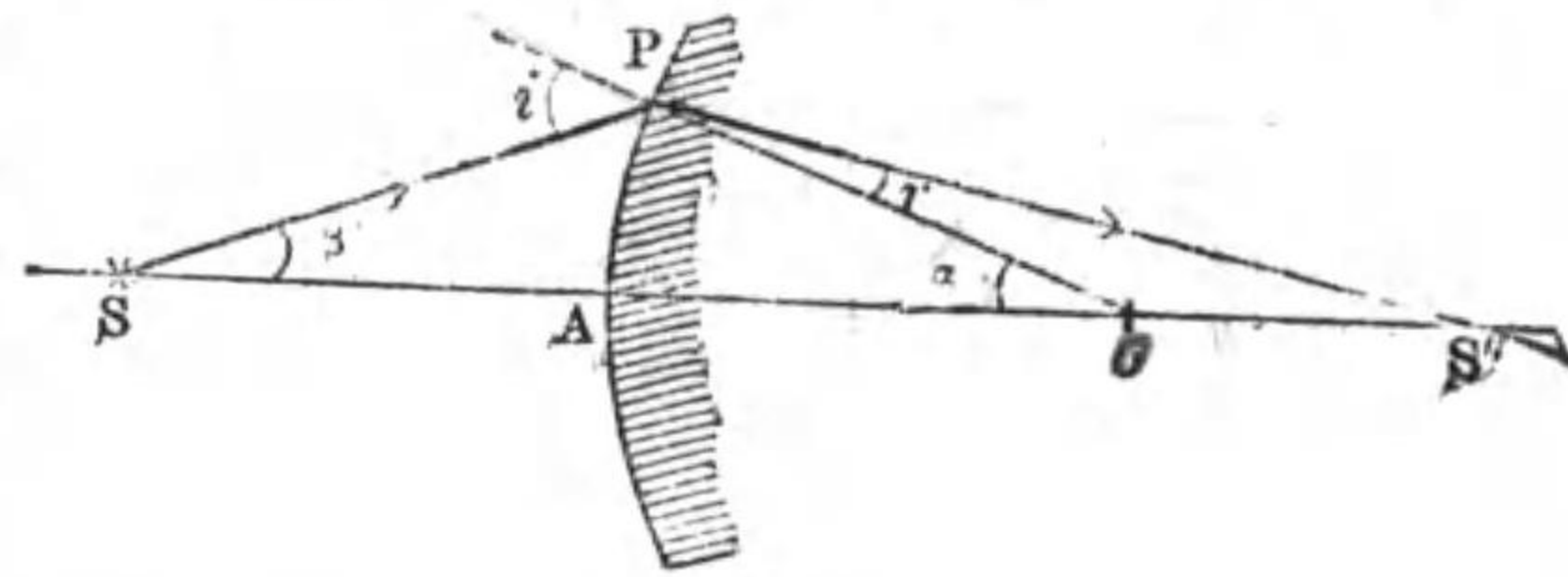


175. レンズの公式の導出

先づ光が空気中より他の球面にて境されたる透明體中に入る場合を論ぜん。圖に於て境界面 AP は O を中心とせる球面にして此面の左は空気右は屈折率 n なる透明體とす。光點 S より發する光線の一なる SP を取りて考ふるに OP

線は境界面に於ける法線なるが故に i は入射角、 r は屈折角なり故に $\sin i = n \sin r$



$\triangle SPO$ 及び $\triangle S'PO$ に於て

$$\frac{OS}{PS} = \frac{\sin i}{\sin a}, \quad \frac{OS'}{PS'} = \frac{\sin r}{\sin a}$$

$$\therefore \frac{OS}{PS} \cdot \frac{PS'}{OS'} = \frac{\sin i}{\sin r} = n$$

今球の半径 $= r$, 光點の位置 $AS = a$, 及び $AS' = a'$ とし、又 AP が AS に比して極めて小なる場合のみを考ふれば

$$OS = a + r \quad OS \doteq AS = a$$

$$OS' = a' - r \quad OS' \doteq AS' = a'$$

$$\therefore \frac{OS}{PS} \cdot \frac{PS'}{OS'} = \frac{a+r}{a} \cdot \frac{a'}{a'-r} = n$$

$$\text{或、} (a+r)a' = n(a'-r)a$$

$$ra' + nra = (n-1)aa'$$

$$\therefore \frac{1}{a} + \frac{n}{a'} = \frac{n-1}{r}$$

此故に鏡の場合の如く S より發して他の透明體中に入る光線の、中入射角の小なるものは總て AS 線上の一點 S' に於て會すべし。

若し S 點の位置によりて屈折光線が軸より遠ざかるときは (273 甲) 此光線を逆に延長して軸に會したる處を S' とし $AS' = -a'$ とすれば前と同様の式の成り立つを知る。若し又球面の凹部が光點の方に向ふときは (273 乙) 半径 $OA = -r$ 及び $AS' = -a'$ とすれば前と同様の式の成り立つを知る。

次にレンズの場合に於て論ぜんに (274 圖) S より發する光線の一なる SP は P に於てレンズの體中に入り PQS' の方向を取りて第二面に當り空気中に出で QS' の方向を取る、光線の進路は逆にすることを得るが故に $S'Q$ の光線は QP の方向に進むものと考ふれば 273 圖甲の場合に相當す、故に

