。爲熱度中之最低者也。(然其後科學家考得尙有較此熱度爲低者。)然雪與氯化銻之混合物之熱度。較清水結冰時之熱度爲低。照華氏表分度法計。共低32度。故若以雪與氯化銻之混合物之熱度爲零度。則照華氏分度法。冰度自必在零度上32度處。而沸點自必在零度上212度矣。此表在英語之國中。最爲通用。(3)列氏表(Réaumur)將冰點與沸點間之距離。共分爲八十度。零度爲其冰度(簡書之爲 0°R)。八十度爲其沸度(簡書之爲 80°R)。此表在歐洲大陸上居家常用之。

由上可知。寒暑表之通用者。共有三種。即攝氏表華氏表及列氏表是也。此三表上之分度法。各不相同。然則若欲將由一種表上所得之熱度。合

爲他種表上相當之熱度。有何一定之公式可用以便合算乎。曰有。可

求之如下。第一百六十九圖。AB爲一



寒暑表。A爲冰點。

第一百六十九圖

B爲沸卽。在攝氏表上。AB=100度。在華氏上。AB=180度。在列氏表上。AB=80度。又P爲表中水銀面所在之一點。設以C代表此點在攝氏表零度以上之度數。F代表此點在華氏表零度以上之度數。R代表此點在列氏表零度以上之度數。則在攝氏表上。AP=C。在華氏表上。AP=F-32。在列氏表上。AP=R。故 $\frac{AP}{AB}$ 之比。在攝氏表爲 $\frac{C}{100}$ 。在華氏表爲 $\frac{F-32}{180}$ 。在列氏表爲 $\frac{R}{80}$ 。此 $\frac{C}{100}$ ， $\frac{F-32}{180}$ ， $\frac{R}{80}$ 既各等於 $\frac{AP}{AB}$ 。故

$$\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180} = \frac{R}{80}$$

既得此公式。則即可將一種表上所得之熱度。合爲他種表上相當之熱度矣。試設數題以明之。

1. 設一杯之水。以華氏表測之為 68 度。問如以攝氏表測之。當為幾度。又以列氏表測之。當為幾度。

解。 因 $\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180}$ 此處 $F=68$

故 $\frac{C}{100} = \frac{68-32}{180}$

此式簡之。即得 $C=20$ 。即在攝氏表上為 20 度也。

又因 $\frac{F-32}{180} = \frac{R}{80}$ 故 $\frac{68-32}{180} = \frac{R}{80}$

此式簡之。即得 $R=16$ 。即在列氏表上為 16 度也。

問攝氏表之 50 度。合華氏表幾度。又合列氏表幾度。

某人 1842 年

答 122° F, 40° R

3. 科學家提氏 (Deward)。將固體之輕原質。使之蒸發。則得極低之熱度。為在攝氏表零度之下 264 度 (簡書之為 -264° C)。問此在華氏表足當合幾度。

答 -443.2° F (即在華氏表冰度下 443.2 度也)。

物體之
漲率

物體因熱而漲因冷而縮之作用。可利
用之以製寒暑表為測量熱度之用。學者
既已詳明之矣。今試將物體漲縮之多寡。與熱度
之關係研究之。即每增一度。則每單位之物體共
漲若干分也。是之謂漲率 (Coefficient of expansion)。

標準溫度以 0°C 為準
手寫：漲率平局 = 係
三本三係

考物體之漲。共有三種。即長短之漲。面積之漲。及體積之漲。故漲率亦有三種。即長短之漲率 (Coefficient of linear expansion)。面積之漲率 (Coefficient of superficial expansion)。及體積之漲率 (Coefficient of Cubical expansion)。長短之漲率。即一物體增高熱度一度時。所增之長。與其物體原長之比也。面積之漲率。即一物體增高熱度一度時。所增之面積。與其物體原面積之比也。體積之漲率。即一物體增高熱度一度時。所增之體積。與其物體原體積之比也。茲試將固體液體及氣體三種物質漲率之大要。分別述之如下。

(A) 固體之漲率。欲求固體物質之漲率最易者。為測其長之漲率。蓋固體之長短。最易測量也。設一金屬桿。在 t_1 度時量得其長為 l_1 今將熱度增至 t_2 度時。得其長為 l_2 則 $t_2 - t_1$ 為所增之熱度。 $l_2 - l_1$ 為所增之長。故 $\frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1}$ 為此桿每增熱一度時所增之長也。故按以上長之漲率之界說。此與

$$\text{伸縮 } B = \frac{v_2 - v_1}{v_1 t} \quad v_2 = v_1 (1 + Bt)$$

數桿原長 l_1 之比 (即 $\frac{l_2 - l_1}{l_1} \div t$)。即其桿長之漲率也。設以 t 爲所增之熱度 (即代 $t_2 - t_1$)。A 爲長之漲率。則得長之漲率公式如下。

$$A = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t} \quad l_2 = l_1 (1 + At)$$

茲試設數題以明之。

(1) 設有一金類桿。在 0°C 時長 2.3 米。而在 100°C 時。則長 2.3027554 米。問此桿長之漲率爲幾何。

解。因 $A = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t}$ 此處 $l_2 = 2.3027554$ 米。 $l_1 = 2.3$ 米。
 $= 100 - 0 = 100$ 。

$$\text{故 } A = \frac{2.3027554 - 2.3}{2.3 \times 100} = 0.00001198$$

(2) 有一鑄鐵所製之桿。在 18°C 時爲長 5 英尺。在 100°C 時爲長 5.0046 英尺。問此鑄鐵之長之漲率爲若干。

1/219
答 0.00601127

茲將科學家考得數種緊要固體物質長之漲率。

列表如下。

鋁 (Aluminium) ...	0.000023	鉛	0.000029
黃銅 (Brass)	0.000018	白金 (Platinum)	0.000009
銅	0.000017	銀 ... :	0.000019

黃金.....	000014	鋼.....	000011
玻璃.....	000009	錫.....	000022
鐵.....	000012	鋅(Zinc).....	000029

註。凡固體物質。既得其長之漲率。則其面積漲率及體積漲率。極易算出。蓋面積漲率。係長之漲率之二倍。而體積漲率。則長之漲率之三倍也。

(B) 液體之漲率。液體物質漲率之測定法。最易者。

係用第一百七十圖之玻璃器。其細管之直徑係已知者。乃將所欲測知漲率之液體。置於此器中。而考其在某熱度時。管中液體面係在何度。其後更在較高之熱度時。考此液體



上升若干。如是則此液體之漲率。第一百七十圖可以算知矣。吾人若將水置此器中試之。則可試得在 4°C 時。水之體積為最小。當熱度由 4°C 降至 0°C 時。水顯一特異之性。即其體積反因冷而漲大也。

1746-1823 法人

(C) 氣體之漲率。科學家查爾氏 (Charles) 考得凡

◎各種氣體之漲率。均約相等。即凡增 1°C 。其體積均增加約原體積之 $\frac{1}{273}$ 是之謂查爾氏之定律 (Charles law)。此 $\frac{1}{273}$ 約合 0.003665。是即各種氣體積之漲率也。

按吾人既知此體積之漲率。即可用之以得一極有用之公式。以之推算氣體積與熱度之關係。極為簡便。故茲特附論之如次。設 V 為一氣體在 0°C 時之體積。則在 1°C 時。其體積當為 $V + \frac{1}{273}V$ 。在 2°C 時。其體積當為 $V + \frac{2}{273}V$ 。此外以此類推。故設 t 為所在熱度之數。則該氣體之體積為 $V + \frac{t}{273}V$ 。亦可寫為 $V \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ 。設以 v 為應得體積之數。則得公式如下。

$$v = V \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

茲試設數題。以明此公式之用。

(1) 設有一氣體在 0°C 時。其體積為 10 立方呎。問在 15°C 時。其體積當變為若干。

解。 $v = V \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ 。因此處 $V = 10$ 立方呎。 $t = 15^{\circ}\text{C}$ 。

$$\text{故 } v = 10 \left(1 + \frac{15}{273} \right) = 10.5 \text{ 立方糎。}$$

(2) 設有一氣體。在 20°C 時。其體積為 750 立方糎。問在 0°C 時。其體積當為若干。

解。因 $v = V \left(1 + \frac{t}{273} \right)$ 。此處 $v = 750$ 。 $t = 20$ 。

$$\text{故 } 750 = V \left(1 + \frac{20}{273} \right)。$$

由此算出。 $V = 698.8$ 立方糎。

(3) 設有一氣體。在 0°C 時。其體積為 100 立方糎。問在 20°C 時。其體積當為若干。 答 107.32 立方糎。

II. 比熱之測量法

(Measurement of specific heat)

以上既述熱與物體漲縮關係之大要。今將比熱之測量法考之。

考物體之熱度改變。則其熱量 (參觀第318頁) 亦隨之而改變。故若欲使熱度增高一度。則必加以熱量。若欲熱度減低一度。則必放出熱量。今吾人若欲測量物體之熱度。每改變一度。則其熱量改變若干。吾人須先定一量熱之標準 (Unit of heat)。

科學家以凡使一克重之水。改變其熱度一度。所需之熱。爲量熱之標準。謂之一加路里 (Calorie)。
故設如一克重之其他物質。欲將其熱度改變一度。所需之熱。若二倍於此。則所需之熱爲二加路里也。若三倍於此。則所需之熱。爲三加路里也。此外以此類推。此種每克重之各物質。各改變熱度一度。所需熱量與水一克改變熱度一度所需之熱量相比。謂之比熱 (Specific heat)。例如欲一克重之水增加一度。則需¹加路里。欲一克重之水銀增加一度。則祇需 0.0333 加路里。故¹爲水之比熱。而 0.0333 爲水銀之比熱也。今試舉一例。以明此熱測定法之大要如下。

取鉛彈 100 克。置一試管中。將管浸於沸水中。(須小心勿使沸水入管。) 約十餘分鐘後。測準鉛彈之熱度爲若干。(設測得其爲 95°C。) 乃將此彈傾入於 100 克之清水中。(未傾入以前。須量準此清水之熱度爲若干。設量得爲 19.7°C。) 俟彈與水之熱度平均後。再測量此混合物之熱度爲若干。(設爲 22°C)

由此事實。吾人即可算出鉛之比熱如下。100 克之清水。其

本來熱度爲 19.7°C 。而鉛彈傾入後。變爲 22°C 。則可知其熱度增高 $22^{\circ} - 19.7^{\circ} = 2.3^{\circ}$ 。故可知此 100 克之清水。共得有 $100 \times 2.3 = 230$ 加路里之熱量也。又 100 克之鉛彈。其本來熱度爲 95° 。而傾入清水後。變爲 22° 。則可知其熱度減低 $95^{\circ} - 22^{\circ} = 73^{\circ}$ 。至其所失之熱。則自等於清水所得之熱。即 230 加路里。故此 100 克之鉛彈。每降低 1°C 。則失熱 $\frac{230}{73} = 3.15$ 加路里。故每克之鉛彈。每改變熱度 1°C 。所失之熱。爲 $\frac{3.15}{100} = .0315$ 加路里。是即鉛之比熱也。

科學家藉此種方法。曾將各種物質之比熱。一一測定之。今將測得數種緊要物質之比熱。列表如下。

鋁 (Aluminium) .....	.218	鐵 .....	.113
黃銅 (Brass) .....	.094	鉛 .....	.0315
銅 (Copper) .....	.095	水銀 .....	.0333
玻璃 .....	.2	白金 (Platinum) .....	.032
黃金 .....	.0316	銀 .....	.0568
冰 .....	.504	鋅 (Zinc) .....	.0935

習題

1. 設 100 克之水銀。其本來之熱度爲 100°C 。若與本來熱度 20°C 之 100 克清水相混。則其結果之熱度爲 22.6°C 。試由此求水銀比熱之約數。 答約.033

2. 設 30 克之鐵。其本來之熱度爲 100°C 。若與本來熱度 13.4°C 之 60 克清水相混。則其結果之熱度爲 18°C 。試由此求鐵之比熱之約數。 答約.11

3. 設已知銅之比熱爲 .095 加路里。問如欲將 150 克之銅由 10°C 增加至 150°C 。共需熱量若干加路里。

答 1995 加路里

III. 熱與物體變態之關係

(Heat and change of state)

前第一章之末 (見第 10 頁)。言物質共有三態。卽固體、液體、氣體、是也。考物質常能由一態而變爲他態。例如冰之變水。係由固體而變爲液體。水之變汽。係由液體而變爲氣體。然冰須加熱。則始變爲水。水須加熱。則始變爲汽。又汽冷之。則復凝爲水。水冷之。則復結爲冰。由此可知物體之變態。係由熱之作用。茲將熱與物體變態之

關係研究之。吾人爲便利起見。計共可分爲二大類以研究之。(1) 融解 (Fusion 爲物質由固體變爲液體)。(2) 氣化 (Vaporization 爲物質由液體變爲氣體)。

融
解

凡一物質由固體變爲液體。謂之融解。又物質融解時之熱度。謂之融解度 (Melting point)。

考各種物質。各須達其一定之融解度。則始起融解。例如冰須達 0°C 始融。銀須達 954°C 始融。鉛須達 330°C 始融是也。然物質一旦達其融解度。則其熱度恆爲其融解度而不再改變。雖再加以熱。亦不能使之更高也。須待此物體全行融解後。其熱度始克使之再行增高。例如冰一塊。一達 0°C 。則起融解。然當其在融解時。其熱度恆爲 0°C 。雖再加熱。亦不能使之增高。須待其冰全行融解後。始能使之再高也。

註。昔時熱學尙未十分進步。不能解釋此加熱而熱度不增之事實。故謂此種所加之熱曰隱熱 (Latent heat)。以此種所加之熱變爲隱藏而不能發現之熱故也。及後科學進步。始知此種所加之熱。並非變爲隱藏之熱。實因欲使固體變爲液體。須用

能力以使分子分開。此所加之熱。卽以使分子分開之能力也。
 使分開後。此能力卽變爲分子之位置能力 (Potential energy)。
 故無多餘之熱。以使熱度增高。此所以物質融解時。雖加熱而
 熱度不增也。

由此可知物體融解時。雖加以熱而熱度不增。
 凡加熱於一克之物質上。使由固體全變爲液體。
 而不增加熱度者。則此所加之熱。爲其物質之融
解熱 (Heat of fusion)。例如測得欲使一克之冰全變爲
 水。而熱度不增。則共需 80 加路里之熱量。故冰
 之融解熱爲 80 加路里也。至此種融解熱之若何測
 定法。則可以下列明之。

設以 200 克潔淨之冰。置於在 60°C 之 500 克水內。待冰全
 行融解後。測得結果熱度爲 20°C。

由是事實。吾人卽可推算冰之融解度如下。蓋 500 克之水
 所失之熱量。必等於 200 克冰所得之熱量。加以由 200 克冰化得
 之水由 0°C 增至 20°C 所需之熱量。故設以 L 爲使每克冰融解
 所需之熱。則得公式如下。

$$500(60 - 20) = 200 \times L + 200 \times 20$$

由此即得 $L=80$ 。是即冰之融解熱也。

氣
化

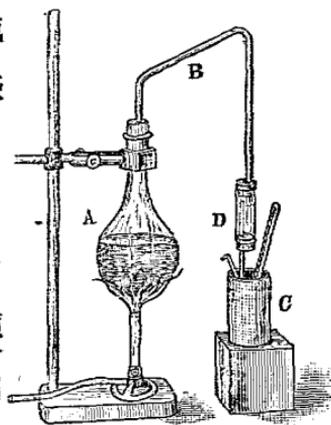
以上既論融解之大要。今將氣化之大要研究之。氣化者 (Vaporization)。即物體由液體變爲氣體也。如此種作用係遲緩者。則謂之蒸發 (Evaporation)。例如一杯之水。置空氣中。久之。則水漸減少。是因水漸漸蒸發。變爲氣體。而散諸空氣之中故也。如物體由液體變爲氣體之作用係甚速。以致液體中生上升之沸泡者。則謂之沸騰 (Ebullition or boiling)。例如水之滾沸是也。至沸騰時之熱度。謂之沸點 (Boiling point)。學者所最當注意者。則爲物體之沸點。常因壓力而改變。壓力大。則其沸點增高。壓力小。則其沸點減低。故在海平面時。水須熱至 100°C 而始沸者。在高山時。不必熱至 100°C 即可沸騰。今更設一試驗如下。以明沸點與壓力之關係。