$$BS = b, \quad BS' = b', \quad BQ \text{ 面の半径} = r'$$

とすれば

$$\frac{1}{b} + \frac{n}{-b'} = \frac{n-1}{r'}$$

今レンズを極めて薄きものと見做すときは

$AB \doteq 0$ 故に $AS' \doteq BS'$ 即ち $a' = b'$ と見做すことを

得、故に S, S, S' の三點の位置 a, b, a' に關して次の二式を得

$$\frac{1}{a} + \frac{n}{a'} = \frac{n-1}{r}$$

$$\frac{1}{b} + \frac{n}{-a'} = \frac{n-1}{r'}$$

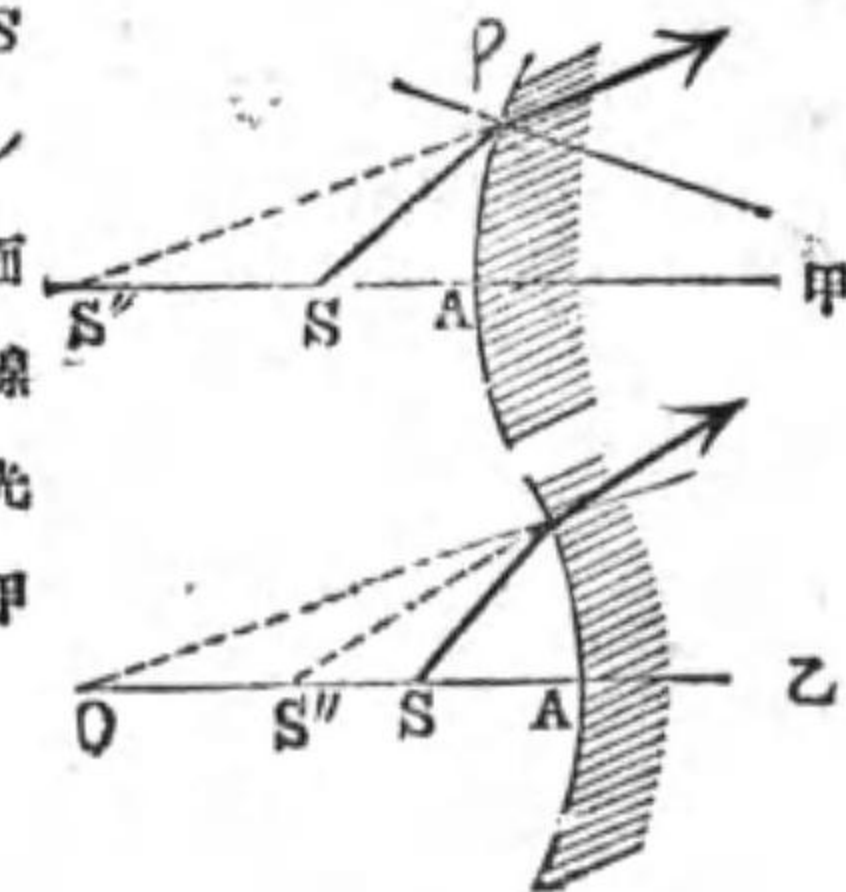
此兩式を加ふるときは

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$$

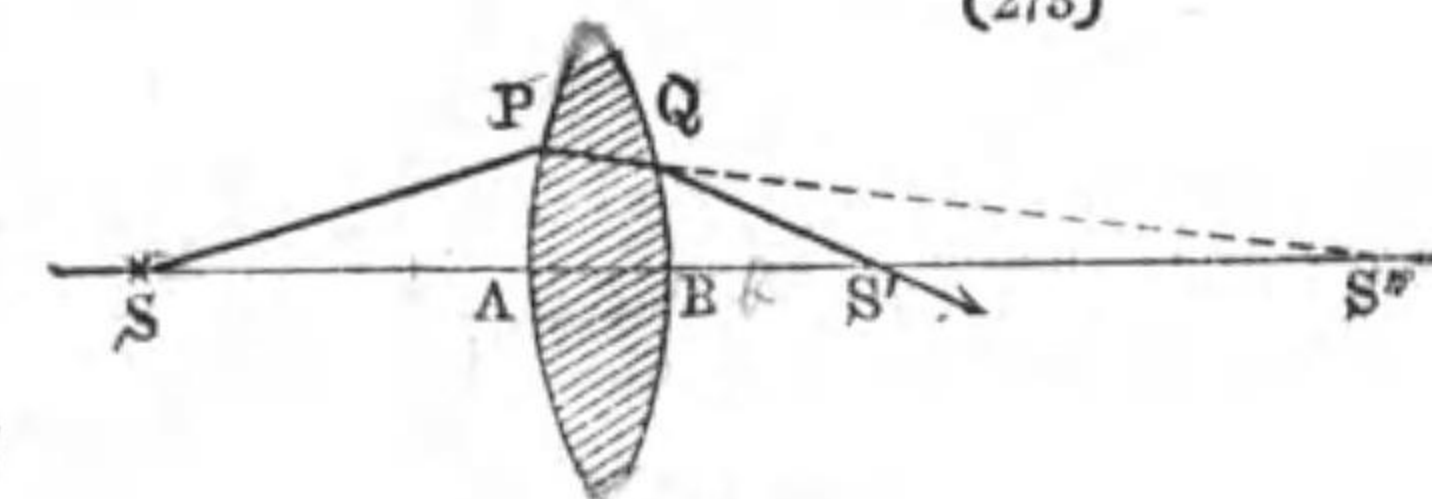
是れ即ちレンズの共軛點の位置 a, b の關係式なり、此式はレンズの面が凸なるときは其面の半径を正とし、凹なるときは負とし、平面なるときは ∞ とし、又 b が正なるときは實像、負なるときは虚像とすれば總ての場合に當はるなり。光點が極めて遠方にあるときは $a = \infty$ とし其時の b の値を f と書いて上式に入れば

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$$

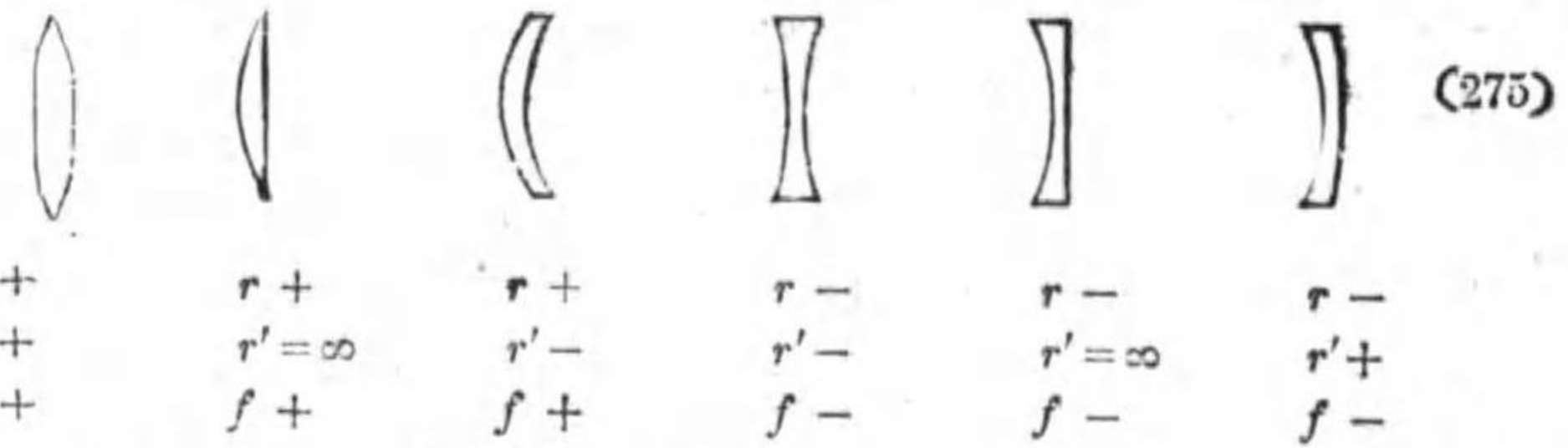
此 f の値は即ちレンズの焦點距離なり、 $n > 1$ なるとき即ち硝子製のレンズを空氣中に置く時の場合等に於ては、 r, r' に適當なる符號を附して考ふれば f は凸レンズに於ては正にして凹レンズに於ては負なるを見るべし



(273)



(274)

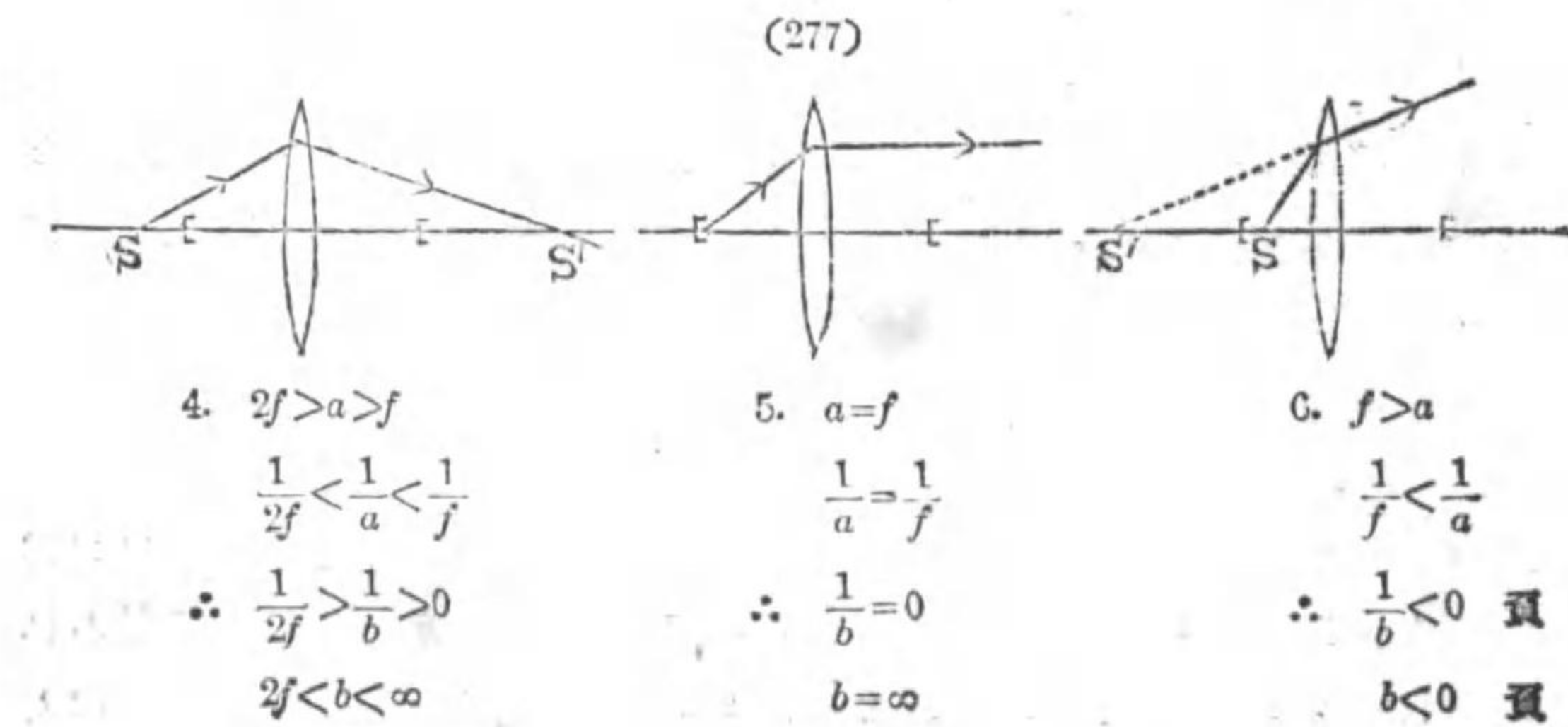
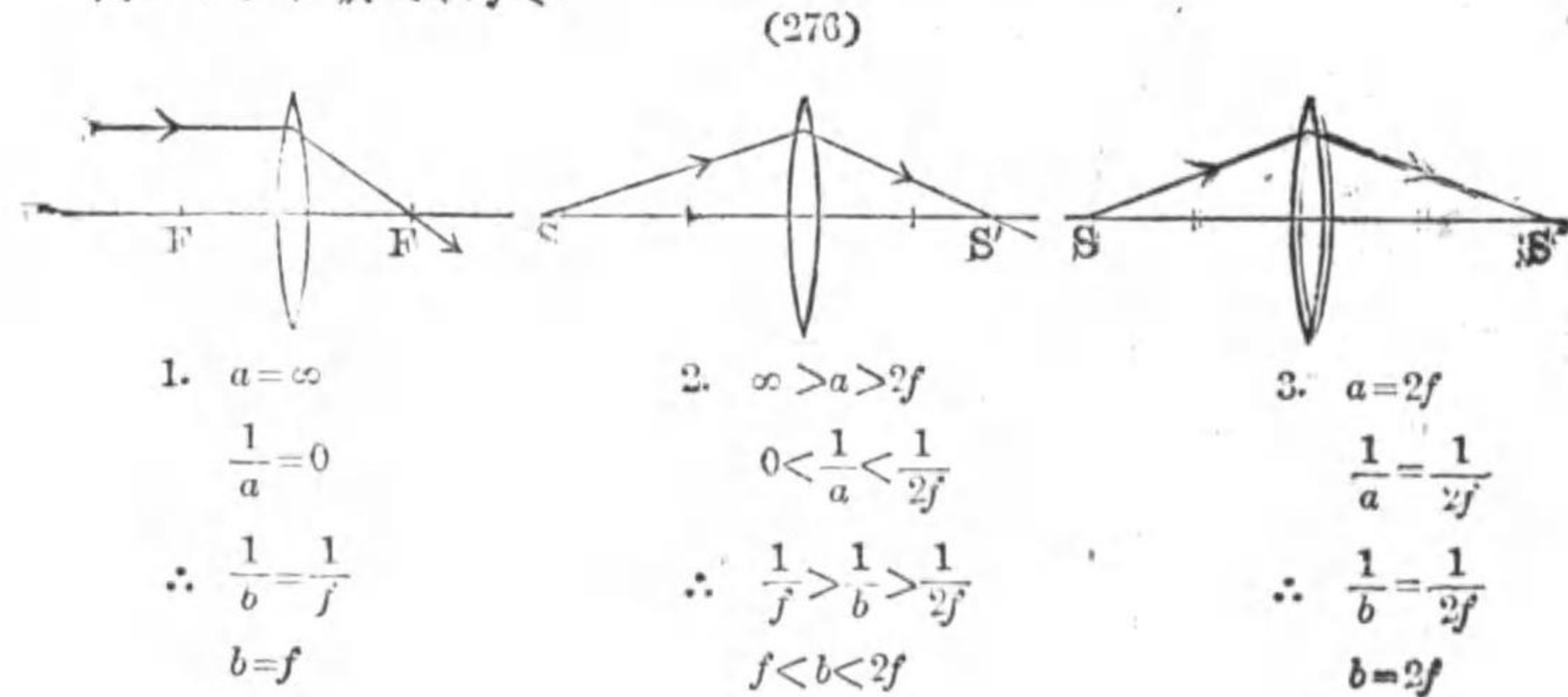


かくして光點の距離 a を常に正とし及び f は正負によりて適當の解釋を爲せば實驗上得たると同様のレンズの公式の成り立つを知るべし

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$$

175a. 共軛點の位置の吟味

凸レンズに於ては $f < 0$



凹レンズに於ては $f < 0$ なるが故に b は常に負なり。

問(1) 兩面の曲率半徑各 5 種なるクラウン硝子の兩凸レンズの焦點距離を求む。

解 クラウン硝子の屈折率は 1.5 なるが故にレンズの公式に於て $n=1.5$ $r=r'=5$ と置きて $f=5$ 種 を得。

(2) 一面の曲率半徑 3 寸他の一面は平面なるクラウン硝子の凹レンズの焦點距離を求む。

解 $n=1.5$ $r=-3$ $r'=\infty$

$$\frac{1}{f} = (1.5-1) \left(\frac{1}{-3} + 0 \right) = \frac{1}{-6} \quad \therefore f = 6 \text{ 寸}$$

第三章の複習

重要な事項

屈折の法則、屈折率、絶対屈折率、

空気及び水の屈折作用、曇氣樓

全反射、臨界角

プリズム、レンズ

重要な公式

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad b = \frac{af}{a-f}$$

$$n_{ab} \cdot n_{bc} \cdot n_{ca} = 1$$

問題

- (1) 屈折の法則を述べよ。
- (2) 屈折の第二法則を三角関数を用ひずして(幾何學によりて)述べよ。
- (3) 入射線境界面屈折率を與へて屈折線を求めよ。
- (4) 硝子の屈折率が $\frac{3}{2}$ なりとは何を意味するか。
- (5) 絶対屈折率とは何ぞや、何の用あるか。
- (6) 屈折率 n の物質の見掛の厚さは眞の厚さの $\frac{1}{n}$ なることを證せよ。
- (7) 曇氣樓に於て物體の像が空中に出現するときと地下に出現するときとあるは何の差違に基づくか。
- (8) 一のレンズによりて實物よりも小なる虚像を生ずるときは此レンズは凸なるか凹なるか。
- (9) 屈折率を測る法を問ふ。

解1. 直接法、 i 及び r を測り $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ により n を算出す。

2. 兩面平行なる透明體に於て $n = \frac{\text{眞の厚さ}}{\text{見掛の厚さ}}$ 。

3. プリズムの最少のフレ $n = \frac{\sin \frac{1}{2}(d+b)}{\sin \frac{1}{2}b}$

第三章の例題

- (1) 光が空気よりクラウン硝子に入るとき屈折率は1.5にしてフロント硝子に入るとき屈折率は1.6になるとき、クラウン硝子よりフロント硝子に入るとき屈折率を求めよ。 答 $\frac{16}{15}$
- (2) 焦點距離3尺の凸レンズを水面に置き軸に平行なる光線を當つるときは水中幾何の深さに焦點を生ずるか。 答 4尺。
解 251 圖に於て光線の進路を逆にして考ふるに、 S' 點に向つて進む光線が A, B 點に於て水面に當るときは屈折して S 點に會すべし、 AS' はレンズの焦點距離に等しく3尺なるを以て AS は4尺なり。
- (3) 焦點距離30寸の凸レンズの前方50寸の所に光點あり像の位置を求めよ。 答 75寸(レンズの後方)。
- (4) 凸レンズの前方2尺の所に光點を置きたるにレンズの後方2.5尺の所に像點を生じたりといふ、レンズの焦點距離を求めよ。 答 1.1尺。
- (5) 光點及び實像點をレンズより等しき距離に在らしめんには光點を何所に置くべきか。 答 $a=2f$ 。
- (6) $f=3$ 尺なる凸レンズの前方4尺の所に長さ5寸の物體を置くときは像の位置及び大き各幾何。 答 後方12尺、大き1.5尺。
- (7) 凸レンズの前方3尺の所に物體を置きたるに實物と實像との長さの比3:1なりしといふ、レンズの焦點距離を求めよ。 答 0.75尺。
- (8) 前問に於て實物と像との面積の比幾何。 答 9:1。
- (9) 光源 A の實像を凸レンズによりて B 點に生ぜしめたるに A, B 間の距離 c なり、レンズを B の方に d だけ近よせたるに亦 B 點に像を生ぜり、此レンズの焦點距離を求めよ。 答 $\frac{c^2-d^2}{4c}$

解 A 及び B よりレンズまでの距離を初めば a, b とし後に a', b' とせば $a+b=a'+b'=c$ にして且つ A, B 二點は共焦點なるを以て $a=b'$, $a'=b$ なり、又 $b=c-a$, $b'=c-(a+d)$ なるを以て $a=\frac{1}{2}(c-d)$, $b=\frac{1}{2}(c+d)$ を得、故に