試驗 93. 取一玻璃瓶。中盛熱而不沸之水。則見其並無沸騰之作用。今若將此瓶置於一抽氣筒之鐘罩中。而將其中空氣抽去之。則見熱水忽起沸騰之作用。是蓋因空氣之壓力減

小。而沸點亦減低故也。

此外更有一要點。學者亦須注意。即前(第331頁)見物質融解時。雖加以熱而熱度不增。考物質氣化時亦然。雖加以熱而熱度亦不增。科學家以凡加熱於一克之物質上。使由液體全變為氣體。而不增熱度者。則此所加之熱量。謂之氣化熱(Heat of vaporisation)。例如測得欲使一克之水全變為汽。而熱度不增。則共需 535.9 加路里之熱量。故水之氣化熱為 535.9 加路里也。至此種氣化熱之若何測定法。則可以下例明之。

如第一百七十一圖。A 為一玻璃瓶水。B 為一曲管。C 為一器。內盛已知重量之水。其熱度須先行測定。乃將 A 瓶加熱。則瓶中之水化汽。由 B 管通入於 C 器中。C 器中所增之水量。即所得水汽之量。然後須再將 C 器中之熱度測定。至 D 之用處。則在收容汽之未入 C 器而先凝為



第一百七十一圖

水者。使不得入 C 器內。

由上裝置。即可測定水之氣化熱。例如設 C 器中之水。本來爲 400 克。末後增至 414.1 克。則可知 14.1 克之水汽。變爲水矣。又設 C 器中水之熱度。本來爲 20°C。末後爲 41°C。又設水汽之熱度。測得爲 99°C。按 C 器中 400 克水。所得之熱量。自等於 14.1 克水汽所失之熱量。加以 14.1 克水汽。由 99°C 降至 41°C 所失之熱量。故設以 L 爲氣化熱。(即使每克水氣化所需之熱。或使每克水汽變爲水時所放出之熱。) 則得公式如下。

$$400 \times (41 - 20) = 14.1 \times L + 14.1(99 - 41)$$

由此即得 $L = 537.7$ 加路里。考科學家嘗試驗多次。知由最準之試驗。可得 $L = 535.9$ 加路里。是即水之氣化熱也。

習題

1. 融解與氣化何別。
2. 尋常水之沸點爲 100°C。今若欲將水之沸點增至 100°C 以上。當用何法。 *壓力加大 沸點即升高* 

註。 參觀第 333 頁沸點與壓力之關係。

3. 若將火酒數點落於寒暑表之下端。而使之蒸發。則見寒暑表降低。試言其故。

解。物質氣化。必需熱量。故火酒氣化。亦需熱量。寒暑表中一部分之熱量。被其吸收。此所以降低也。

4. 清晨日出後。露水及霧。即漸散去。試言其故。
5. 何謂融解熱。又何謂氣化熱。

IV. 熱之傳佈

(Transmission of heat)

熱由一處傳至彼處。謂之傳佈。考熱之傳佈法
共計有三。可先試之如下。

試驗 94. 取一金屬桿。一端浸入冰中。一端置於火酒燈之焰中。稍待則見冰漸融解。可知火酒燈焰之熱。由金屬桿經過而傳達至他端之冰中也。又吾人若以一手置於燈焰之上。則覺頗熱。是因上升之熱空氣。觸於手上故也。又吾人若將手置於焰之旁。則亦覺有熱。與因上升之熱空氣而熱者有異。是並無向旁運動之熱空氣。而手亦能覺熱也。

由上試驗。可知熱之傳佈。共有三法。(1) 傳導 (Conduction) 即熱由物質中經過。而其物質並不顯運動之作用者。如熱由金屬桿經過。而金屬桿並不顯運動是也。(2) 對流 (Convection) 即因被熱之

物質。起運動之作用。因而將熱傳佈者。如空氣被燭燃熱。起向上運動之作用。而將熱傳佈是也。

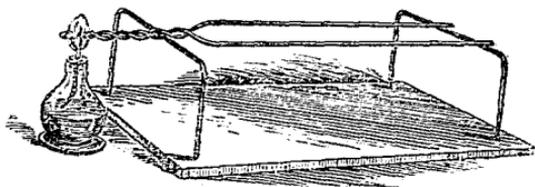
(3) 輻射 (Radiation) 即熱並不藉物質之媒介。而向外射出。與光相同。如以手置焰旁。雖無熱空氣之運動。而亦覺有熱是也。茲試將此三種傳熱法。分別考之如下。

傳
導

考各種物體。其傳熱之作用。亦各不同。可試之如下。

試驗 95. 取直徑相同之粗鐵絲及粗銅絲各一段。一端絞在一處。而他端則成一平行之叉形。第一百七十二圖。乃將其攔在一鐵絲架

上。而將絞在一處之端。用火酒燈熱之。數分時



後。以火柴在二 第一百七十二圖
叉枝之右端觸之。逐漸移向左邊。至各覓得使火柴燃燒之一點而止。則可試得銅枝上之此點。與火酒燈之距離。較鐵枝上之此點。與火酒燈之距離為遠。顯見銅將熱傳導較遠。

由此試驗。可知銅之傳導力。較鐵爲佳。科學家用此種方法。考得凡金屬爲物質中最佳之傳導物(Conductors)。而木、皮、法蘭絨、有機物體、粉狀之物、液體之物、(惟由金類融解成之液體則否) 氣體之物。均係極不佳之傳導物。

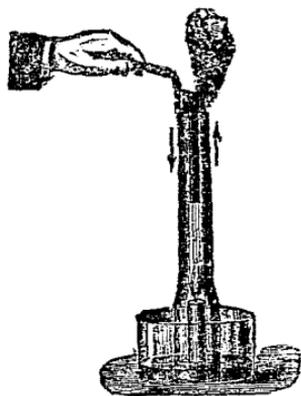
對
流

前第³¹⁶頁言物體熱則漲。冷則縮。故較熱之物質。其密度自較冷者爲小。故較熱者必上升。而較冷者必下降。此所以上試驗⁹⁴中。熱空氣上升。而起對流之作用也。茲更設一試驗如下。以證明較熱者上升而較冷者下降之作用。

試驗 96. 取一大玻璃杯。盛冷水約四分之三。乃以染有紅色之溫水。由杯邊漸漸加入杯中。則見此紅溫水能浮於冷水之面上(待加至紅溫水約厚 2 釐而止)。是蓋因溫水較輕於冷水。故能浮於冷水之面也。今乃取一試管。中盛鹽及冰之混合物(取其熱度極低)。將其下端。浸入紅溫水中。良久。則見紅溫水漸漸成一直流。而下降入冷水中。是蓋因鹽及冰混合物之試管。將紅溫水之熱度。減低至冷水之下。故密度增加。而變爲較重之物。此所以下降也。

由上試驗。可知對流之起。由於較熱者上升。而較冷者下降之故。考此種作用。頗為有用。例如使室中換氣法 (Ventilation)。即藉此理而成。以下試驗。可以顯明其大要。

試驗 97. 如第一百七十三圖。取一燃點之燭。置於一淺杯中。而以一二首有口之玻璃筒罩之。乃將水加入杯中。使筒之下端。浸在水中。則燃燭即滅。然今若重將此燭燃點。以一硬紙片插入筒之上端。使筒之上端。分隔為二。則見燭能燃點不滅。若以一發煙之紙試之。則可試得一邊之空氣。係向上流動。而他邊之空氣。則向下流動。故空氣得以在筒中流通。而燭得不息也。



第一百七十三圖

按使室中空氣調換法。與此理相同。法在室中裝二管。與室中之空氣相通。一管之下端。與一熱管或火爐相通。使通入之空氣。得以燒熱。則空氣即可自行由一管入室。而由他管放出矣。

輻射

輻射之傳熱法。頗與光之作用相似。前言光依直綫進行。(參觀前第65頁)熱之輻射亦然。故一人立火爐之旁。若以一物隔於人及火爐之間。則熱即被其隔斷。至傳導及對流。則並無依直綫進行之必要。故雖曲折極多。亦能傳達也。又如前言光度與離發光體遠近之平方成反比例。(參觀第63頁。)科學家考得熱之輻射。亦係如此。又前言傳光之媒介爲以脫。(見前第156頁。)因雖無空氣或他物之處。光亦能經過。故科學家同意。以爲空氣必有一種傳光之媒介。名以脫也。熱之輻射亦然。雖無空氣或他物之處。熱亦能輻射而過。由是觀之。熱之輻射。亦必爲以脫中一種波浪之作用。不過此種波浪之長。必與光浪之長不同。故其觸於吾人之身。其結果亦不同。一則使吾人覺有熱力。一則使吾人覺有光浪耳。

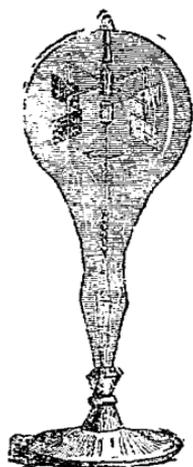
註。發熱之物體。既可使以脫中起一種波浪之作用。則可知其物質中之分子必振動極速。蓋非振動。則浪無由而起也。故近世科學家。均信熱爲物質之一種振動之結果。振動愈速。

則熱度愈高。

更有一要點。爲學者所當注意。即光浪爲尋常之物質所吸收。則能變而爲熱也。可以一種器名熱射輪者 (Radiometer)。證之如下。

試驗 98. 如第一百七十四圖。爲熱射輪之式樣。卽一玻璃泡。其中大部分空氣被抽去。至祇剩水銀柱高 7 耗之壓力而止。泡中有可以旋轉之十字形鋁絲 (Aluminium wire 取其輕也)。絲之各端。有杏仁式之礫石片 (Mica vanes)。片之一面。各塗以燈煙。(因燈煙甚能吸收光浪。)

今若將此熱射輪。置於日光中。則見能自行旋轉頗速。光愈大。則旋愈速。且塗煙之面。係向光退去者。是蓋因煙吸收光浪變成熱力。較未塗燈煙之他面爲甚。故觸於塗煙一面之空氣分子。其運動較速。其衝擊於塗煙一面之力亦較大。因而將熱射輪推動旋轉。



第一百七十四圖

習題

1. 金類一達融解度。則全體融解甚速。試言其故。
2. 以手觸於金類上。則覺較觸於木上爲冷。是何以故。

3. 熱之傳佈。共有幾法。試言其要別。流動之空氣。觸於燃點之燭上。則燭被息。試言其故。

4. 日中之熱。可傳至地球上。此係何種傳熱法。

V. 熱與工作之關係

(Heat and work)

以上既述熱之種種要點。茲末將熱與工作之關係研究之。按熱能用以工作。此事為吾人所習見。例如火車之行動。其根原在燃燒之煤所發之熱。科學家不過設法使此熱變為運動之能力。以作有用之工耳。

工作可 變為熱

熱既可利用之以顯工作。然則吾人亦可使工作變為熱乎。可試之如下。

驗試 99. 取一火石。以鋼擊之。則見有火點發生。又如將鉛一塊。以鐵錘用力擊之。則可試得鉛之熱度增高。

由此試驗。可知錘擊之工作。能變而為熱明矣。工作既可變為熱。則按能力不滅之定律。由一定多寡之工作。必可得一定多寡之熱量矣。至欲測量若干之工作。可變若干之熱量。頗非易事。科學

1818-89

家佳爾 (Joule.) 以數十年之研究。始得測定之。茲述其測定法之大要如下。

佳爾用一種器具。如第一百七十五圖。法以可

旋轉之槳 B 。

浸於一器中

之水內。槳

柄之上端 C 。

繞以一線。

此線經過滑

車 D 後。繫

於一重物 W 上。則 W 下墜時。槳可以在水中旋轉。

如此則所費之工作。可以 W 之重。與其下墜之路

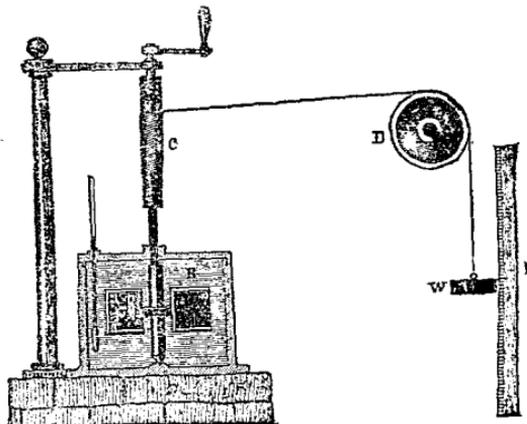
相乘之積量之。而所變之熱量。則可以器中之水

所增之熱度量之。佳爾藉此試得。每 778 呎磅之工

作。變為熱量後。可使一磅重之水。增高熱度 $1^{\circ}F$ 。

或以法國制計之。則每 427 呎米之工作。變為熱量

後。可使一呎重之水。增高熱度 $1^{\circ}C$ 。是之謂熱之



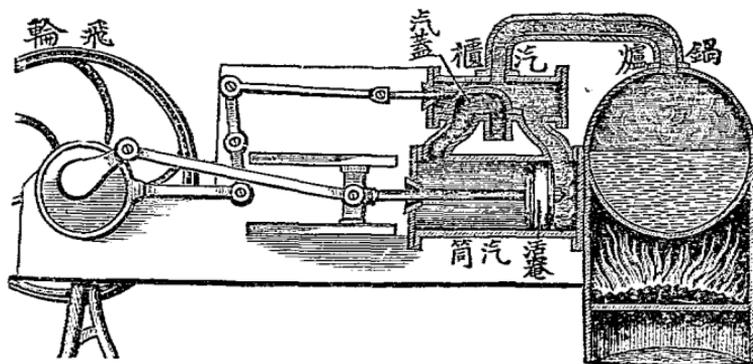
第一百七十五圖

工作當量 (Mechanical equivalent of heat)。

熱可變
為工作

以上既證工作可變為熱。則熱亦必為一種能力明矣。熱既為一種能力。則吾人必可利用之以成有用之工。換言之。即吾人必可設法使熱復變為工作也。例如汽機 (Steam engine) 之作用。即係此理。茲試述其大要如下。

如第一百七十六圖。鍋爐中盛水。下以煤燒之。則煤之熱。



第一百七十六圖

使鍋中之水變為汽。此汽膨脹。由鐵管通過汽櫃。入於汽筒。將活塞推動。使向左而進。故連於活塞上之鐵桿。亦即向左而進。將桿端之歪心輪轉動。而將連於汽蓋之桿。向右推動。故當活塞至左邊時。汽蓋即至汽櫃之右邊。將右邊汽櫃與汽筒相

通之門關閉。而將左邊汽櫃與汽筒相通之門開放。故來自鍋爐之水汽。即由左門而入於氣筒中。以致將活塞推動。使向右而進。將活塞右邊之汽。推入汽櫃中。而使之由汽櫃下端中間之管中逃出。如此活塞左右往返不息。則連於活塞桿端之輪軸。亦旋轉不已。而吾人即可利用此旋轉之輪軸。以作種種有用之工。如拖火車。駛輪舟等是也。至圖中飛輪之作用。則在利用其慣性。使轉動均勻。而不致有忽遲忽速之患。

由是可知。吾人可使熱復變為有用之工作。蓋此汽機之得以轉動。其根源在煤燃燒時所發之熱也。

習題

1. 吾人若以二手掌相磨擦。則覺掌上之熱度增高。試言其故。
2. 熱之工作當量。可用何法以測定之。試言其大要。
3. 設如 100 尅之重物下墜 10^米 之工作。全變為熱。則可使 1 尅之水增高熱度若干。 答 2.0342C
4. 試將汽機作用之大要言之。

磁 電 學

Magnetism and Electricity

第 七 章

磁 電 學

(Magnetism & Electricity)

以上既研究聲光力熱各學之大要。茲末將磁電學研究之。(參觀第 10 頁)考此門學問。頗爲繁複。非初學者所能畢事。故以下不過舉其大要而已。今爲便利起見。可分爲下數節研究之。卽(I)磁之要性。(II)電之要性。(III)數種發電之要法。(IV)量電之法。(V)數種工業上之緊要電具。

茲試將以上各節分別研究其大要如下。

I. 磁之要性

(Important properties of magnet)

有一種礦石。爲養與鐵化合所成 (Magnetite) 者。顯有一種將鐵或鋼吸引之性。科學家名此性爲磁 (Magnetism)。故凡顯有此性之石。名之曰磁石 (Magnet)。可試之如下。

試驗 100. 取磁石一塊。觸於鐵上或鋼上。則可試得此

石發有吸引之性頗強。

關於磁之要
性之試驗

磁石既有吸引之性。今試將此性之緊要作用研究之。

試驗 101. 取一本無磁性之鐵針(或鋼針亦可)。使一磁石吸引之。且將磁石在此針上自左而右擦之數次。則可試得此針現在亦能將鐵吸引，故亦得有磁性。

由此觀之。鐵或鋼被磁石所吸引。則亦能變為磁石。故吾人可用此法。以假造磁石。

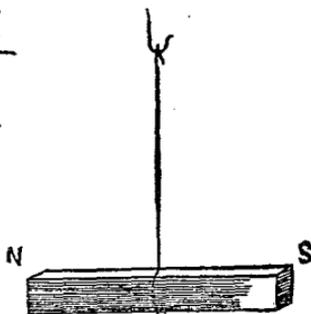
試驗 102. 取一有磁性之鐵棒。浸於鐵屑中而取起之。則見棒之二首。吸住鐵屑頗多。而中段則幾無之。如第一百七十七圖所示者然。



第一百七十七圖

由此試驗。可知磁石之磁性。聚於二端。科學家名此二端為二極(Poles)。

試驗 103. 取有磁性之鐵棒。以線繫其中間而懸之。如第一百七十八圖。乃將此棒任意觸動之。待其



第一百七十八圖

自停。則見其停止時。一極恆向南指。而他極則恆向北指。屢試之。均係如此。

由此可知，磁石有指南北之性。其指南之一極。可謂之南極 (South pole)。而其指北之一極。則可謂之北極 (North pole)。

試驗 104. 如第一百七十九圖。爲一可以旋動之磁針。先將一磁石之南極。

置近針之北極。則

見互相吸引。今若

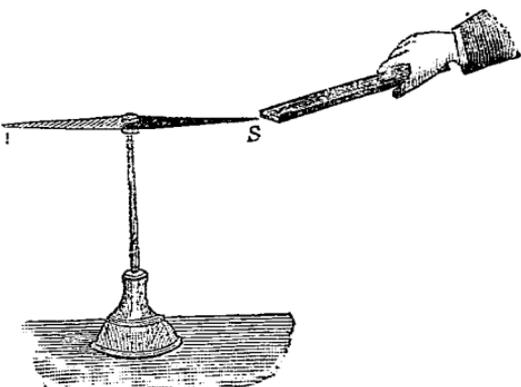
將磁石之南極。置

近針之南極。則見

非但不能互引。且

起互相推拒之作

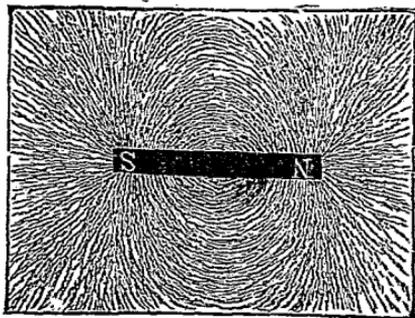
用。



第一百七十九圖

△ 由此可知。凡相異之二極則相吸。而相似之二極則相拒。考地球亦有磁性。故亦有二磁極。以上試驗¹⁰³中。磁棒之所以依南北方向而停者。亦因磁石之南極。與地球之北磁極相吸。而磁石之北極。則與地球之南磁極相吸故也。

試驗 105. 取一磁棒。置於桌上。棒上覆以一紙。紙上鋪以鐵屑，今若將紙稍稍擊動之。則見鐵屑佈成曲線形。如第一百八十圖。



第 一 百 八 十 圖

此種曲線。謂之

磁力線 (Line of force)。凡此種磁力線所及之處。即為磁石之磁力所及之處。此種磁力所及之處。謂之磁力場 (Field of force)。

附 磁 之
原 理

以上既作種種關於磁性之緊要試驗。今試將物體所以發磁性之理考之。

將一試管之鐵屑。以一磁石在管外輕輕由上而下擊之。則可試得管中鐵屑得有磁性。然今若將管中鐵屑搖亂之。則鐵屑即失其磁性。又如若將一有磁性之鐵絲。用力絞之。或以錘擊之。則可試得此絲之磁性大減。由此觀之。物之磁性。與物之分子之佈置法。必有關係。當其發磁性時。其分子之佈置。必有一定。故若搖之或擊之使改變其佈置法。則即失其磁性也。故科

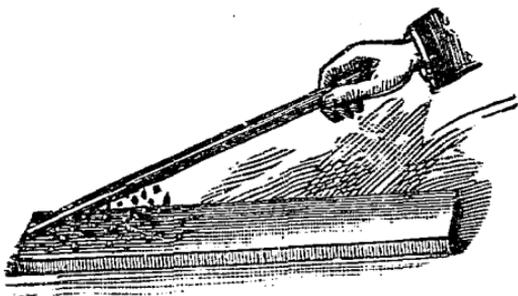
學家進一學理曰：鐵與鋼之分子。本有磁性。每一分子。亦有南北二極。與磁石無異。當其不發磁性時。必因其分子之佈置雜亂。以致各分子之磁力。用於互相吸引之中。故不外顯。然今若將此鐵(或鋼)置近磁石。則鐵中之分子。因磁吸引之故。得旋轉而重行佈置。若多數分子之相似之極。同向一面。則顯磁性頗強。若所有之分子之相似之極。全行同向一面。則可顯其最強之磁性。

II. 電之要性

(Important properties of electricity)

試驗 106. 取一通草。剪為多數小塊。置於桌上。乃將一乾玻璃桿觸之。

則見玻璃桿並不能將通草吸引。然今若將玻璃桿用絲擦之良久。而後再觸於通草小塊上。則



第一百八十一圖

見其現能吸引之矣。如第一百八十一圖。

由此觀之。可知玻璃桿用絲摩擦之後。其作用與未擦之前不同。此種作用。科學家名之為電

(Electricity)。已擦後之玻璃桿。所以與未擦之前不同者。因已擦後之玻璃桿。受有電力 (Electrified)。而未擦之前。則未受有電力也。考物體被磨擦後。能起電之作用者。不僅玻璃桿而已。此外如火漆 (Sealing wax) 硫磺 (Sulphur) 松香 (Shellac) 烏木 (Ebonite) 等物。擦磨後。均能生電也。

關於電之要
性之試驗

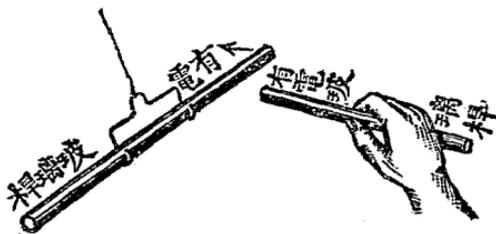
學者既明物體之所以發電。今將電之緊要作用研究之。

試驗 107. 取一用絲擦過之玻璃桿。以絲線懸掛之。乃

另以一用絲擦過之玻璃桿執近之。如第一百八十二圖。則見此二玻璃桿互相抵拒。

然今若易以一用貓皮擦過之烏木桿執近之。

則見烏木桿與玻璃桿能互相吸引。



第一百八十二圖

由此可知。玻璃桿所受之電。與烏木桿所受之電。顯係二種不同之電。科學家曾將各種發電之

陽電——玻璃棒——正電
陰電——火漆——負電

物試之。而知祇可分爲此二種不同之電。凡一物體所發之電。與絲擦玻璃棒所發之電相同者。科學家謂之陽電(Positive electricity)。凡一物體所發之電。與貓皮擦烏木桿所發之電相同者。科學家謂之陰電(Negative electricity)。又由上試驗。可知凡相似之二電必相拒。而相異之二電則相吸。

試驗 108. 取一烏木桿。一端插於一法蘭絨所製之蓋中。

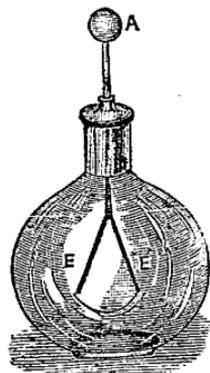
(蓋上繫有一絲線) 急速在蓋中旋轉數次。如第一百八十三圖。乃將法蘭絨蓋與烏木桿分開。今若將烏木桿觸於第一



百八十四圖驗電器之 A 球上。(驗電器 第一百八十三圖

Electroscope 爲考驗電之用。E 及 E' 係二金葉。A 係一金類所製之球。此球與金葉。

用一金類之絲相連接。故 A 球上受電。即通至二金葉上。則二金葉因受相同之電。故相拒而分開。) 則見 E 及 E' 二金葉分開。然今若以法蘭絨蓋觸之。則見二金葉復合併。

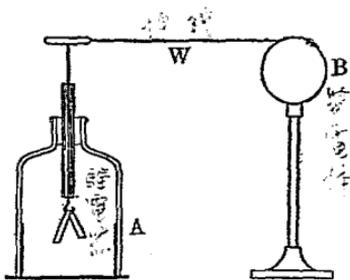


可知法蘭絨蓋之電。適與烏木桿相反。故 第一百八十四圖

法蘭絨蓋之電。將金葉所受烏木桿之電銷去。而使金葉復合也。

由此可知。凡陰陽二電。必同時而生。即若發生一種之電。則他種之電。必同時隨之而發生。且此同時所生之二種電。其量必相等。故以上試驗中。法蘭絨蓋之電。適能將烏木桿之電全行銷去也。

試驗 109. 如第一百八十五圖。取一金類之球 B。與一驗電器 A。用一金類所製之絲 W (如銅絲之類) 連接之。乃以一用法蘭絨擦過之烏木桿。觸於 B 球上。則見驗電器之二金葉分開。可知金類線 W。能將電由 B 傳至 A 也。今若將金類



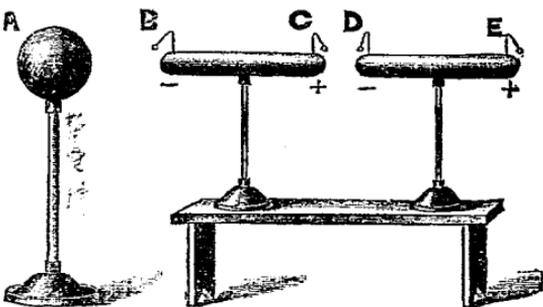
第一百八十五圖

線 W 取去。易以一絲線或一長木條。再照前法試之。則可試得烏木桿觸於 B 球上。而驗電器之二金葉。並不分開。可知絲線或木條不能將電由 B 傳至 A 也。

由此可知。凡物質有能傳電者。有不能傳電者。其能傳電者。科學家謂之傳電體 (Conductors)。其

不能傳電者。謂之不傳電體 (Noneconductor 又名 Insulator)。考凡金類 (如金銀銅鐵之類) 炭、及鹽類或酸類在水中之溶液* (Water solutions of salt and acids)。均係極佳之傳電體。而玻璃、磁器、橡皮、絲、火漆、松香 (Shellac)、木油等。均係不傳電體。 絕緣體

試驗 110. 如第一百八十六圖。取二金類所製之物體 B C 及 D E。置於一 A 不傳電物所製之架上。此二金類物體之各端上。各裝一小通草球。乃取一帶電之金屬球 A。



第一百八十六圖

(法可將一受有電力之玻璃桿。在 A 上擦之。)置近 B C 物體之一端。惟切勿與之接觸。則見 B C 及 D E 各端之通草球。各自向上離起。可知 B C 及 D E 二物體中。亦有電發生也。且若將擦 A 球之玻璃桿。執近通草球 B 或 D。則能與之相吸。然若執近通草球 C 或 E。則即與之相拒。

*鹽類及酸類。均係化學名稱。學者若未明晰此種物質之大要。可參觀民國新教科書化學中。

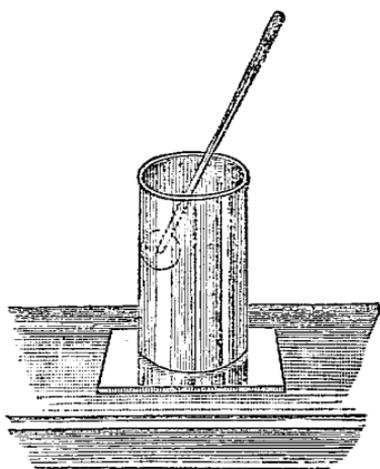
由此可知。凡一未帶電之傳電物體甲。若置近一帶電之乙物體。(並非與之相接觸) 則此傳電之物體。即能發生電力。且近乙物體之一端。則發生與乙物體相異之電。至其他端。則發生與乙物體相同之電。此種作用。謂之感應作用 (Induction)。

註。吾人由此。更可略行推知物體何以能發生電之作用。

可設物體之分子 (Atom)。其心核本含有陽電。在此心核之周。聚有多數含有陰電之微點。謂之電子 (Electron)。此多數電子之陰電。其量適與心核之陽電相等。故平常時。此陰陽二電。用於互相吸引之中。而不能外現。然今設以一帶陰電之物。置近此物體。則此物體中含有陰電之電子。被其驅至離遠之一端。而只剩含有陽電之心核在後。此所以上試驗中。近帶電體之端。則發生與之相異之電。而他端則發生與之相同之電也。按此學說。頗為近今科學家所主持。名為電子學說 (Electron theory)。

試驗 111. 如第一百八十七圖。取一錫杯。置於一不傳電之板上。(如木板之類) 然後使此杯受有強大之電力。(法可將以絲摩擦過之玻璃桿等觸之) 然後以一驗電板。(Proofplane 即

以金類小板裝於一不傳電之柄上者。)先使觸於杯之內部。而將驗電板移至一驗電器上觸之。則可試得並無電力。然若將驗電板觸於杯之外部。而後移往觸於驗電器上。則可試得有電力頗大。

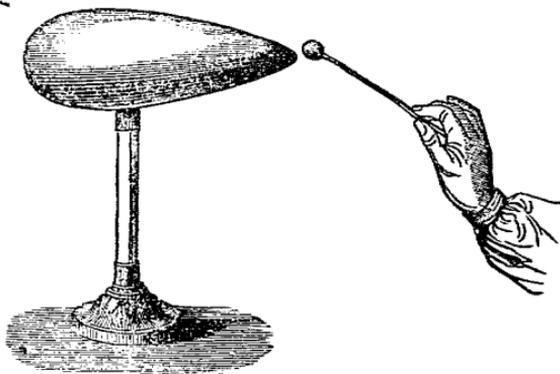


第一百八十七圖

由此可知。凡一帶電電力之傳電物體。所有之電。均聚在其物體之外面。故祇其外面有電。而內面則無之。

試驗 112.