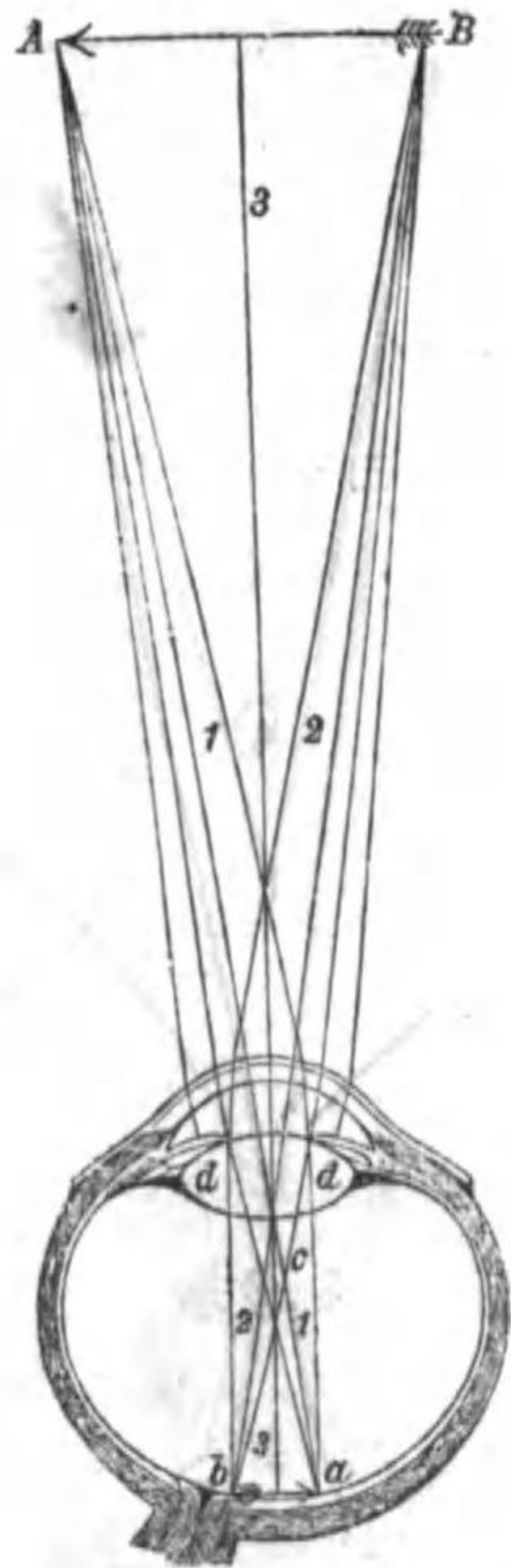
$$f = \frac{ab}{a+b} = \frac{c^2-d^2}{4c}$$

第四章 光學器械

176. 眼 Eye.

眼の形は略ぼ球状を爲す、外皮を白膜と云ひ、其前部稍突起して透明なる部分を角膜と云ふ、 dd は一の凸レンズにして水晶體と云ふ、之に接して虹彩と稱する膜あり其中央に瞳孔開く、水晶體の前部は水様液、後部は硝子體にて充たさる、視神経は後部より入り來り其末端は網状を爲して眼球の内部に擴がる之を網膜と云ふ。

虹彩は其伸縮によりて瞳孔の大きさを變じ以て眼球内に進入する光の量を加減す、水晶體には數條の筋肉附着しありて其彎曲の度を適當に變じ以て物體の像を丁度網膜の上に映ぜしむ、水晶體は屈折率を異にせる多くの層より成り中央より縁に進むに従ひ屈折率を減ず、之によりて球面收差を防ぐ、虹彩が水晶體の縁に當る光線を遮斷するも又球面收差を防ぐ效あり。水晶體の主軸は眼の視軸と云ふ (169 圖光線³)、視軸が網膜に會する點は視覺最も鋭敏に



(278)

して之を黄斑と云ふ。

177. 正視、近視、遠視

物體より發する光線は水晶體にて屈折せられ倒立したる實像を網膜上に生ず、物體の像を丁度網膜上に生ぜしめんには水晶體に附着する筋肉の伸縮によりて其彎曲の度を變ずるなり、此作用を眼の調節機能と云ふ。眼が調節し得る範圍は人によりて異なる。健全なる眼即ち正視眼にありては無限の遠距離より眼前10乃至15呎の處まで見るとを得、物體が眼に近き程網膜上の像は大にして従つて物體を精細に見得るものなり、然れども餘り近く物體を見るときは眼は苦痛を感ずるものなり、眼を勞することなくして最も精細に見得る距離は約25呎なり之を明視距離と云ふ。近視眼は水晶體の彎曲の度多き爲め遠距離の物體は其像を網膜の前方に結ぶが故に明瞭に見ること能はず、之に反して眼前15呎以内に在る物體にても見ることを得るなり、近視眼を補ふには凹レンズを以てす。遠視眼は水晶體扁平に過ぎ近距離の物體は其像を網膜の後に結ぶが故に遠き物體にあらざれば見ることを得ず、遠視眼を補ふには凸レンズを以てす。老眼は調節機能の衰弱のため近距離の物體を見るを得ざるなり、故に近き物體を見るときに限り凸レンズを用ふ。

眼鏡の度と稱するものはレンズの焦點距離を吋にて表はしたる數なり、又焦點距離を米にて表はしたる數の逆數を取りて何番と稱することあり、例へば八度の眼鏡の焦點距離は8吋にして、二番の眼鏡のは0.5米なり、眼によりて幾度の眼鏡を用ふべきかは次の例によりて理解すべし。

例(1) 眼前15種以内を見得る近視眼あり書見の爲めには幾度の眼鏡を用ふべきか。

解 正視眼の明視距離なる眼前25種に在る物體の虚像を凹レンズによりて眼前15種の處に生ぜしむれば可なり、

$$\text{故に } \frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$$

に於て $a=25$, $b=15$ と置けば $f=37.5$ を得、

故に焦點距離 37.5 種の凹レンズにして1種=0.4吋なるを以て $37.5 \times 0.4 = 15$ 即ち十五度なり。

(2) 眼前75種までを見得る遠視眼あり、幾度の眼鏡を用ふるときは25種の處の物體を見得るか。

解 $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ (凸レンズ虚像の公式)

$$a=25, b=75 \quad \therefore f=37.5$$

即ち十五度の凸レンズを用ふれば可なり。

(3) 例(1)の眼にて無限の遠距離の物體を見るには何度の眼鏡を要するか。

解 $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$

$$a=\infty, b=15 \quad \therefore f=15$$

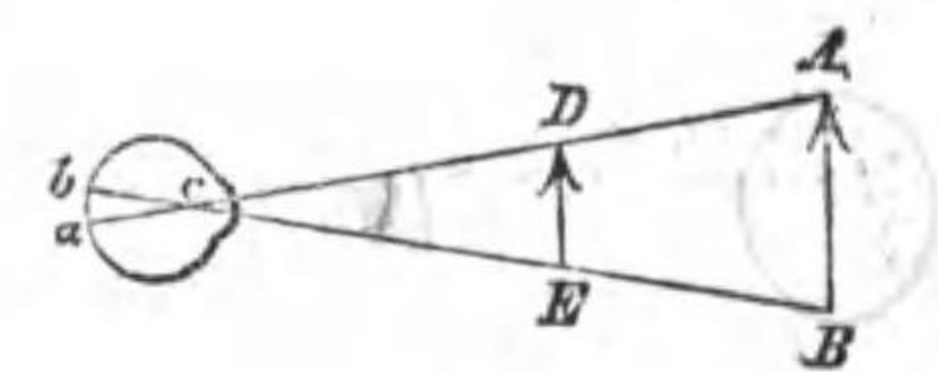
即ち焦點距離15種の凹レンズ(六度)を要す。

近視眼にありては眼鏡を成るべく眼に接近せしむ、像を眼に近く生ぜしめんが爲めなり。遠視眼にありては眼鏡を鼻先に掛く、眼鏡を眼より離して像を遠くに生ぜしめんが爲めなり。

178. 視角 Visual angle, 光角 Optical angle.

視角 物體の兩端より眼に引ける二直線の爲す角

を視角と云ふ。物體の見掛けの大きさは網膜上に映ずる像の大きさにて定まるものにして像の大きさは視角の大きさに比例す、故に AB, DE の如く視角相等しき物體は其見掛けの大きさが相等し、是れ網膜上に



(279)

生ずる像は兩者相等しく ab なるを以てなり、月と太陽と略ぼ相等しき大きさに見ゆるは其視角略ぼ相等しければなり。

又同一物體に在りては距離近きときは視角大にして、距離遠きときは視角小なり、太陽の視角は冬は大に、夏は小なり、之に依つて太陽は冬季は地球に近く、夏季は遠きを知る。一物體の長さ(圓形に見ゆる物體ならば)を l とし、物體の眼よりの距離を d とし、視角を θ とせば

$$\tan \frac{1}{2} \theta = \frac{\frac{1}{2} l}{d}$$

θ が小なるときは $\tan \frac{1}{2} \theta = \frac{1}{2} \theta$ (但し θ はラジアン)

故に $\frac{1}{2} \theta = \frac{\frac{1}{2} l}{d}$ 或は $\theta = \frac{l}{d}$

故に視角小なるときは一物體の眼よりの距離は視角に逆比例す。圓形に見ゆる物體に在りては其直徑の視角を視直徑と云ひ半徑の視角を視半徑と云ふ、太陽の視半徑は約 $16'$ なり。

光角 物體中の一點より左右兩眼に引ける二直線の爲す角を光角と云ふ。眼に近き點の光角は大にして遠

き點の光角は小なり。兩眼にて一物體を瞻視するには兩眼の視軸を物體の方に向はしむるを要す、故に物體の遠近即ち光角の大小に應じて眼球の向きは之に附着せる筋肉の作用によりて變化せらる。

179. 遠近の判断、實體視

物體が遠距離にあるときは其見掛けの大きさは小にして且つ大氣が光を吸収するにより物體の輪廓凹凸は不鮮明となり其色は淡くなる、故に遠距離の物體の距離を目測するには

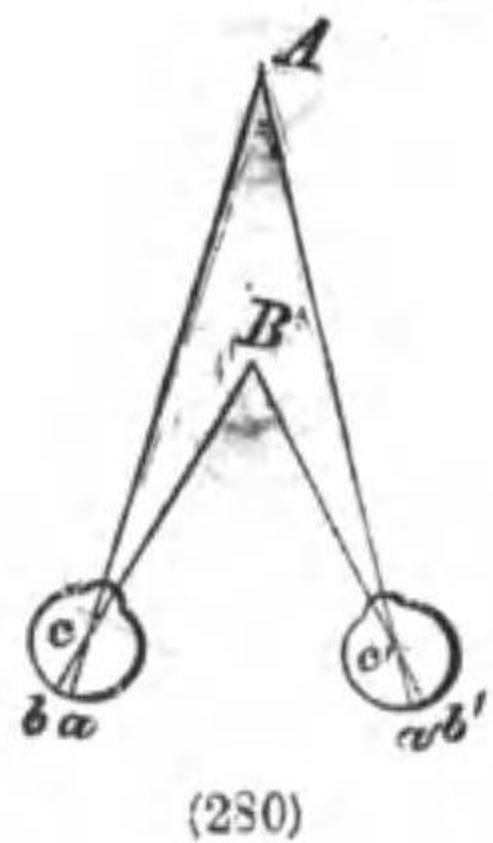
1. 既に大きさを知れる物體の視角の大小
2. 物體の輪廓の明、不明及び色の濃淡

を利用す。近距離に在る物體にありては重に

1. 光角の大小に應ずる調節
2. 水晶體の調節

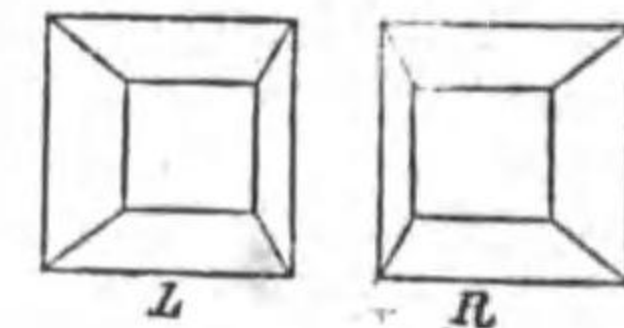
即ち筋肉が是等の調節を行ふことにより自然の經驗によりて遠近を判断するなり

實體視 吾人が物體の奥行を認むるを得るは兩眼を具有するが爲めなり、即ち右眼にては物體の右側を見左眼にては左側を見るが故に物體は浮き上がりて見ゆるなり、繪畫或は寫眞は如何に巧妙なるも實物の如く浮き上がりて見ゆることなし是れ繪畫等は一眼にて見たる



(280)

所を寫したればなり、故に若し同一物體を左眼にて見たる畫 L と右眼にて見たる畫 R とを併置し之を同時に兩眼にて見るときは畫は實物の如く浮き上がりて見ゆべし、茲に畫ける圖の間に名刺紙を置き L を左眼にて見、 R を右眼にて見ながら眼球を適當の位置に



281)

据えて兩圖を一致せしむるときは圖は浮上がりて見ゆべし、實體鏡 Stereoscope と稱する器械は上記の方法によりて畫を實體の様に見せしむる装置なり。」

180. 寫眞器械、幻燈器械

寫眞器械 其要部は暗函にして其一側に凸レンズを附し之に對せる側は摺硝子にて作る。レンズの前には絞りと稱する器ありてレンズに當る光の量を加減す、蛇腹の伸縮によりてレンズと摺硝子との距離を適當にし以て物體の鮮明なる像を摺硝子上に生ぜしむ、然る後摺硝子に代ふるに光に感ずる乾板を以てし其上に像を印せしむ。

幻燈器械 は硝子板等に畫きたる繪畫を強き光にて照らし之を凸レンズにて受けて擴大したる實像を衝立上に生ぜしむる器械なり。繪畫を照らすには太陽光又は電氣弧燈等の強き光を凸レンズによりて畫板に集注せしむるなり。

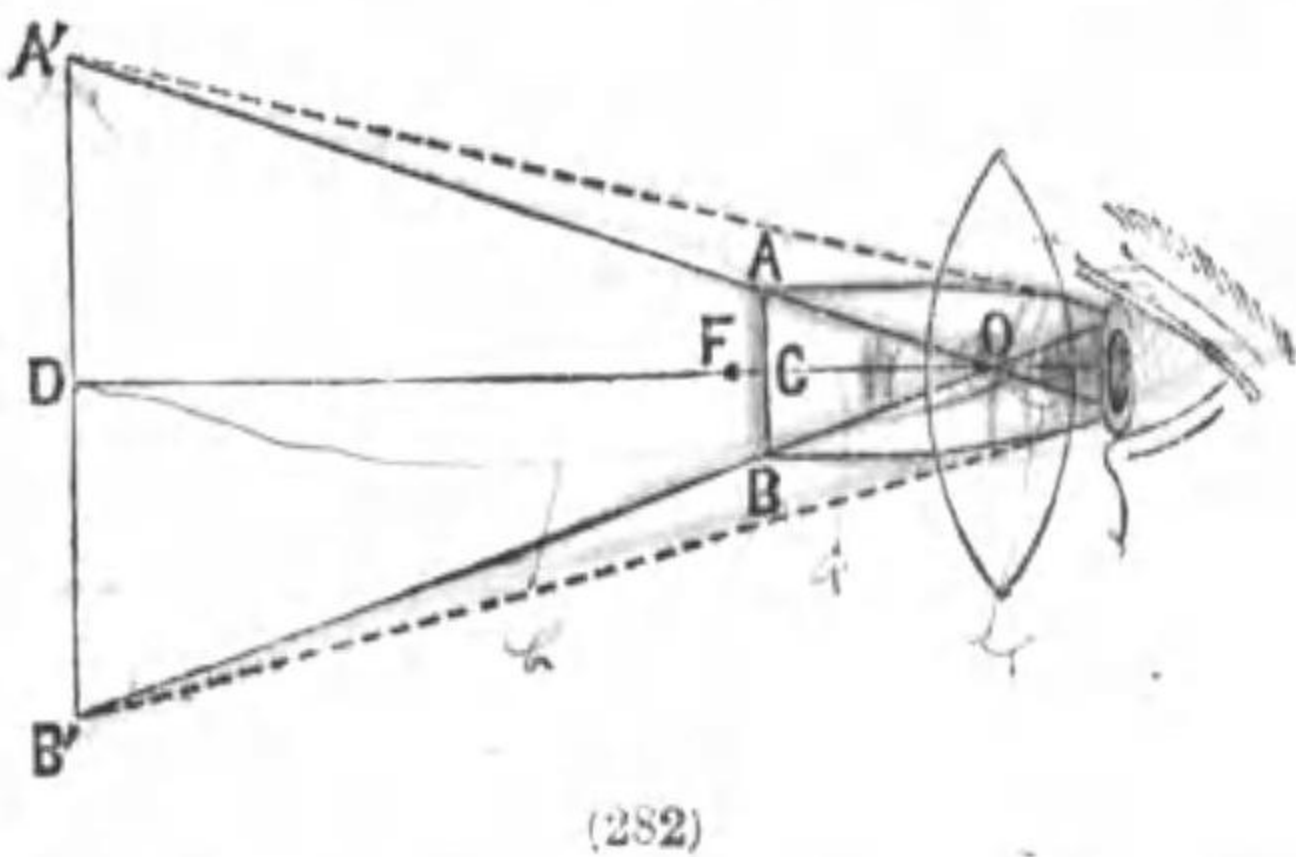
181. 蟲眼鏡 (單顯微鏡) Simple microscope.