如第一百八十八圖。取一雞蛋式之傳電物體。裝於一不傳電之架上。乃使此傳電物體帶電。而以一驗電板觸其較



第一百八十八圖

大之一端。後將此板移觸於一驗電器上。則見金葉分開。須記明其分開之遠近。今若將金類板觸於較小之一端。而照法移觸於驗電器上。則見金葉分開之遠近。較前爲大。

由此可知。傳電物體上電力之分佈。與物體之式樣有關係。愈尖之處。其電力愈多。故若尖至一針頭形。則針頭處聚電過多。以致近針頭處之空氣。受電亦頗多。致起相拒之作用。而將電傳散至空氣中矣。

附電與磁
之要別

以上既作數種緊要試體。則學者可
以略知電之要性。今可將電與磁之要
別畧言之。

磁之發生。祇限於數種物體。如鋼鐵是也。而電則無論在何物中。均可發生。磁不能在他種物體中傳達。而電則能在他物體中傳達。(參觀試驗109)

磁有一定之南北二極。故另以一他磁石近之。則起異極相吸同極相拒之作用。(參觀前第350頁試驗104)

然若以一帶靜電之物體。(即物體受有電力。而其電並不
在物體中流動者。)置近一磁石。則既可與其南極相

吸。又可與其北極相吸。顯見帶電之物體。與受磁之物體不同。可試之如下。

試驗 113. 取一帶電之物體。(如用絲擦過之玻璃桿等) 置近一磁針之南極。則見能與之相吸。今若將其置近磁針之北極。則見亦能與之相吸。

更有一要點。可顯明電與磁之別者。即若當以上試驗磁針被帶電之物體吸引時。吾人以一鋅片或鋼片隔於物體及磁針之中。則見物體即不能將磁針吸引。然若使磁石吸引磁針。而以鋅片或鋼片隔於石及針之間。則見磁石仍能將磁針吸引。學者可照法試之) 可知電與磁必有別也。(學者更可將前第 351 頁磁之原理及第 357 頁電子說學比較之。)

III. 數種發電之要法

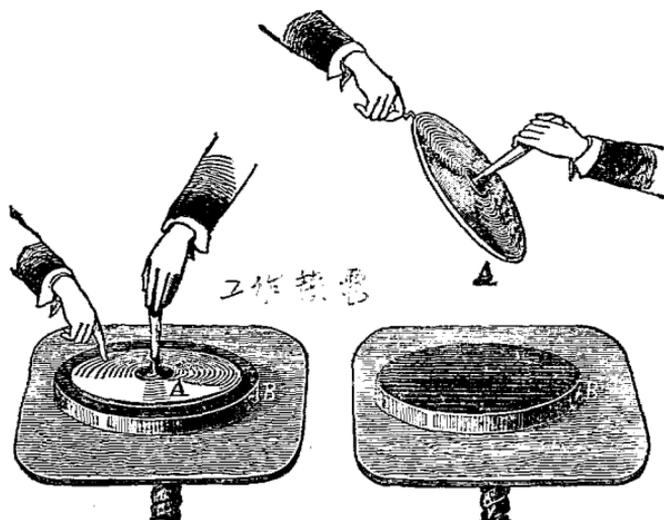
(Some important methods for producing electricity)

以上見用絲摩擦玻璃等物。則可發生電力。然此不過一法耳。此外尚有多種較佳之法。可以發生電力。茲擇其要者考之。

起電盤

起電盤 (Electrophorus) 之發生電力。係藉感應作用。(參觀前第 356 頁試驗 110) 而非藉

摩擦作用。如第一百八十九圖。為起電盤之式



第一百八十九圖

樣。法取一烏木盤 B。以貓皮或法蘭絨擦之。則盤上受有陰電。今若將一金屬片 A。置於 B 上。而以手指觸之。然後去指而將 A 片提起。以手指近之。則可發生一火花 (Spark)。如圖中右邊所示者。又或將 A 片提起後。執近一帶陽電之驗電器。則見二金葉格外分開。可知 A 片上之電係

陽電。故與 B 盤之陰電不同。是蓋因 B 盤之陰電。因感應作用。而使 A 片上生陽電也。(參觀前第 357 頁試驗 110 之結果。) 又吾人若將 A 片復置 B 上。而復照上法試之。則復可得火花。如是屢次試之。以至於無窮。均能得同樣之結果。一若發電可以至於無窮也者。是蓋因當 A 置於 B 上時。A 上感應所生之陽電。與 B 上之陰電相吸。今將 A 提起。則須用工作。此工作該變為 A 上之電能力也。故起電盤實係一種使工作變為電力之具也。

起電機

由上可知。起電盤能將工作變為電力。

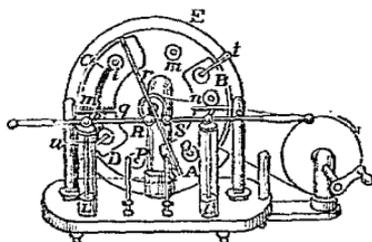
起電機 (Electrical machine) 之作用。亦係此

理。不過較為精佳。可使工作變電力之作用。繼續不斷耳。考起電機之式樣。共有多種。吾人祇須考其一種已足。蓋其要理均同也。茲將所謂弗氏起電機 (Holtz electrical machine) 者考之如下。

此機之式樣。如第一百九十圖。E 為一不動之玻璃片。其後黏有扇形之二紙。紙下各有一錫片。如 A B 及 C D。謂之二

感應片 (Inductors)。又E之前。有一可以轉動之玻璃片。片上有 l, m, n, o, p, 及 q, 各圓板。謂

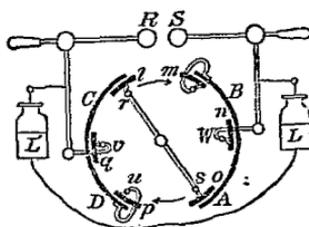
之帶電板 (Carriers)。又 A B 及 C D 二感應片上。裝有 t 及 u 二金屬之曲臂。此曲臂之端。有金屬之刷。當玻璃片轉動時。帶電板可與此刷相觸。故帶電



第一百九十圖

板籍此而得與感應片成通電之作用也。又 r s 爲一不動之金屬桿。二端各裝不動之刷。及梳形之尖刺。又 R 及 S 爲二金屬球。與 L 及 L' 來頓瓶 (Leyden jar 此瓶詳後第 385 頁) 以增加其容電之量。

今若將此機轉動之。則因工作變電之故。即發生電力。今將其所以然之故。用第一百九十一圖之簡明式釋之。



第一百九十一圖

設 r s 桿之二端。適在與帶電板 l 及 o 相接觸之地位。吾人若使感應片 C D 受有少許之陽電。則因感應之作用。帶電板上。即生陰電。而帶電板 o 上。則生陽電。(參觀前第 356 頁試驗

110 之結果。) 當玻璃片依圖中所指之方向旋轉時。帶電板 l 。移至 m 地位處。觸於曲臂端之金類刷上。而即將其陰電傳至感應片 AB 上。故 AB 即受有陰電。當 l 移至 n 地位時。其中所餘之陰電。被 AB 上之陰電所抵拒。故即傳入 L 來頓瓶中。當 l 移至 o 地位時。因 CD 上陽電感應之作用。使之發生陽電。且此次所發之陽電。較前為尤強。因現在 AB 之陰電。及 CD 之陽電。合併起感應之作用。致使 rs 桿受電較強也。當 l 移至 u 地位時。其中一部分之陽電。傳入 CD 中。故使 CD 之陽電增加。當 l 移至 v 地位時。其中所餘之陽電。被 CD 上之陽電所抵拒。故即傳入 L' 來頓瓶中。按 l 移至 v 時。共計適成一週。其結果為使感應片 AB 及 CD 上之電力增加。因而 rs 桿上因感應作用。所生之電亦增加。故若其轉多次。則 AB 及 CD 及 rs 上電力愈增。而電之入於來頓瓶之電亦愈積而愈多。終至此陰陽二電。在 R 及 S 中起放電之作用而生火花。

電池

電池 (Cell) 亦係一種發生電力之具。此電既非由摩擦而生。亦非若起電盤及起電機之由感應作用而生。實係由化學之作用而發生者也。可試如下。

試驗 114. 如第一百九十二圖。取一玻璃器。中盛淡硫

酸 (Sulphuric acid 約一分硫
酸加二十分水)。乃將一銅片及
一鋅片 (Zinc 又名亞鉛)。各長
約 10 釐。寬約 5 釐。對立於淡
硫酸中。二片上端。各繫一銅
絲 (如圖中之甲及乙)。則可試
得當二銅絲不相接觸時。銅片
及鋅片無甚化學作用。然今若
使二絲相接觸。則不久即見銅



第一百九十二圖

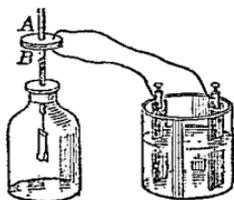
片及鋅片上發多數氣泡。可知二絲接觸。則器中起化學作用。
當如此起化學作用時。即有電發生。可用以下二法證之。

1. 如第一百九十三
圖。當二絲將觸時。使此
絲近一可以轉動之磁針。
則見磁針轉動。是蓋因絲
中有電流過。而與磁針吸
引也。(凡流動之電。均用
此法測知之。)



第一百九十三圖

2. 如第一百九十四圖。取一金類片 A。其下面塗薄層松香 (Shellac)。上面裝一不傳電之柄。將此片置在一與之相似而與驗電器相觸之 B 片上。乃將以上第一百九十二圖中銅片上之絲。與 A 相接。而鋅片上之絲。



則與 B 相接。稍待後。將二絲移去。而將 A 片提起之。則見二金葉分開。是蓋因 B 片上。受有電瓶中傳來之電。然當 A 及 B 相觸時。B 上之電。被 A 上之電所吸引。故不克下行至金葉上。今 A 片提起。則 B 上一部分之電。自可下行至金葉。故金葉分開也。今若將一用法蘭絨或貓皮擦過之烏木桿。(此係陰電。見前第 354 頁。)置近此驗電器。則見金葉格外分開。顯明金葉上原受之電係陰電。故可知電池之鋅片上所發之電。必係陰電矣。又吾人若將此試驗重為之。使電池銅片上之絲。接於 B 上。而鋅片上絲。接於 A 上。則可試得銅片上所發之電係陽電也。

第一百九十四圖

由上試驗。可知化學作用。能發電力。此種用化學作用發電之器具。謂之電池 (Cell)。又可知電池中銅片所發之電。必係陽電。而鋅片所發之電。必係陰電。科學家名銅片為陽極 (Positive electrode 又名

Cathode)。而名鋅片為陰極(Regative electrode又名Anode)。

當二極之絲接連時。電即由陽極而流至陰極。此種流通之電。科學家謂之電流 (Current)。當二極之絲不相接連時。電即不能通過。故即無電流之作用。

考電池共有多種。以上所述者。不過一種而已。謂之弗氏電池 (Voltaic cell 又名 Galvanic cell)。今將其

餘各種電池。擇其要者略考之。

Galvanic cell
弗氏電池

(1) 雷氏電池 (Le-

clanche cell) 此電池之式

樣。如第一百九十五

圖。V 為一玻璃器。中

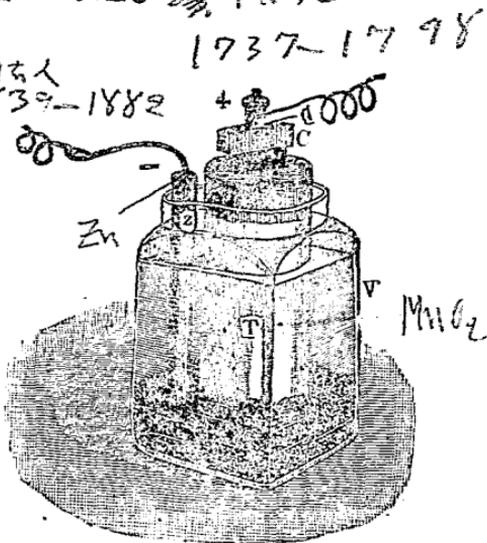
盛氯化銻 (Ammonium

chloride) 之濃溶液。液

中浸一多孔之器 T。此

器中滿盛二氧化錳

(Manganese dioxide)。及石

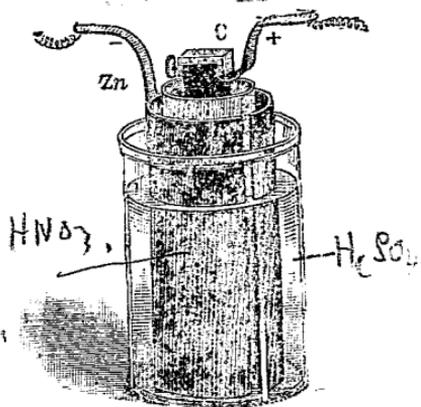


第一百九十五圖

墨粉 (Graphite powder) 之混合物。此混合物之中。插一炭桿 C。即爲陽極。又氯化銻液中。更浸入一鋅桿 Z。即爲陰極。考此電池之益處。在當陰陽二極上之絲不相接連時。並不起化學之作用。故可用之數年之久。只須有時加添水及氯化銻以補其缺乏耳。此電池爲電鈴之用。最爲適宜。

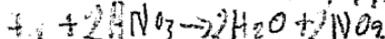
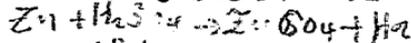
(2) 本生電池 (Bunsen

cell) 此電池之式樣。如第一百九十六圖。最外者。係一玻璃器。內盛淡硫酸。中浸一鋅筒 Zn。即陰極。又鋅筒之內。置一多孔之高杯。杯中盛



第一百九十六圖

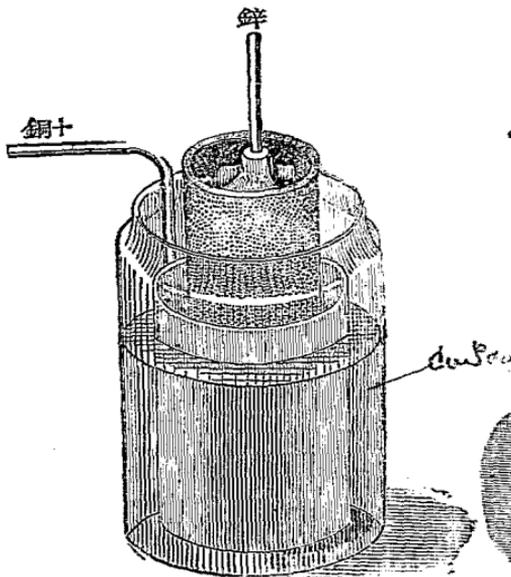
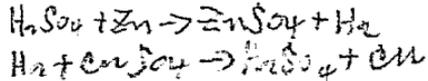
以濃硝酸 (Nitric acid)。及炭精一塊如 C。即陽極也。