蟲眼鏡は一個の凸レンズにして其焦點以内に物體を置き擴大したる虚像を生ぜしむるなり。

倍率 Magnifying power. 眼より明視距離の位置に生ぜしめたる像の大きさ(長さ)と實物との比を單顯微鏡の倍率と云ふ。圖に於て AB を物體、 $A'B'$ を像とすれば

$$\text{倍率} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OD}{OC}$$

實際には物體を置く位置は極めて焦點



(282)

F に近きを以て OC を焦點距離と見るを得、又眼はレンズに極めて接近するを以て OD を明視距離と見るを得、故に

$$\text{倍率} = \frac{\text{明視距離}}{\text{焦點距離}}$$

d を明視距離、 f をレンズの焦點距離とし、レンズより物體、像、眼までの距離を夫々 a, b, e とすれば

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad \therefore a = \frac{bf}{b+f}$$

$$\text{倍率} = \frac{OD}{OC} = \frac{b}{a} = \frac{b+f}{f} = \frac{d-e+f}{f} = \frac{d-e}{f} + 1$$

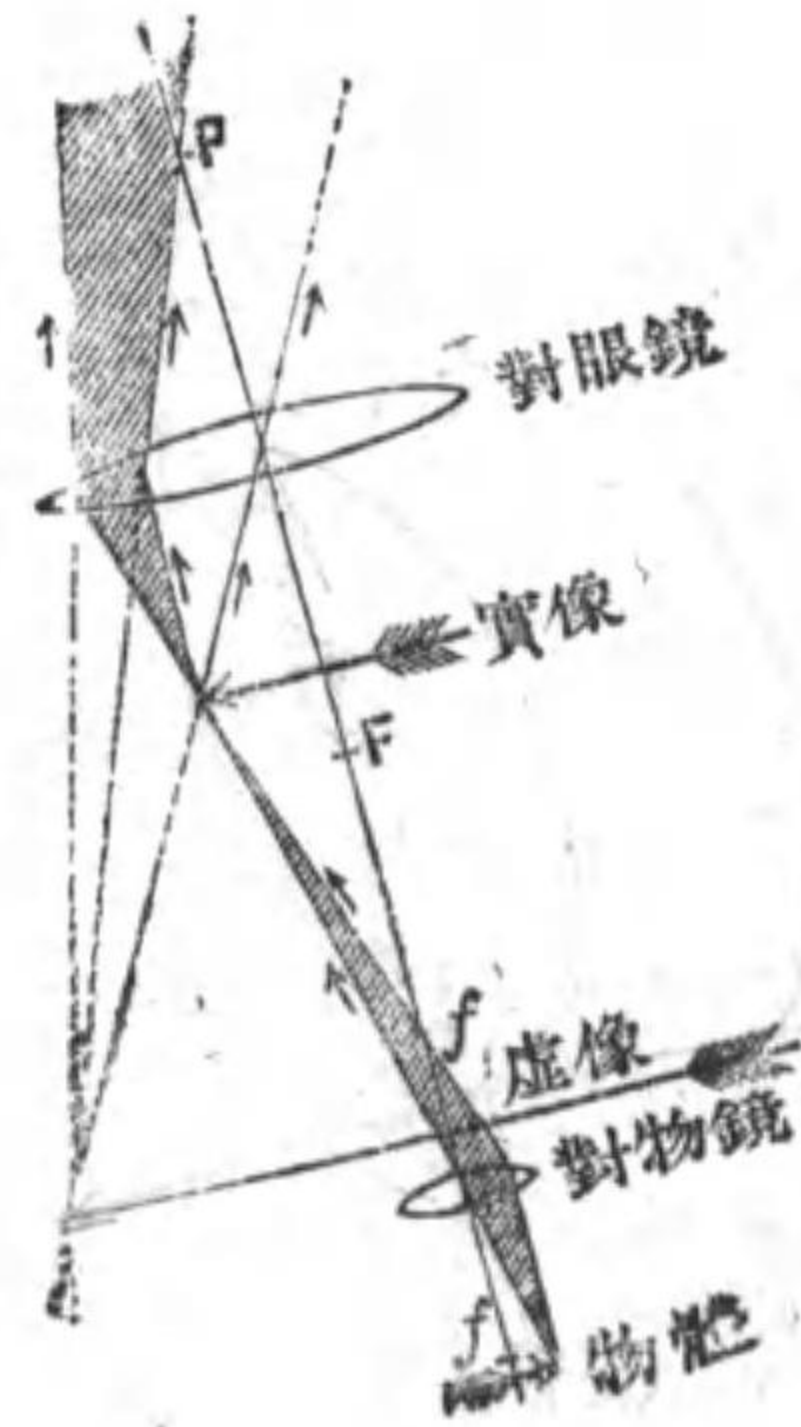
故にレンズの焦點距離及びレンズと眼との距離小なる程其倍率は大きなり、 d に比して e, f を小なりとして $d-e+f$

を d と置くときは倍率 $= \frac{d}{f}$ となる、即ち前に得たる式と同じ。

182. 顯微鏡 Microscope.

顯微鏡は二個の凸レンズを圓筒の兩端に嵌めたるものにして、物體に向へるレンズを對物鏡と云ひ、眼に向へるレンズを對眼鏡と云ふ、對物鏡は極めて短き焦點距離を有するものを用ふ。物體を對物鏡の焦點外に於て之に近く置くときは擴大したる實像を生ず (物體を焦點に接近して置くは像の)

擴大の度を大ならしめん爲めなり) 此實像を對眼鏡の焦點以内に在らしむる様にするときは更に擴大したる虚像を生ず (虚像より明視距離の處に) 像の作圖法



(283)

は圖に示すが如し、即ち物體中の一點より發せる光線の内軸に平行に進むものは對物鏡に當り屈折して其他側の焦點 f を通過し、對物鏡の中心を通過する光線は屈折せずして進む、兩光線の相會する處に實像を生ず、次に實像を一の物體と見做し軸に平行なる光線及び對眼鏡の中心を通過する光線を取りて考ふるときは前者は他側の焦點 F を通過し、後者は屈

折せずして進む、此二光線を逆に延長すれば其相會する處に虚像を生ず。

註 顯微鏡にありては對物鏡と對眼鏡との間隔は一定せるを以て像を作るには顯微鏡を進退せしめて實物と對物鏡との距離を變じ實像の位置を適當にし以て虚像をして丁度眼より明視距離の處に生ぜしむるなり。

*倍率 實物の長さを l 、對物鏡によりて生ぜる實像の長さを l' 、對眼鏡によりて明視距離の處に生ぜる虚像の長さを l'' とすれば

$$\text{倍率} = \frac{l''}{l} = \frac{l'' l'}{l' l}$$

$\frac{l''}{l'}$ は對眼鏡の倍率にして前節に於て得たる單顯微鏡と同様に $\frac{\text{明視距離}}{\text{焦點距離}}$ を以て表はすことを得。次に對物鏡より實物及び實像までの距離を a, b とすれば $\frac{l'}{l} = \frac{b}{a}$ なり、然るに a は略ぼ對物鏡の焦點距離に等しく又 b は一定なり (對眼鏡により虚像を明視距離なる一定の位置に生ぜしめん、 $\frac{l''}{l'}$ には其光源なる實像も亦一定の位置に置くこと必要なり)、 $\frac{l''}{l'}$ は對眼鏡の焦點距離に逆比例し、 $\frac{l'}{l}$ は對物鏡の焦點距離に逆比例するを以て顯微鏡の倍率は兩者の相乗積に逆比例す。

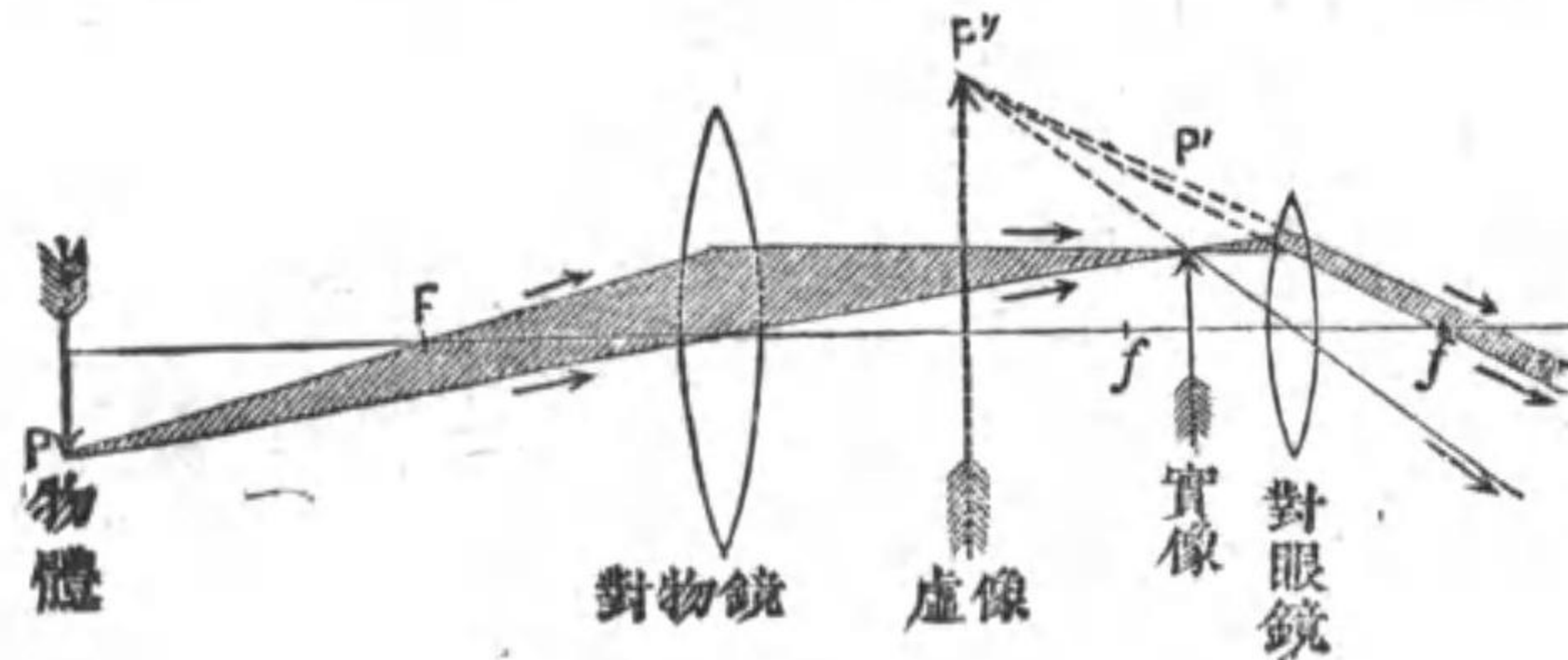
183. 望遠鏡 Telescope.

望遠鏡は天體觀測、測量等に使用せらる、屈折望遠鏡と反對望遠鏡との二種あり、屈折望遠鏡には次の三種あり。

1. 天體望遠鏡 太き圓筒の一端に長き焦點距離の凸

レンズ(對物鏡)を箆め、他端に細き圓筒を挿入し其端に短き焦點距離の凸レンズ(對眼鏡)を箆む、故に其構造は略ぼ顯微鏡に類す、但し顯微鏡に在りては對物對眼兩鏡の距離は一定なれども望遠鏡に在りては細き圓筒を進退せしめて兩鏡の距離を適宜に變ず。

像の作圖法。は圖に示すが如し、物體中の一 P より發する光線の内、對物鏡の中心を通過するものは屈折せ



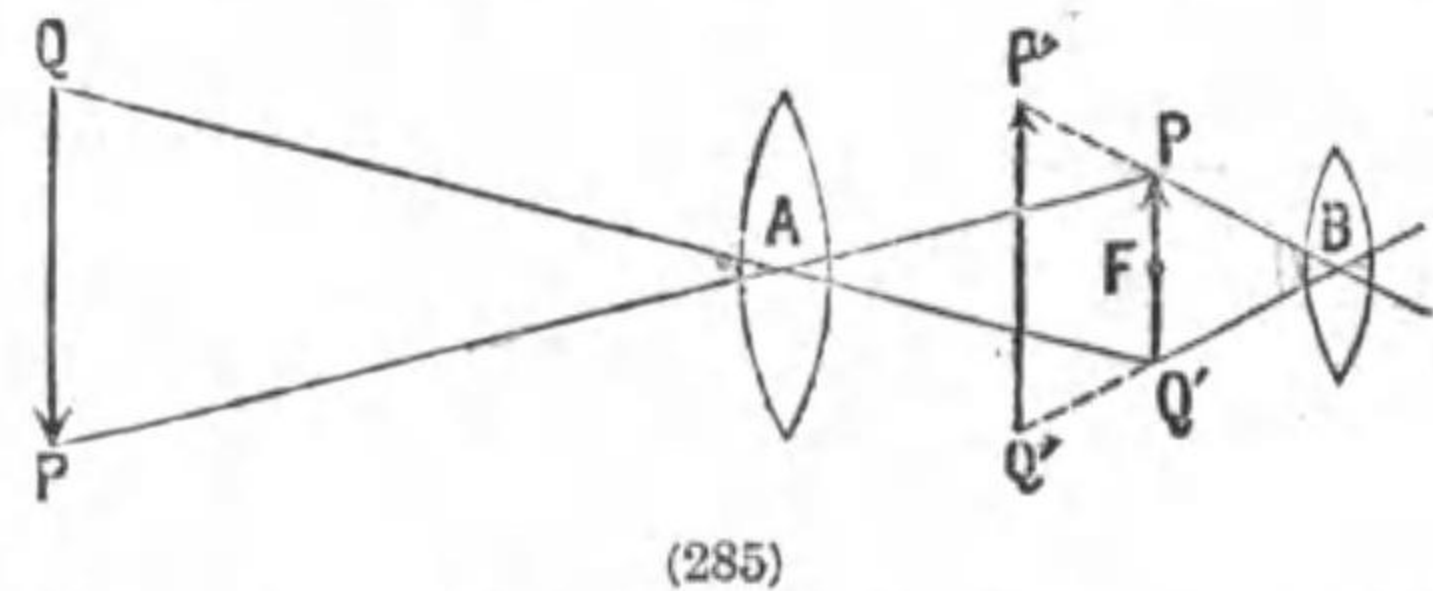
(284)

ずして進む、焦點 F を通過するものは屈折の後軸に平行に進む、此兩光線の會點に於て小なる實像 P' を生ず次に P' を對眼鏡の焦點 f 以内に在らしむるときは P' より發する光線の中對眼鏡の中心を通過せるものは屈折せずして進み軸に平行なるものは他側の焦點 f を通過す、此二光線は發散するを以て之を逆に延長するときは一點 P'' に會し此處に擴大したる虚像を生ず。實際に於ては物體は極めて遠距離に在るを以て對物鏡の作る實像

P' の位置は略ぼ其焦點と一致す次に對眼鏡を適當に進退せしめて虚像 P'' を丁度眼より明視距離の處に生ぜしむるなり。

倍率。望遠鏡によりて生ぜる虚像の視角と實物を肉眼にて見たときの視角との比を望遠鏡の倍率と云ふ。例へば太陽を肉眼にて見たときの視半径 $16'$ にして望遠鏡によりて生ぜる虚像の視半径が $1^\circ 30'$ なるときは其望遠鏡の倍率は $\frac{96}{16} = 6$ 即ち六倍なり。

*次圖は望遠鏡の倍率を對物對眼兩鏡の焦點距離より計算せんが爲め前圖を多少書き改めたるものなり、即ち簡單の爲

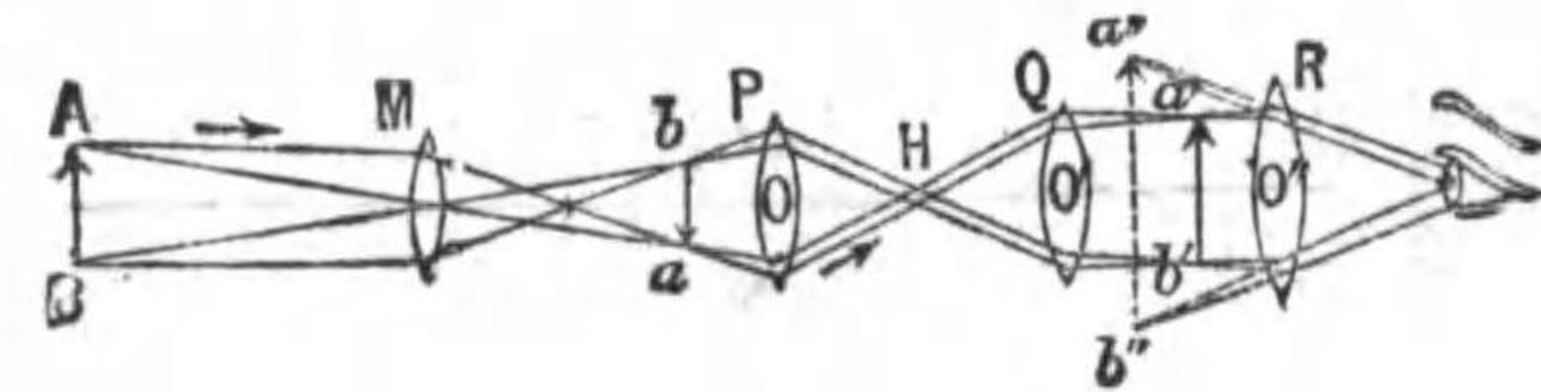


めレンズの中心を通過する光線のみを畫きたり。實物は遠距離に在るを以て肉眼にて見たときの視角は $\angle PAQ$ に等しと見るを得(眼が B に在りせば實際の際の視角は $\angle PBQ$ なり)、又虚像 $P''Q''$ の視角は $\angle P''BQ''$ なり、 $\angle PAQ = \angle P'AQ'$ 、 $\angle P''BQ'' = \angle P'BQ'$ なるを以て 倍率 $= \frac{\angle P'BQ'}{\angle P'AQ'}$ なり、二つの角の比は兩レンズより $P'Q'$ までの距離 BF, AF に逆比例す、然るに兩レンズの焦點は略ぼ實像 $P'Q'$ と一致するものと見るを得るが故に BF, AF は各々の焦點距離に等し、故に

$$\text{望遠鏡の倍率} = \frac{\angle P'BQ'}{\angle P'AQ'} = \frac{AF}{BF} = \frac{\text{對物鏡の焦點距離}}{\text{對眼鏡の焦點距離}}$$