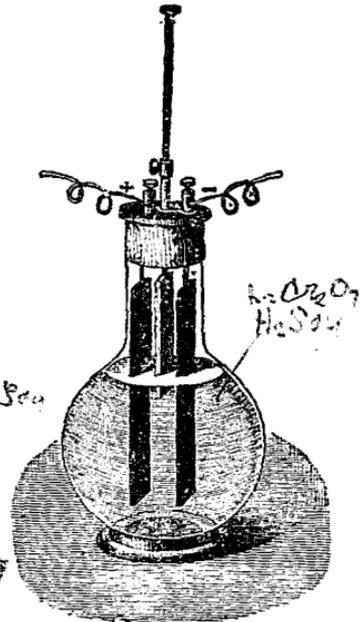
(3) 戴氏電池 (Daniell cell) 此電池之式樣。如第

原人 17 90-1845

一百九十七圖。最外者。係一玻璃器。中盛硫酸銅 (Copper Sulphate) 之極濃溶液。在此液中。浸以銅筒。是為陽極。銅筒中浸一多孔之毛磁杯。中盛硫酸鋅 (Zinc sulphate) 之淡溶液。此液中更浸一鋅桿。即陰極也。

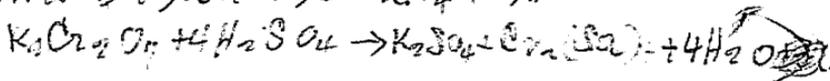
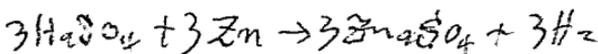


第一百九十七圖



第一百九十八圖

(4) 重鉻酸電池 (Bichromate cell) 此電池之式樣。



如第一百九十八圖。玻璃器中。盛硫酸及重鉻酸鉀或重鉻酸鈉 (Bichromate of potassium or sodium) 之混合物。此混合物中。浸炭精二片。而此二片之中間。則浸一鋅片。當此電池不用時。鋅片須提起。使不與混合物接觸。以免銷耗。

發電機

以上所述之各種發電法。雖各有其適用之處。然所發之電。均不極大。考此外尚有一法。可發極大之電力。為近今工業中所大用者。即用發電機 (Dynamō) 以發電力之法也。茲試先作下列一試驗。以明此種發電機根本上之要理。

試驗 115. 如第一百九十九圖。取第二十二號之銅絲。

繞成一圈 C (共約繞四百次)。圈之直徑。約半英寸。乃將此圈與另一銅絲圈 P 相接連 (如圖中 A 及 B 為相接之處)。此 P 圈



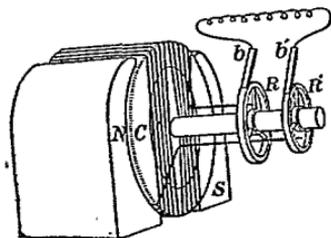
第一百九十九圖

係懸在一磁石南北二極之間。上有一指針。乃將 C 圈套入一大磁石北極之周。則見 P 圈即旋轉。顯明 C 圈中發生電力也。

今若將 C 圈提起。使忽離開北極。則見 P 圈復起轉動。惟其方向則與前不同。顯明現在 C 圈中。發生相反之電也。

由此試驗。可知若將一傳電物體。在磁力場中運動。則此傳電物體中。即可發電力。故吾人藉此作用。可將工作之力。使變為電力。考發電機

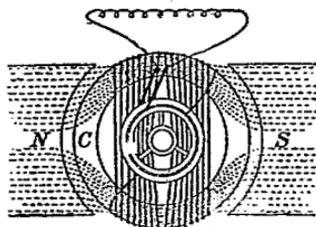
之製成。即係此理。如
 第二百圖。係示其大要。
 法將銅絲圈 C。置在磁石
 之南北極 N 及 S 之間。轉
 動不已。（可用機器之力轉



第二百圖

動之。如汽機之類是也。）則有電力發生。此電力即可使之通至各處而用之。

學者當注意。發電機中轉動之絲圈 C。謂之發
電子 (Armature)。實驗中
常以絲繞於一鐵筒周為
之。考得如此則 N 及 S
中之磁力。得由鐵筒中



第二百零一圖

經過。如第二百零一圖。而磁力場可以強盛也。

又實驗中常以電磁石代尋常之磁石。(電磁石 Electromagnet 之製法。係以銅絲繞於軟鐵之周。而以電通過此銅

絲即成。此種電磁石。可發生極強之磁力。) 蓋如此則可

得極強之磁力也。又上第 370 頁試驗 115 中。見 O

圈套入磁石時。發生一種電力。而提起時。發生

一種與之方向相反之電力。故發電機轉動時。亦

如此發生二種方向相反之電力。今若欲試此二種

方向相反之電。變為同一方向之電。法可用一種

器具。名反向器(Commutator) 者。即可達此目的。

此種反向器之最簡單者。如第二百零二圖。法以

一金類所製之圈。將其

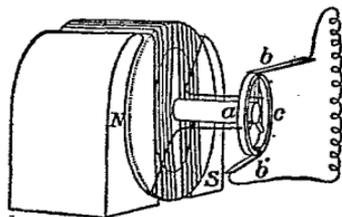
分為二半圓。如 a 及 c。

使之不能互相通電。而

以發電子絲之一端。接

於一半圓上。其他端則

接於他半圓上。乃用 b, b' 二刷。使適當電變方向



第二百零二圖

接於他半圓上。乃用 b, b' 二刷。使適當電變方向

時。刷即由一半圓而改觸於他半圓上。如是則一刷恆得陰電。他刷恆得陽電。故若以一銅絲將二刷接連。則電即可永由陽電而流至陰電。而為同一方向之電矣。

IV. 量電之法

(Electrical measurements)

電之作用。雖極微妙。然亦有多寡之可量。今將關於量電之最緊要名稱及方法。分別略述其大要如下。

受電之
單位

前第 353 頁。言吾人可使物體受有電力。然則其物體所受電力之多寡。有何法可以測量之乎。欲研究此種測量法。吾人須先定一標準。然後可以從事。科學家因此先定一標準如下。凡若干相同之二電力。在空氣中相距一糶之路。彼此相拒之力。適各為一達因者。即作為電氣單位 (Electrostatic unit of charge)。

學者既明受電之單位界說。今試將可倫之定

法人 1736-1806

律 (Coulomb's law) 考之。蓋科學家可倫氏。考得凡二傳電物體。受有電力後。如其體積較諸其相離之路為甚小者。則此二物體上之電。彼此相吸或相拒之力。(如異電則相吸。而同電則相拒。)與其所受電力單位之積成正比例。而與此二物體相離之路之平方成反比例。故設 q 及 q' 為此二物體上所受電之單位數。 d 為此二物體相離之距離數。 F 為此二物體上之電彼此相吸或相拒之力。則按可倫之定律。即得公式如下。

$$F = \frac{qq'}{d^2}$$

茲試設一例以明此公式之用。例如設有二物體。在空氣中相距 20 厘米。問如一物體上受有 30 單位之陽電。而他物體上受有 40 單位之陽電。則其相拒之力。當為若干達因。

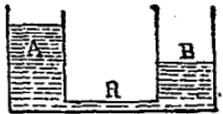
解。因 $F = \frac{qq'}{d}$

故 $F = \frac{30 \times 40}{20^2} = 3$ 達因

電位
之差

當電池之陽極及陰極。以絲接連時。電
即由陽極而流至陰極。此何故歟。可以水

流之理解之。如第二百零三圖。設 A 及 B 二器中
之水。以 R 管連通之。則 A 器中
之水。因水面較高之故。即傳至

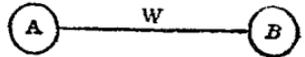


第二百零三圖

B 器中。可知水之流動。因器中
之水地位之高低不等故也。考電之由陽極流至陰

極。亦係此故。如第二百零四圖。設 A 爲陽極。

B 爲陰極。以 W 絲接通之。



第二百零四圖

則電即由 A 流至 B。科學家

以爲因 A 之電地位。較 B 之電地位爲高之故。

適與以上水由 A 器流至 B 器之理同。此二電地

位高低之相差。謂之電位之差。(Potential difference

又流動電之電位之差。更有給以專名而稱之爲電動力 Electro-
motive force 者。學者誌之。) 故電之流動。因電位之

相差故也。

按凡欲作測量者。必須定一測量之標準。而後

可以從事。今若欲測量某某二物體電位之差爲若干。則亦非先定一測量電位之差之標準不可。今將科學家定此標準之大意述之。設甲乙二物體。其上之電係相似。(如均係陽電或均係陰電。)則此二物體上之電。必起相拒之作用。(參觀前第 353 頁試驗 107 之結果。)故若欲使電由一物體上移至他物體上。必須用工作。以抵抗此相拒之力而後可。科學家以凡用 $\frac{1}{300}$ 愛格之工作。抵抗此二物體中相拒之力。俾使一單位之電。得由一物體上移至他物體上者。爲電位之差之標準。而謂之一弗打(Volt)。

既定電位之差之標準。今試略述用此標準以測量電位相差之法。按如二物體中電位相差之數。係頗大者。則必能發生火花。如前見起電盤及起電機之發生火花是也。吾人若將此所發火花之長短量之。則可測知其電位之差之數。蓋科學家考得每糲長之火花。代表^{3,000}弗打之電位之差也。故測定某某二物體中所生之火花共長若干糲。卽

可推知電位之差共爲若干弗打矣。然如二物體中電位相差之數係頗小者。則不能發生火花。或祇發生極短之火花。以致不能測量者。故須另用他法以量其電位之差。其最簡單者。爲用弗打表

(Voltmeter)。如第二百零五圖。使電流通過其中。而看明指針所指之處爲若干弗打。是即所欲求之電位之差也。(至此表中之內部。



第二百零五圖

則爲一絲圈。置於磁石二極之中。電通過此絲圈中。則

此絲圈即起轉動。而絲圈上所裝之指針。亦因之而轉動。其理適與前第370頁上第一百九十九圖中P圈通電後。在磁石中起轉動之作用相同。

電流之
測量法

電位之差。可比之於二器中水之壓力大小之差。學者既於前第375頁上第二

百零三圖明之矣。故水之流動。其故由於此種水之壓力之差。而電之流動(即電流 Current)。則由於此種電位之差。今試研究電既流動而成電流之後。則電流之多寡(Strength of current)。當若何測量之。考凡欲測量。必先定一測量之標準。今欲測量電流之多寡。亦非先定一標準不可。故科學家特定一量電流之標準如下。設有共繞³次所成之圓絲圈。其半徑為¹⁰ 釐。依南北之平面而置之。圈之中間。置一小磁針。今若將電流通過此圈。而能使小磁針旋轉⁴⁵度者。則此電流之多寡。即作為量電流之標準。而

謂之一安培 (Ampere)。

科學家即藉此種圈與磁針之作用。製成一表。名安培表 (Ampere-meter 又名 Ammeter)。

如第二百零六圖。以



第二百零六圖

欲測量之電流。使通過此表。則針即轉動。而在該針所指之處。即可讀明爲若干安培矣。故用以測量電流之多寡。極爲簡便。

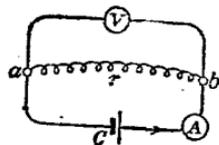
阻力之
測量法

考電經過物體中。該物體必顯抵抗之力。此種抵抗之力。謂之力阻 (Resistance)。此所以物體有極易傳電者。有不易傳電者。有竟不能傳電者也。今欲測量某物體阻力之大小。亦非先定一標準不可。科學家以高 106.3 糵及橫截面¹方耗之水銀柱。在 0°C 時通電後。所生之阻力。爲量阻力之標準。謂之一歐姆 (Ohm)。因科學家^{其人}歐姆氏。爲首先發明阻力與電流之多寡及電位之差相關之定律之人。故其後即取之以名阻力之標準。所以表示紀念也。歐姆氏考得凡阻力之大小。恆等於電流之多寡除電位之差。故設以 R 爲阻力之大小。 C 爲電流之多寡。 E 爲電位之差。則

$$R = \frac{E}{C}$$

由此公式。吾人即可得實行測量某物體阻力大

小之法。如第二百零七圖。設有一絲 r 。今欲測量此絲之阻力爲若干。法可將此絲之二端(如 a 及 b)。



照圖中所示之法。接於電瓶 G 之 第二百零七圖
線上。線中插以一安培表 A 。以便測量電流之多寡。又插以一弗打表 V 。以便測量電位之差。通電後。讀明安培表上係顯若干安培之電流。弗打表上係顯若干弗打之電位之差。則照 $R = \frac{E}{C}$ 之公式。以所得安培之數。除所得弗打之數。則所得之結果。卽爲阻力矣。例如設安培表上爲 .5 安培。弗打表上爲 .4 弗打。爲 $\frac{.4}{.5} = .8$ 歐姆。卽爲該欲測量之絲之阻力也。

電池之
接線法

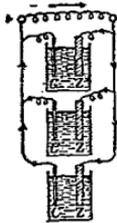
由 $R = \frac{E}{C}$ 公式。化得 $C = \frac{E}{R}$ 。詳言之。卽電流等於阻力除電位之差也。
由此 $C = \frac{E}{R}$ 之式觀之。可知吾人若欲使電流增大。按算學理。其法有二。卽⁽¹⁾使分子電位之差 E 增大。或⁽²⁾使分母阻力 R 減小。茲試分別論之。

(1) 使電位之差增大法。吾人若欲使電位之差增大。法可將數電池按第二百零八圖法連接之。以第一瓶之鋅極(即陰極)。接於第二瓶之銅極(即陽極)。而第二瓶之鋅極。則接於第三瓶之銅極。其餘照此類推。至第一瓶之銅極。則與第末瓶之鋅極相接。如此接法。謂之異極接線法(Connecting in series)。照此接法。可以使電位之差增大。蓋設如共有三電瓶。每瓶電位之差為2弗打。照此法接連後。第一瓶之銅極。與第末瓶之鋅極中。電位之差。共為 $2 \times 3 = 6$ 弗打。



第二百零八圖

(2) 使阻力減小法。吾人若欲使阻力減小。法可將數電瓶照第二百零九圖法連接之。以所有鋅極。接成一線。而所有銅極。亦接成一線。然後將此二線之端。互相連接。則有電流通過矣。如此接法。謂之同極接線法(Connecting in Parallel)。考得此種接法。其結果為電位之差仍舊。而可使電瓶中液體之阻力減小。設共用三電瓶。則考得液體之阻力可減少三倍也。



第二百零九圖

今將以上二種接線法之利益比較之。學者當注意。設用三電瓶。照異極接線法。則電位之差果

$p =$ 一行之數電池數 $n =$ 電池之共數
 $r =$ 列數 (混合接線法)

增大三倍。然現在電流須經過三個電瓶之液體。故所受液體之阻力。亦三倍於前。故設以 n 為電瓶之數。 r 為接連後線中之阻力。 r' 為每瓶中液體之阻力。則 $C = \frac{E}{R}$ 之公式。當寫為

$$C = \frac{N E}{r + n r'} \quad \text{異}$$

若按同極接線法。則 $C = \frac{E}{R}$ 之公式。當寫為

$$C = \frac{E}{r + \frac{r'}{n}} \quad \text{同}$$

今試用此二式。演一算題。以便比較之。

設有六電瓶。每電瓶位之差為 2 弗打。每瓶中內部之阻力(即液體之阻力)為 0.5 歐姆。今若將此六電瓶用線連接之。問如此所用之線之阻力。祇為 0.1 歐姆。則用何種接線法為宜。又設所用之線之阻力。增至 500 歐姆。則用何種接線法為宜。

解。 (1) 若所用之線之阻力祇為 1 歐姆。則

$$\text{照異極接線法。 } C = \frac{N E}{r + n r'} = \frac{6 \times 2}{0.1 + 6 \times 0.5} = 3.87 \text{ 安培}$$

$$\text{照同極接線法。 } C = \frac{E}{r + \frac{r'}{n}} = \frac{2}{0.1 + \frac{0.5}{6}} = 10.9 \text{ 安培}$$

可知若外部阻力(即所用線之阻力)。較內部阻力(即液體之阻

$$C = \frac{pE}{r + \frac{p\alpha}{q}} = \frac{pqE}{pr + p\alpha} = \frac{qE}{r + p\alpha}$$

量 電 之 法

383

力) 爲小時。用同極接線法。可得較大之電流。

(2) 若所用之線之阻甚大。爲 500 歐姆。則

$$\text{照異極接線法。} C = \frac{NE}{r + nr'} = \frac{6+2}{500+6 \times 0.5} = 0.024 \text{ 安培}$$

$$\text{照同極接線法。} C = \frac{E}{r + \frac{r'}{n}} = \frac{?}{500 + \frac{0.5}{6}} = 0.004 \text{ 安培}$$

可知若外部阻力較內部阻力爲大時。用異極接線法。可得較

大之電流。

由此可知。同極接線法。當用之於外部阻力較內部阻力爲小時。而異極接線法。則當用之於外部阻力較內部爲大時。庶各可得最大之電流也。

電 氣
容 量

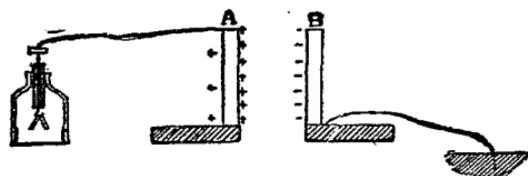
考物體能容電氣之量。謂之物體之電氣容量 (Capacity)。按物體之電氣容量。吾人

可設法使之加增。可試之如下。

試驗 115. 如第二百十圖。取一金類片 A。置於一不傳電之物體上。而將此片與一驗電器連接之。乃更取一金類片 B。亦置於一不傳電物體上。惟此片則以一絲與地連接之。今若使 A 受有陽電。而看明驗電器金葉分開之度。然後將 B 片推近 A 片 (惟並不與相觸)。則見金葉漸漸低下。夫 B 片既不與 A 片

$n = \text{及} \quad n' \text{內} \quad m \text{行} \quad n \text{列}$
 $\frac{n'}{n} = \frac{m}{m}$

相觸。則A片中
 之電，自並不增
 減。可知金葉之
 所以低下者。在

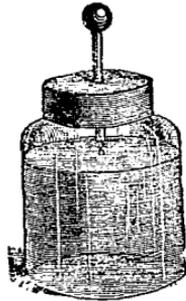


第 二 百 十 圖

A片之電位。因B片之推近而降低故也。今吾人若將陽電屢屢加入A片上。則可試得吾人可加入多量之電。而後A片始得復其原電位。而使金葉之分開。復其原度。

由此試驗。可知若將一與地相接之傳電物B。
置近A片。則A之電氣容量。可以大增。須加多
量之電。而後可以復其原電位。是蓋因當B片置
 近A片時。因感應之作用。B片上即生有與A片
 相反之電。至B片上與A相似之電。則被驅入地
 中。此A及B二片上相反之電。即起相吸之作用。
 故A上及與A相通處之電。均被吸至近B之一面
 上。此所以驗電器中之金葉低下也。故A中現在
 可以裝入多量之電。始可使電之由A達於金葉上
 者。與前相同。換言之。即始可使A之電位。與
 前相等。此所以A之電氣容量。能大增也。

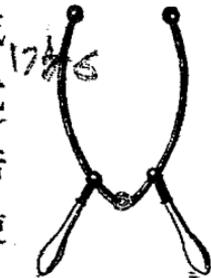
由上更可知。以二傳電物體（如A及B）。中隔以一不傳電之物體（如二片中之空氣）。則其容量可以大增。照此佈置所成之器。謂之蓄電器（Condenser）。考此種蓄電器之最通用者。如



第二百十一圖

第二百十一圖。法以一玻璃瓶。瓶之內外。均塗以錫。高約及瓶之大半。如此則此內外之二錫層。即爲二傳電物體。而其中間之玻璃。即爲不傳電之物體矣。乃將瓶內之錫層。用鏈與瓶上之球接通。而瓶外之錫層。則使之與地接通。此種蓄電器。首見於荷蘭國之來頓地方（Leyden）。故又謂之來頓瓶（Leyden jar）。若將電由

瓶上之球加入瓶中。則電即聚於瓶內之錫層上。此種來頓瓶。能容電極多。其理與上試驗中之理同。今若將如第二百十二圖 V 字式之絲。使一端觸於來頓瓶外之錫層上。而他



第二百十二圖

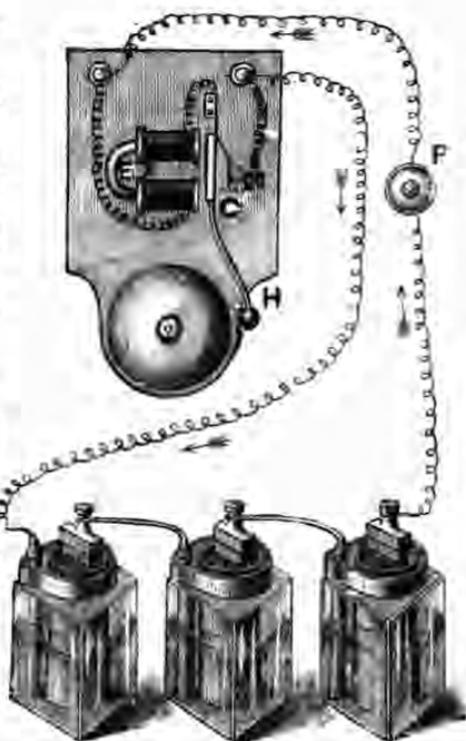
端則置近瓶上之球。即可得火花發生也。

V. 數種工業上之緊要電具

以上既述電之要點。則學者可略知電學之研究方法。今末將關於工業上之數種緊要電具。將其要理考之如下。

電鈴 (Electric Bell) 乃用以達

信號之具。如第二百十三圖。可以明其作用之大要。當將機關 P 壓下時。則電流即依圖中所示之方向通流。然當此電流通過電磁石 E 時。此電磁石即發生磁性。而將 H 吸向左邊。而使 H

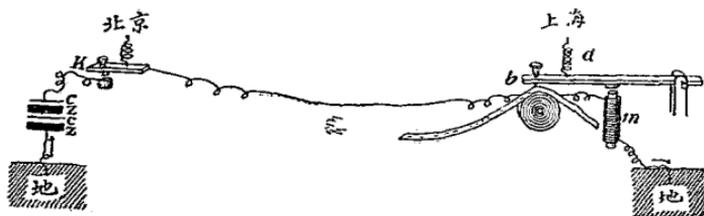


第二百十三圖

擊於鈴上。然當 C 向左邊時。即與右邊不能接觸。故電即不復流通。而電磁石即失其吸引之性。 C 即因彈性之作用。而復彈至右邊。使電流復通。當復通時。 C 即復如前向左。而 H 復擊於鈴上。如此左右不息。則鈴即響擊不已。此所以能作為達信號之具也。

電報

電報 (Telegraph) 為藉電流之作用。以通信之法。如第二百十四圖。係示其大要。設北



第二百十四圖

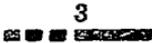
京及上海二地。以一長電線相接通。線之二端。各與地相通 (因地亦係傳電體)。如是。則北京及上海二地。可使電流相通。今若在北京用一發信器 (Transmitter or key)。如圖中之 K 。當其機關不接觸時。電流即不相通。至上海則裝一受信器 (Receiver)。

當通電時。電流經過電磁石^m。此^m將其上之鐵桿吸下。故桿端之筆^b。即觸其下轉動之紙上。當電流不通時。^m即無吸力。故桿即被曲銅絲^d拖上(因彈力之作用)。而^b筆即與轉動之紙離開。故發信者。在北京將發信器之機關。使之忽接忽開。則電即隨之而忽通忽斷。故上海受信器之^b筆。在轉動之紙上。忽觸忽離。當其觸時。留墨跡於紙上。一觸即離。則紙上祇成一點。觸之稍久而後離。則成一小畫。吾人即可將點畫相併。使成一種電報字母。故即可知北京發來之電。所言者為何

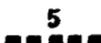
A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M	N	O	P
Q	R	S	T
U	V	W	X
Y	Z		

事矣。如第二百十五圖。即電報中所用之字母也。

(學者不必記誦之) 至吾國則文字非以字母所併成。

故每字定以一號   

數。發電時。祇

須發其號數。則   

即可查明其為代

替何字矣。如第

二百十六圖。即    

第 二 百 十 六 圖

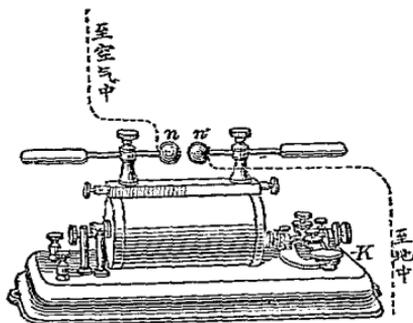
所用之電報字號數也。

又近時更有所謂無線電報者 (Wireless telegraphy)。則可不用線而亦能傳達。考得凡當發電氣火花時。空中即發生電浪 (Electric wave)。此電浪頗似光浪。能及於遠。故科學家近設種種方法。以利用此電浪之作用使傳信也。學者欲明此種無線電報之大要。可作以下之試驗。

試驗 116. 取一玻璃管。約長二裡。其直徑約 6 耗。乃以鎳屑 (或黃銅屑亦可) 實其中。而以二銅絲插入屑中。使其端相離約一裡。絲之外端。與一測電流器 (可即用前第一百九十

九圖右邊所示之法)。及一戴氏電池(見第 368 頁)相接通。則可試得管中鬆散之鎳屑。其阻力頗大。故電流幾不能通過。然今若在離此管數尺之處。使一起電機(見第 362 頁)發生火花(此機並不與以上等管相接通)。則見每發一火花時。與管相離之測電流器。即起轉動之作用。是蓋因當起電機發火花時。空中即生電浪(Electric waves)。此浪轉至鎳屑時。使其屑互相黏合。故阻力減少。電池之電流。始可通過。故測電流器起轉動也。今若將玻璃管輕輕擊之。則鎳屑復鬆散。而電不能通過。此種盛鎳屑之玻璃管。謂之考希拉 (Coherer)

接近時無線電報之器具。即藉此理而成。如第二百十七圖。為發生火花之電器* (即代有線電報中之發信器)。將機關 K 壓下。則 n 及 n' 二球中。即發生

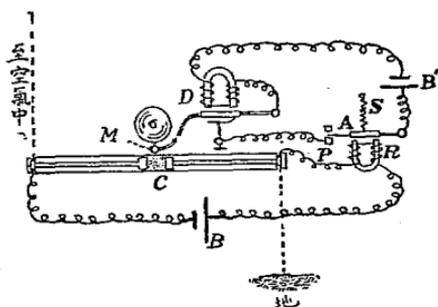


第二百十七圖

* 此種電氣之電位之差須甚大。然後易發火花。故用一種器具。名感應圈者(Induction coil)。法以一種鐵圈。外繞以包有不傳電物之粗絲。此粗絲繞之外。更繞以細絲極多。粗絲繞與電流及反向器相接通。則當電流忽通忽斷之際。細絲繞中。即因感應作用。而生電力。他種器具上。若更加以一蓄電器。則所發之火花可極大。

火花。此火花即發生電浪。由空中傳達。故若如
 第二百十八圖。在遠處置一夸希拉^C。此夸希拉與
 一受信器^A(此受信器之大要。與前第二百十四圖之受信器相
 同)相接通。則當夸

希拉受有電浪時。
 其中鎳屑黏合。而
 電流即得通過其
 中。故^A即被吸下。



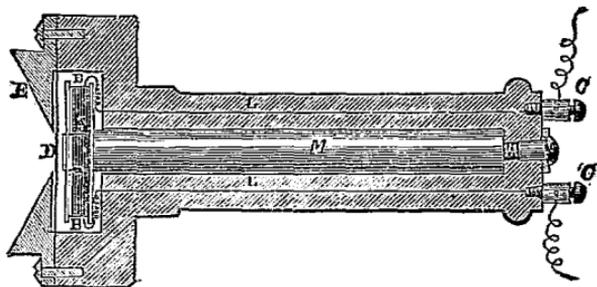
第二百十八圖

而^A之一端。即與^P 相觸。以致電流通至電鈴^D。而使^M擊動。此^M擊
 於夸希拉上。則使鎳屑鬆散。而電即因之復不通。
 而^S之曲銅絲。因彈性之作用。即復將^A提起。
 須待發信器處復發火花時。則電流復照前通過。
故發信器處。每發一火花。則受信器處。起相當
之應響。此所以能在二地傳信也。又科學家考得
發信器及受信器上之電線。若一端各與地相通。
而他端則與一直立於空中之長絲相通。則此二器

之能力。可以大增。此所以無線電報站處。有用直立於空中之極高長絲也。

電話 (Telephone) 乃藉電之作用。以便在二地互相談話之具。如第二百十九圖。可以明其大要。法

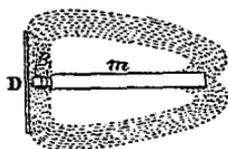
以一磁石 M 。一端以細銅絲 B 繞之多次。此絲之二極。則接



第 二 百 十 九 圖

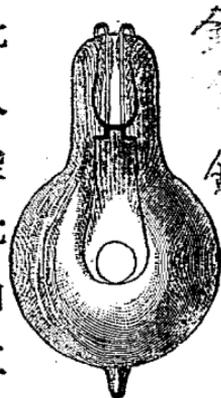
於 C 上。以便與他絲相連。而通至遠地之一與此同樣之器具上。在 M 磁石之端。則置一軟鐵之薄膜 D 。與磁石成直角。然不與之相接觸。今若將細銅絲中。通以電流。而在 B 口處談話。則聲浪傳於 D 膜。而使 D 膜振動。此 D 膜在 M 磁石之端振動。則使由磁石發至 D 膜之磁力線 (如第二百十圖)。亦稍起忽前忽後之移動。此磁力線之一部

分。經過銅絲繞^B中。忽而依一種方向移動。忽而依他種方向移動。故^B中因感應作用。所生之電。亦忽強忽弱。此忽強忽弱之電流。傳至他處之同樣器中。致使他處器中磁石吸薄鐵膜之作用。亦忽強忽弱。因而薄膜起相當之振動。將原來之聲浪。復照樣發出。此地之所以能藉此談話也。



第二百二十圖

尋常之所謂白熱燈(Incandescent lamp)者。如第一百二十一圖。係以電流通過一炭絲(或金屬絲)。使此絲熱至白熱之法也。然此絲通電後。如置在空氣中。則不久即燃燒。故須將此絲置在一抽去空氣之玻璃泡內。則可用之頗久。此絲之二端。接於玻璃泡上端之二白金絲上。將白金絲之二端。接於二電極上。則電即經過絲中。熱至白



第一百二十一圖

電燈

熱而發光矣。

此外更有所謂弧光燈(Arc lamp)者。法將二接觸之炭桿。以大電流(可用發電機所發之電流等)通過之。

待二炭桿相接處被熱至紅色時。使此二炭桿分開少許(約四分之一英寸)。則試得電流仍能繼續通過。而發極



第二百二十二圖

烈之光。如第二百二十二圖。是蓋因二桿之中。成有白熱之蒸氣也。且一桿端成凹形。而他桿端成凸形。其凹形桿端即陽極。而凸形桿端即陰極也。按此種通電之炭桿。若置於空氣中。則不久即因燃燒而銷耗。故若為燃燈之用。須將其置於一玻璃泡中。則可歷久。

愛克司
光線

當一千八百九十五年。荷蘭人樂琴
(Röntgen) 實驗真空管中之放電現象時。

發見一新現象。即由陰極放出之陰極光。苟經一

度反射。即具一特別之性質。當時不知此種光線。具何關係。故稱之爲 X 線 (X-Ray)。猶言未知之光線也。在今日則從發見者之名。稱之爲樂琴線 (Röntgen Ray)。欲得此線。可用第二百二十三圖之裝置。U 爲一凹形之陰極。裝於一真空玻璃球內。

球之中心處。有一厚白金片 P。由陰極發出之陰極線。經 P 反射後。即成樂琴線。如圖所示。若於暗室中



第二百二十三圖

試之。此線觸於玻璃壁。即發綠色之螢光。與尋常之陰極線異。又可用一螢光板受之。而以一手夾於樂琴線發生器與螢光板之間。即可由螢光板之底面。窺見手中之骨。如第二百二十四圖。樂琴線有此性質。故醫術上多用之。以檢



第二百二十四圖

查身體中所受之鎗彈。蓋樂琴雖可透過身體。而不能透過金屬品故也。

電動機

前第⁽³⁷⁰⁾頁論發電機時。見吾人若用力將發電子在電磁石之二極中轉動。則即有電發生。是故發電機係以工作使變為電力也。至電動機 (Motor) 則適與發電機之作用相反。蓋係以電流通於此種發電機之發電子上。因而使發電子起轉動之作用。因此發電子之轉動。而吾人可用以作種種工作。是故電動機係以電力變為工作也。電動機內容之大要。實與發電機之內容相同。不過一則以電通入發電子中使起轉動。而一則用力將發電子轉動使生電力耳。此種電動機既能使電力變為工作之能力。故為用極大。例如電車之行動。即因車上裝有一電動機。故通電後。即轉動而使車輪亦隨之轉動。使車進行也。

習題

1. 磁與電之要別何在。試略言之。

2. 試言電子學說之大要。又試將此學說與磁之原理比較之。
3. 試舉陰電及陽電之界說。
4. 試將起電盤之作用略言之。
5. 試將發電機之要理言之。又電動機(Motor)與發電機之要別何在。
6. 有二小球。在空氣中相距 10 呎。如一球受有 60 單位之陰電。而他球則受有 70 單位之陰電。問其相距之力。當為若干達因(參觀前第 374 頁可倫之定律)。 答 42 達因。

7. 試舉弗打、安培、及歐姆之界說。

△8. 設有四電池。考得每電池電位之差為 2 弗打。每電池中內部之阻力為 2.5 歐姆。今若用阻力 50 歐姆之線接連之。問如用異極線接法。則所得之電流為若干。又如用同極接線法。則所得之電流為若干(參觀前第 382 頁)。

$$I = \frac{E}{r + \frac{r_1}{n}} = \frac{2}{50 + \frac{2.5}{4}}$$

答用異極接線法。得電流 .1333 安培。

用同極接線法。得電流 .0395 安培。

9. 何謂電氣容量。又試將來頓瓶之作用言之。
10. 何謂電浪。試將無線電報之大要言之。

科學中通用之緊要度量衡表

(METRIC SYSTEM)

- (1) 度數(爲測量長短闊狹用)此數之標準爲公尺。
(呎)約爲地球赤道距離之十兆分之一。

Meter (m.) 公尺(即呎等於 39.3708 英寸。約
合吾國部尺 3.125 尺。)

Decimeter (dm.) 公寸(即粉等於十分之一呎)

Centimeter (cm.) 公分(即厘等於百分之一呎)

Millimeter (mm.) 公釐(即耗等於千分之一呎)

Dekameter (dkm.) 公丈(即杆等於 10 呎)

Hectometer (hm.) 公引(即栢等於 100 呎)

Kilometer (km.) 公里(即杆等於 1000 呎)

- (2) 量數(爲測量體積用)此數係以度數三次乘之
即得。例如公尺×公尺×公尺(即呎³)。所得
之數即爲立方公尺(即立方呎)。按量數之最
要者。爲以下二種。

Cubic Centimeter (c.c.) 立方公分(即立方厘等於
0.061027 英立方寸。約合吾國 0.30576 立方寸。)

Litre 公升等於 1000 立方公分(即升等於 1000 立
方厘。合 61.027 英立方寸。約合吾國部尺 30.5176
立方寸。)

- (3) 衡數(爲測量輕重用)此數之標準爲克。即在
4°C — 立方厘清水之重量。

Gram (gm.) 公分(即克等於英 15.4323 格林
grains。約合吾國庫平 0.0268 兩。)

Decigram (dg.) 公釐(即尅等於十分之一克)

Centigram (cg.) 公毫(即厘等於百分之一克)

Milligram (mg.) 公絲(即尅等於千分之一克)

Dekagram (dkg.) 公錢(即尅等於 10 克)

Hectogram (hg.) 公兩(即兩等於 100 克)

Kilogram (kg.) 公斤(即斤等於 1000 克)

英法二制互合表

(CONVERSION TABLES)

(1) 長 (Length)

英里 (Mile) 合爲秆.....用	1.60933 乘之	秆合爲英里...用	0.62137 乘之
英里 合爲呎.....用	1609.347 乘之	呎合爲英里...用	0.0006214 乘之
英碼 (Yards) 合爲呎...用	0.91440 乘之	呎合爲英碼...用	1.09361 乘之
英尺 (Feet) 合爲呎.....用	0.30480 乘之	呎合爲英尺...用	3.28083 乘之
英寸 (Inches) 合爲呎...用	2.54000 乘之	呎合爲英寸...用	0.39370 乘之
英寸合爲耗.....用	25.40005 乘之	耗合爲英寸...用	0.03937 乘之

(2) 面積 (Surface)

英方碼合爲方呎.....用	0.83613 乘之	方呎合爲英方碼...用	1.19599 乘之
英方尺合爲方呎.....用	0.09290 乘之	方呎合爲英方尺...用	10.76387 乘之
英方寸合爲方呎.....用	6.45163 乘之	方呎合爲英方寸...用	0.15500 乘之
英方寸合爲方耗.....用	645.163 乘之	方耗合爲英方寸...用	0.00155 乘之

(3) 體積 (Volume)

英立方碼合爲立方呎...用	0.76456 乘之	立方呎合爲英立方碼...用	1.30802 乘之
英立方尺合爲立方呎...用	0.02832 乘之	立方呎合爲英立方尺...用	35.31661 乘之
英立方寸合爲立方呎...用	16.38716 乘之	立方呎合爲英立方寸...用	0.06102 乘之
英立方尺合爲呎.....用	28.31701 乘之	呎合爲英立方尺.....用	0.03532 乘之
英立方寸合爲呎.....用	0.01639 乘之	呎合爲英立方寸.....用	61.02337 乘之
英伽倫 (Gallons) } 合爲呎 } ...用	3.78543 乘之	呎合爲伽倫.....用	0.26417 乘之
英磅(水)合爲呎.....用	0.45359 乘之	呎合爲英磅(水).....用	2.20462 乘之

(4) 重量 (Weight)

墩 (Ton) 合爲秆.....用	907.18486 乘之	秆合爲墩.....用	0.001102 乘之
磅 (Pound) 合爲秆.....用	0.45359 乘之	秆合爲磅.....用	2.20462 乘之
英兩 (Ounce) 合爲克...用	28.34953 乘之	克合爲英兩.....用	0.03527 乘之
格林 (Grain) 合爲克...用	0.64799 乘之	克合格林.....用	15.43236 乘之

本書中應用之器具及藥品表

I. 器具

- Air pump 抽氣筒 (全套)
- Amperemeter 安培表 (一個)
- Apparatus for determining the equality of angle of incidence and angle of reflection 射入角及射出角之試驗具如試驗 394 所用者 (一個)
- Apparatus for showing expansion of solids by heat 試驗固體漲縮器如試驗 89 中所用者 (一套)
- Automatic ringing bell 能自擊之鈴 (一個)
- Bag for holding gas 盛氣袋 (大小數個)
- Balance and weights 天平及法碼 (精粗各一套)
- Barometer 氣壓表 (一個)
- Bell glass 玻璃罩 (大小數個)
- Boroscope 空心球如試驗 83 中所用者 (二個)
- Bunsen cell 本生電池 (一個)
- Bunsen's burner or spirit lamp 本生燈或火酒燈 (二個)
- Bunsen's photometer 本生光度表 (一套)
- Burette 刻有度數之長玻璃管 (一個)
- Capillary tubes 微管 (大小全套)
- Cat's fur 貓皮 (數方)
- Clamp 鐵鉗 (一個)
- Coloured chalks 各種顏色粉筆 (各數枝)
- Coloured glass plates 各種顏色玻璃片 (數方)
- Communicating tubes 連通管 (一付)
- Compound microscope 複顯微鏡 (一個, 亦可免備)
- Concave mirror 凹面鏡 (大小各一)

- Cone 圓錐體 (二三個)
 Convex mirror 凸面鏡 (大小各一)
 Copper or tin sheets 薄錫片或銅片 (一卷)
 Copper wire and iron wire 銅絲及鐵絲 (大小各種)
 Cylindrical metallic vessel 圓式金類杯 (一個)
 Daniell cell 戴氏電池 (一個)
 Dynamo model 發電機模型 (一個, 亦可免備)
 Ebonite rod 烏木桿 (數根)
 Electric bell 電鈴 (一個)
 Electrophorus 起電盤 (一個)
 Electroscope 驗電器 (一個)
 Feather & coin tube 錢毛並落試驗器如試驗 65 中所用者
 Flannel 法蘭絨 (數方)
 Glass cylinder 玻璃筒 (大小數個)
 Glass prism 三稜鏡 (大小二三個)
 Glass rod 玻璃桿 (數根)
 Glass tubes 玻璃管 (大小各種)
 Glass vessel 玻璃杯 (大小方圓各種數只)
 Gramophone 留聲機器 (一只, 亦可免備)
 Grave Sande's ring 葛氏球圈 (一套)
 Helmholtz resonator 球形共鳴器 (一個)
 Holtz electrical machine 弗氏起電機 (一個)
 Hydraulic press 小水壓機 (一個)
 Hydrometer 浮秤 (一個)
 Incandescent lamp 白熱燈
 Insulated egg-shaped conductor 雞蛋式之傳電體如試驗
 112 中所用者
 Iron ball 鐵球 (大小各種數個)
 Iron filing 鐵屑 (數磅)
 Ivory ball 象牙球 (數個, 須相同者)

- Lead shots 鉛彈 (十餘磅)
- Leclenche's cell 雷氏電池 (四五個)
- Lens, concave, convex, etc. 各種透鏡 (一套)
- Leyden jar 來頓瓶 (二個)
- Magdeburg hemisphere 麥葛得堡半球 (二個)
- Magnet, horseshoe, and bar magnet 磁石 (數個)
- Magnetised needle 磁針
- Metallic bodies supported on glass stands 裝在玻璃架上之
金屬物體如試驗 100 中所用者
- Metallic cylinder for experimenting buoyancy 金屬圓筒如
試驗 88 中所用者
- Model of steam engine 汽機模型 (一個)
- Motor model 震動機模型 (一個, 亦可免備)
- Newton's coloured disc 奈端七色板 (一套)
- Nickel filing 鎳屑 (數磅)
- Ordinary bell 尋常之鈴 (一個)
- Organ pipe 風琴管 (二三個)
- Pascal's vases 各式無底玻璃器如試驗 76 中所用者
- Pith ball 通草球 (十餘個)
- Plane mirror 平面鏡 (大小數個)
- Proof-plane 驗電板 (一個)
- Pulleys 各種滑車
- Radiometer 熱射輪 (一個)
- Savarts wheel 測音齒輪 (一個)
- Silk 絲 (數磅)
- Specific gravity bottle 比重瓶 (大小二三個)
- Spectroscope 分光鏡 (一個)
- Spirit level 酒精平準器 (一個)
- Spring balance 簧秤 (半打)
- Square copper plates 方銅板 (二塊)

- Syren 測音器 (一個)
- Syringe for verifying Pascal's law 注射器如試驗 74 中所用者
- Telegraphic instrument 電報器具模型 (一套)
- Telephone instrument 電話器具模型 (一套)
- Thermometer 寒暑表 (華氏, 攝氏, 列氏, 各一)
- Thick glass slab 厚玻璃片 (二三塊)
- Tin tube 長錫管 (一個)
- Torsional pendulum 捩振動擺如試驗 10 中所用者 (一個)
- Tourmaline crystals 結晶電氣石 (二片)
- Tuning fork 音叉 (大小各種各二套)
- Voltmeter 弗打表 (一個)
- Water pump 抽水筒 (一個)
- X rays tube 愛克司光線管 (一個)
- Zinc slate 鋅片 (二塊)

II. 藥品

- Alcohol 酒精 (一瓶)
- Ammonium chloride 綠化銨 (一瓶)
- Benzene 偏蘇恩 (一瓶)
- Carbon plates 炭精片 (四五塊)
- Copper sulphate 硫酸銅 (一瓶)
- Graphite powder 石墨粉 (十餘磅)
- Manganese dioxide 二養化錳 (一瓶)
- Mercury 水銀 (三瓶)
- Nitric acid 硝酸 (一瓶)
- Potassium bichromate 重鉻酸鉀 (一瓶)
- Shellac 松香 (數磅)
- Sulphuric acid 硫酸 (一瓶)

正弦及正切表
(Table of Natural Sines and Tangents)

角度	正弦	正切	角度	正弦	正切	角度	正弦	正切
0	0.000	0.000	31	0.515	0.601	62	0.883	1.881
1	0.017	0.017	32	0.530	0.625	63	0.891	1.963
2	0.035	0.035	33	0.545	0.649	64	0.899	2.050
3	0.052	0.052	34	0.559	0.675	65	0.906	2.145
4	0.070	0.070	35	0.574	0.700	66	0.914	2.246
5	0.087	0.087	36	0.588	0.727	67	0.921	2.356
6	0.105	0.105	37	0.602	0.754	68	0.927	2.475
7	0.122	0.123	38	0.616	0.781	69	0.934	2.605
8	0.139	0.141	39	0.629	0.810	70	0.940	2.747
9	0.156	0.158	40	0.643	0.839	71	0.946	2.904
10	0.174	0.176	41	0.656	0.869	72	0.951	3.078
11	0.191	0.194	42	0.669	0.900	73	0.956	3.271
12	0.208	0.213	43	0.682	0.933	74	0.961	3.487
13	0.225	0.231	44	0.695	0.966	75	0.966	3.732
14	0.242	0.249	45	0.707	1.000	76	0.970	4.011
15	0.259	0.268	46	0.719	1.036	77	0.974	4.331
16	0.276	0.287	47	0.731	1.072	78	0.978	4.705
17	0.292	0.306	48	0.743	1.111	79	0.982	5.145
18	0.309	0.325	49	0.755	1.150	80	0.985	5.671
19	0.326	0.344	50	0.766	1.192	81	0.988	6.314
20	0.342	0.364	51	0.777	1.235	82	0.990	7.115
21	0.358	0.384	52	0.788	1.280	83	0.993	8.144
22	0.375	0.404	53	0.799	1.327	84	0.995	9.514
23	0.391	0.424	54	0.809	1.376	85	0.996	11.43
24	0.407	0.445	55	0.819	1.428	86	0.998	14.30
25	0.423	0.466	56	0.829	1.483	87	0.999	19.08
26	0.438	0.488	57	0.839	1.540	88	0.999	28.64
27	0.454	0.510	58	0.848	1.600	89	1.000	57.29
28	0.469	0.532	59	0.857	1.664	90	1.000	無限
29	0.485	0.554	60	0.866	1.732			
30	0.500	0.577	61	0.875	1.804			

中西名詞索引

INDEX

A

- Absolute unit 絕對標準, 190
 Absorption spectrum 吸收光帶, 132, 134
 Acceleration 加速率, 165
 Achromatic lens 減色透鏡, 142
 Action 主動力, 183, 192
 Activity 工率, 230
 Air dome 空氣罩, 303
 Air pump 抽氣筒, 299
 Ampère 安培, 378
 Ampéremeter 安培表, 378
 Amplitude 振幅, 24, 205
 Angle of deviation 離角, 101
 „ „ incidence 射入角, 72, 78, 101
 „ „ reflection 射出角, 78
 „ „ refraction 屈折角, 101
 Anode 陰極, 367
 Antinode 腹點, 52
 Arc lamp 弧光燈, 394
 Archimedes' principle 亞幾默德氏之定律, 232
 Arm 桿臂, 243
 Armature 發電子, 371
 Astronomical telescope 星學遠鏡, 121
 Atmosphere 氣壓, 295
 Atom 原子, 7

B

- Balloon 氣球, 308
 Barometer 氣壓表, 296
 Beats 升沈, 32
 Bichromate cell 重鉻酸電池, 369

- Boiling point 沸點, 319, 333
 Boyle's law 波以耳氏之定律, 304
 Bright lined spectrum 輝線光帶, 132, 133
 Bunsen's cell 本生電池, 368
 „ photometer 本生光度表, 74
 Buoyancy 浮力, 281, 306

C

- Calorie 加路里, 328
 Candle power 燭光, 76
 Capacity 電氣容量, 383
 Capillary phenomena 微管現象, 267
 Cathode 陽極, 367
 Caustic by reflection 反射曲線, 96
 Cell 電池, 364, 366
 Center of curvature 中心點, 84
 „ „ gravity 重心, 220
 Centigrade thermometer 攝氏表, 319
 Centrifugal force 離心力, 186
 Centripetal force 向心力, 186
 Charles' law 查爾氏之定律, 326
 Chladni's figure 克氏音圖, 60
 Chromatic aberration 色收差, 141
 Coefficient of expansion 漲率, 322
 „ „, linear expansion 長短漲率, 323
 Coefficient of superficial expansion 面積之漲率, 323
 Coefficient of cubical expansion 體積之漲率, 323
 Coherer 夸希拉, 390

Cohesive force 凝聚力, 265
 Collimator 入光筒, 131
 Columbus' law 可倫之定律, 374
 Commutator 反向器, 372
 Complete vibration 完全振動, 17,
 204
 Complimentary colors 補色, 147
 Composition of velocities 數種速率
 合併, 171
 Compound microscope 複顯微鏡,
 120
 Concave mirror 凹面鏡, 84
 Concavo-convex lens 凹凸透鏡, 109
 Condensation 密部, 22
 Condenser 蓄電器, 385
 Condensing pump 壓氣筒, 299
 Conduction 對流, 336, 338
 Conductor 傳導體, 355
 Conjugate focus 共軛點, 88
 Conservation of matter 物質不滅, 3
 Conservative of energy 能力不滅, 8
 Consonance 和音, 44
 Continuous spectrum 連續光帶, 132,
 133
 Convection 對流, 336, 338
 Converging lens 聚光透鏡, 109
 Convex mirror 凸面鏡, 84
 Convexo-concave lens 凸凹透鏡, 109
 Critical angle 臨界角, 126
 Current 電流, 367
 Curvilinear motion 曲線運動, 164

D

Daniell cell 戴氏電池, 368
 Degree 度, 319
 Density 密度, 283
 Diatonic scale 八音階, 45
 Diffused light 散光, 97
 Dispersion of light 光之分散, 129
 Dissonance 乖音, 44
 Diverging lens 散光透鏡, 109

Divisibility 可分性, 7
 Double concave lens 雙凹透鏡, 109
 „ convex lens 雙凸透鏡, 109
 Dynamo 發電機, 370
 Dyne 達因, 190

E

Ebullition 沸騰, 333
 Echo 回聲, 29
 Efficiency 有效率, 240
 Effort 主力, 238
 Elasticity 彈性, 28
 Electric bell 電鈴, 386
 „ wave 電浪, 389
 Electrical machine 起電機, 362
 Electricity 電, 352
 Electrified 帶電, 353
 Electro-magnet 電磁石, 372
 Electromotive force 動電力, 375
 Electron theory 電子學說, 357
 Electrophorus 起電盤, 361
 Electroscope 驗電器, 354
 Electrostatic unit of charge 電氣單
 位, 373
 Energy 能力, 1, 2, 8, 281
 Equilibrium 平衡, 212, 221
 Evaporation 蒸發, 333
 Extension 填充性, 5

F

Fahrenheit thermometer 華氏表,
 320
 Falling bodies 墜體, 196
 Field of force 磁力場, 351
 First class lever 第一類槓桿, 242
 First system of pulleys 第一類合
 併滑車, 249
 Fixed pulley 定滑車, 247
 Fizeau's method for determining
 velocity of light 飛氏之法, 67

Flattened 減低, 47
 Fluid 流體, 10
 Flying machine 飛機, 308
 Foot pound 呎磅, 227
 Foot poundal 呎磅度, 227
 Force pump 壓水筒, 302
 Forced vibration 強迫振動, 33
 Frequency 振動次數, 39
 Freezing point 冰點, 319
 Fundamental tone 原音, 44, 51
 Fulcrum 支點, 242
 Fusion 融解, 331

G

Galileo's telescope 加氏望鏡, 122
 Galvanic cell 弗氏電池, 357
 Gamut 八音階, 45
 Gas 氣體, 10
 Gram centimeter 克糰, 227
 Gramophone 留聲機器, 61
 Grave Sande's ring 葛氏球圍, 315
 Gravitation 吸力, 196
 Gravitational unit 重力標準, 189
 Gravity 地心吸力, 196

H

Harmonics 倍音, 44
 Heat 熱, 314
 „ of fusion 融解熱, 332
 „ „ vaporization 氣化熱, 334
 Helmholtz resonator 球形共鳴器, 35
 Horse power 馬力, 230
 Humanistic studies 人爲科學, 1
 Hydraulic press 水壓機, 272
 Hydrometer 浮秤, 287
 Hydrostatics 流體力學, 264

I

Image 像, 65
 Impenetrability 不可入性, 5

Impulse 外力, 181
 Incandescent lamp 白熱燈, 393
 Inclined plane 斜面, 241, 256
 Index of refraction 屈折率, 101
 Induction 感應作用, 357
 Inductor 感應片, 363
 Inertia 慣性, 6
 Interference 干涉, 32
 Intensity of illumination 光度, 70
 „ „, sound 音之強弱, 37, 41
 Interval 音比, 45

J

Joule 佳爾, 228, 348

K

Keynote 首音, 46
 Kilowatt 千瓦德, 230
 Kinematics 運動學, 163
 Kinetic energy 運動之能力, 232, 234
 Kinetics 動力學, 163, 173

L

Law of conservation of energy 能力不滅之定律, 8
 Law of conservation of matter 物質不滅之定律, 3
 Law of inertia 慣性律, 185
 „ machines 機械之定律, 239
 „ „ parallelograms 平行方形定律, 215
 Law of reflection of light 光線反射之定律, 79
 Leclanche's cell 雷氏電池, 367
 Lens 透鏡, 109
 Lever 槓桿, 241, 242
 Leyden jar 萊頓瓶, 385
 Light 光, 64
 Light wave 光浪, 150
 Line of force 磁力線, 351

Liquid 液體, 10
 Longitudinal vibration 直振動, 18
 Loop 腹點, 52
 Loudness of sound 聲之大小, 37, 41
 Luminiferous ether 以太, 156

M

Machines 機械, 163, 237
 Magdeburg hemisphere 麥葛得堡半球, 293
 Magnet 磁石, 348
 Magnetism 磁, 348
 Mass 質量, 5
 Matter 物質, 1, 2
 Mechanical advantage 機械之利, 238
 " equivalent of heat 工作當量, 344
 Mechanics 力學, 162
 " of fluids 流體力學, 264
 " solids 固體力學, 162
 Medium 媒介, 15
 Melting point 融解度, 331
 Molecule 分子, 7
 Moments 能率, 244
 Momentum 運動量, 179
 Motion 運動, 163
 Motor 電動機, 396
 Movable pulley 動滑車, 247
 Multiple reflectio 多次反射, 82
 Musical scale 音階, 44
 " sound 樂音, 37

N

Natural Sciences 自然科學, 1
 Negative electricity 陰電, 354
 " electrode 陰極, 367
 Neutral equilibrium 中立平衡, 221
 Newton's disc 奈端七色板, 146
 " law of motion 奈端運動之定律, 182

Newton's law of universal gravitation 奈端吸力之定律, 207
 Node 節點, 52
 Noise 噪音, 37
 Non-conductors 不傳電體, 356
 North pole 北極, 350

O

Ohm 歐姆, 379
 Opera glass 雙眼鏡, 122
 Optical center 光點, 111
 Organ pipe 風琴管, 55
 Overtone 副音, 53

P

Partial tone 副音, 53
 Pascal's law 巴氏流體傳力之定律, 270
 Pendulum 擺, 203
 Period of complete vibration 完全振動週期, 204
 Period of vibration 振動週期, 24
 Phase 相位, 23
 Phenomena 現象, 3
 Pitch 旋距, 260
 " of sound 聲之高低, 37, 38
 Plane mirror 平面鏡, 79
 Plano-concave lens 平凹透鏡, 110
 " convex lens 平凸透鏡, 109
 Poles 極, 350
 Porosity 有孔性, 6
 Positive electricity 陽電, 354
 " electrode 陽極, 366
 Potential difference 電位之差, 375
 " energy 位置能力, 232
 Poundal 磅度, 190
 Power 工率, 230; 主力, 238; 主力點, 242
 Pressure 壓力, 270
 Primary colours 原色, 148
 " rainbow 正虹, 140

Principal axis 主軸, 111
 „ focal length 焦點距離, 112
 „ focus 焦點, 85
 Prism 三稜鏡, 107
 Proof plane 驗電板, 357
 Properties, general 公性, 3
 „ special or contingent 特性, 7
 Pulley 滑車, 241, 247
 Pump 唧筒, 298

Q

Quality of sound 音色, 音趣, 37, 43
 Quantity of heat 熱量, 318

R

Rainbow 虹, 136
 Radiation 輻射, 337, 340
 Raanometer 熱射輪, 341
 Rarefaction 稀部, 22
 Reaction 反動力, 183, 192
 Real focus 真焦點, 85
 Réaumur thermometer 列氏表, 320
 Receiver 受信器, 387
 Rectilinear motion 直線運動, 164
 Reflection of light 光之反射, 77
 „ „ sound 聲之反射, 29
 Refracting angle 折角, 107
 Refraction of light 光之屈折, 98
 „ „ sound 聲之屈折, 30
 Resistance 抵抗力, 238, 379
 Resolution of velocities 速率之分解, 176
 Resonance 共鳴, 34
 Reverberation 殷雷, 29
 Röntgen rays 愛克司光線, 396

S

Savart's wheel 測音齒輪, 40
 Screw 螺旋, 241, 260

Second class lever 第二類槓桿, 243
 „ system of pulleys 第二類合併滑車, 251
 Secondary axis 副軸, 111
 „ rainbow 副虹, 140
 Shadow 影, 65
 Sharpened 加高, 47
 Simple harmonic motion 單位振動, 10
 Simple machine 簡單機械, 241
 „ microscope 單顯微鏡, 119
 Snell's law 斯氏之定律, 103
 Solid 固體, 10
 Sound 聲, 14
 „ wave 聲浪, 21
 South pole 南極, 350
 Spark 火花, 361
 Specific gravity 比重, 288
 „ heat 比熱, 328
 Spectroscope 分光鏡, 131
 Spectrum 光帶, 130
 Speed 速, 164
 Spherical aberration 球面散差, 94, 125
 Spherical mirror 球面鏡, 79
 Stable equilibrium 安定平衡, 221
 Standard candle 標準燭, 76
 Statics 靜力學, 163, 212
 Steam engine 汽機, 344
 Strength of current 電流之多寡, 378
 Surface tension 表面張力, 255
 Sympathetic vibration 感應振動, 34
 Syren 測音器, 40

T

Telegraph 電報, 387
 Telephone 電話, 392
 Temperature 熱度, 318
 Theory of light 成光之理, 149
 Thermometer 寒暑表, 318
 Third class lever 第三類槓桿, 243

Third system of pulleys 第三類合併滑車, 252
 Three states of matter 物質之三態, 10
 Tonic 首音, 46
 Torricellian experiment 脫而昔里試驗, 294
 Torsional vibration 振振動, 18
 Total reflection 全反射, 127
 Tourmaline crystal 結晶電氣石, 157
 Transmission 傳達, 20
 Transmitter 發信器, 387
 Transverse vibration 橫振動, 18
 Tuning fork 音叉, 14

U

Uniform acceleration 等加速率, 165
 „ motion 等速運動, 164
 „ velocity 等速率, 165
 Unstable equilibrium 不安定平衡, 221

V

Vacuum 真空, 294
 Vaporization 氣化, 331, 333
 Variable acceleration 不等加速率, 165

Variable motion 不等速運動, 164
 „ velocity 不等速率, 165
 Velocity 速率, 164
 „ of sound 聲之速率, 25
 Ventilation 換氣法, 339
 Vibration 振動, 17
 „ rate 振動次數, 39
 Virtual focus 假焦點, 85, 113
 Volt 弗打, 376
 Voltaic cell 弗氏電池, 367
 Voltmeter 弗打表, 377

W

Water pump 抽水筒, 300
 Watt 瓦德, 230
 Wave length 浪長, 153
 Wedge 尖劈, 241, 259
 Weight 重量, 5; 抵力, 238; 抵力點, 242
 Wheel and axle 輪軸, 241, 254
 Wind refraction 風折, 30
 Wireless telegraphy 無線電報, 389
 Work 工作, 225

X

X rays 愛克司光線, 395

教育部審定

實用教科書 物理學

陳榘編 一冊 一元三角

本書分爲八編專供中等學校之用凡近世新學說搜入靡遺論理精密文詞明暢洵爲教科書中之善本

審定
批詞

該書敘述論理實驗簡要精審學者循此以驗諸實際獲益殊多應准審定作爲中學教科用書

◎商務印書館出版

及(93)

The New Scientific Series:—Physics

Approved by the Board of Education

Commercial Press, Limited

All rights reserved

中華民國十二年五月初版

（民國新物 理 學）

（教科書）
（布面）每冊定價大洋壹元陸角
（紙面）每冊定價大洋壹元陸角
（外埠酌加運費匯費）

編纂者 江蘇王兼善

發行者 商務印書館

印刷所 上海北河南路北首寶山路 商務印書館

總發行所 上海棋盤街中市 商務印書館

分售處

北京天津保定奉天吉林龍江
濟南太原開封洛陽西安南京
杭州蘭谿安慶蕪湖南昌漢口
商務印書館分館
長沙常德衡州成都重慶瀘縣
福州廣州潮州香港梧州雲南
貴陽 張家口 新嘉坡

此書有著作權翻印必究

中華民國十二年五月三十日稟部註冊六月二十日領到文字第七十三號執照