此故に望遠鏡の倍率を大にせんには對物鏡の焦點距離を長くし對眼鏡の焦點距離を短くするを要す。

2. 地上望遠鏡 天體望遠鏡は倒立したる像を作るを以て地上の景色等を望むに便ならず、地上望遠鏡は此不便を除きたるものにして之が爲め更に二個の凸レンズを使用す、即ち對物鏡 M によりて生じたる倒立せる實像を二個の凸レンズ P, Q によりて直立せる實像



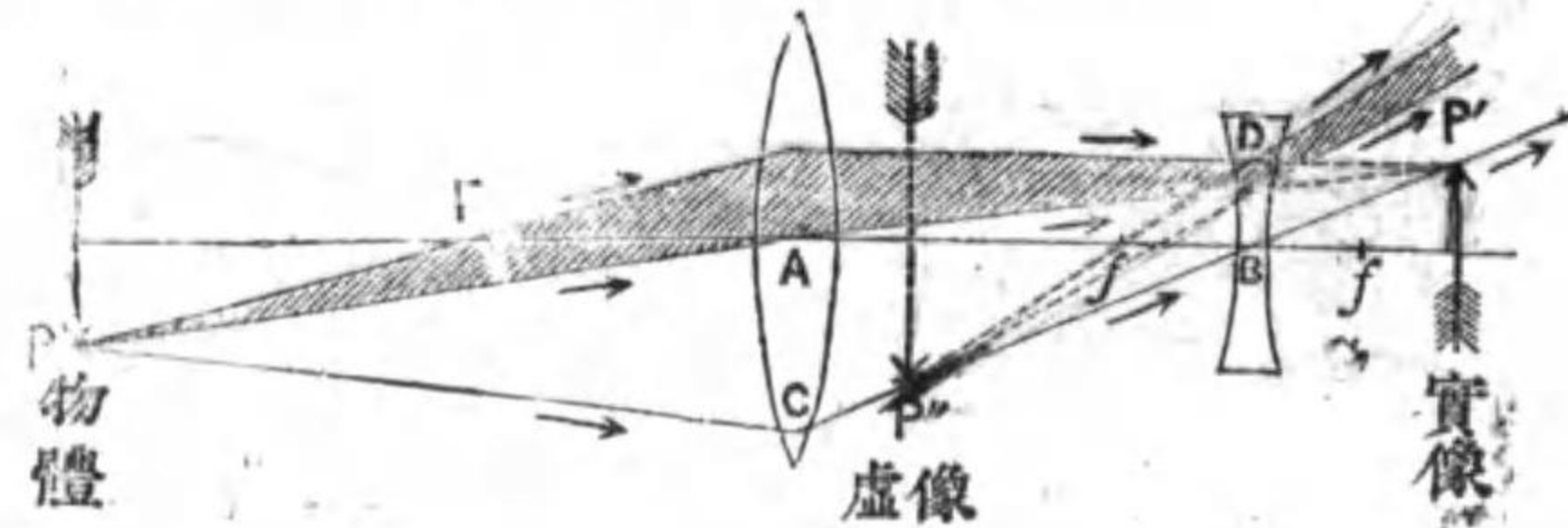
(286)

$a'b'$ に變じ然る後對眼鏡によりて擴大したる虚像 $a''b''$ を作るなり。 P, Q の間隔は兩者の焦點距離の和に等しからしめ、 ab を P の焦點にあらしむるときは ab より發する光線は圖の如く P を通りて平行線となり Q を通りて其焦點に於て實像 $a'b'$ を結ぶ。通常 P, Q は相等しきレンズを用ふ、然るときは ab と $a'b'$ とは其大さ全く相等し。此の如く地上望遠鏡は二個の餘分のレンズを用ふるにより筒の長さを増すこと、光の強さを減ずること、の不利あり。

3. ガリレオの望遠鏡 此望遠鏡は對眼鏡に凹レンズを用ふ。物體より發せる光は對物鏡に當りて屈折し、其實像を結ぶに先だち對眼鏡に當り屈折して發散し依て

擴大したる虚像を結ぶ。

像の作圖法。は次の如し、先づ物體 P より發する光線



(287)

の内對物鏡の焦點 F を通過するもの及び中心 A を通過するものによりて對物鏡の生ずべき實像 P' を畫く、此實像が焦點 f 以外に在る様に對眼鏡を置き、軸に平行なる光線の對眼鏡に會せる點 D と對眼鏡の内側の焦點 f とを連結し又實像 P' と對眼鏡の中心 B とを連結す、此二線 ($Df, P'B$) の會點 P'' は求むる所の虚像の位置なり。何となれば像を作圖するには屈折後の進路既知なる二つの光線を要す、其一としては軸に平行なる光線を取る、即ち PF なる光線は對物鏡を通過せる後は軸に平行に進むが故に對物鏡に當り fD の方向を取る、次に第二の光線として對眼鏡の中心を通過する光線を取る、即ち PC の方向に來れる光線が對物鏡により屈折して對眼鏡の中心に當りたりとせば此光線は其方向を變ぜざる故に依然 P' 點に向つて進むべし故に此二線 fD, BP' を逆に延長すれば虚像 P'' を得るなり。

註 PA なる光線は實像 P' を求むるに役立つのみにして凹レンズを通過せる後の進路は P'' の位置を求めたる後畫くことを得るなり。
 PC 線を畫くには先づ $P'B$ を引き其延長線が對物鏡に會する點 C を求め然る後 PC を連結するなり。若し對物鏡小にして $P'B$ の延長線が之に會せざるときは C 點を求むることを得ず、従つて PCP' なる光線は實在せず、然れども像の作圖法は變更するを要せず、何となれば同じ焦點距離を有する大なるレンズを以て置換ふるも像の位置に變化なきが故に對物鏡を充分大にして $P'B$ 線が之に會し得る様にすれば C は常に存在するを以てなり。

*倍率。天體望遠鏡の場合と同様に考ふれば倍率即ち虚像 P'' と實物 P との視角の比は對物鏡より實像 P' までの距離と對眼鏡より P'' までの距離の比に等し、然るに實像の位置は對物對眼兩鏡の焦點と略ぼ一致するを以てガリレオの望遠鏡の倍率も亦對物對眼兩鏡の焦點距離の比に等し。

天體望遠鏡にありては二個のレンズの間の距離は略ぼ兩者の焦點距離の和に等しけれども、ガリレオの望遠鏡にありては焦點距離の差に等し、故に後者は筒の長さ前者に比すれば短くして足る且つ二個のレンズにて直立したる像を生ずるを以て地上望遠鏡に比すれば筒の長さ一層短くして可なり、故にガリレオの望遠鏡は重に地上の景色等を眺むるに用ひらる、双眼鏡と稱するものは此望遠鏡を二個併置して兩眼にて同時に見るを得る様にしたるものなり。プリズム入双眼鏡は兩レンズの

間に全反射プリズムを挿入し光を數回筒内に往復せしめ以て筒の長さを増さずして長き焦點距離の對物鏡を用ふるを得べからしめ、従つて望遠鏡の倍率を増す様にしたるものなり。

反射望遠鏡 は凸レンズの對物鏡の代りに凹面鏡を用ひたるものなり、先づ凹面鏡によりて物體の實像を生ぜしめ、次に凸レンズの對眼鏡によりて擴大せる虚像を生ぜしむるなり。

第四章の復習

問題

- (1) 眼の構造を述べよ。
- (2) 眼及び寫眞器械の構造を比較せよ。
解 兩者の相對應する部分の名稱を列記すれば
虹彩及び瞳孔と絞り、水晶體と鏡玉、網膜と乾板。
眼にありては水晶體の彎曲の度を變じて像を網膜上に結ばしむ、
寫眞器械に在りては鏡玉と乾板との距離を變じて像を乾板上に
生ぜしむるなり。
- (3) 視角、光角、見掛けの大きさとは何ぞや。
- (4) 物體の眼を距る距離の遠近を判断するは如何なる機能に依るか。
- (5) 吾人が物體の奥行を認め得るは何に依るか。
- (6) 寫眞、繪畫は如何に巧妙なるものにてても景色が扁平に見えて、實景の如く奥行に乏しき感あるは何故なるか。
- (7) 明視距離とは何ぞや。
- (8) 正視、近視、遠視の差異を問ふ。又遠視と老視との區別如何。
- (9) 近視眼及び遠視眼を補ふには如何なる眼鏡を用ふべきか。
- (10) 蟲眼鏡の構造及び作用を問ふ。
- (11) 顯微鏡の構造、像の作圖法を問ふ。
- (12) 望遠鏡の種類を問ふ。
- (13) 天體望遠鏡に於ける像の作圖法を求む。
- (14) ガリレオの望遠鏡に於ける光の進路及び像の作圖法を詳記せよ。
- (15) 蟲眼鏡を使用するときは眼を蟲眼鏡に近づくる程大なる像を得、其理を問ふ。
解 眼と蟲眼鏡との距離小なる程倍率大なるを以てなり。

第五章 光の分散

184. 分散 Dispersion, スペクトル Spectrum.

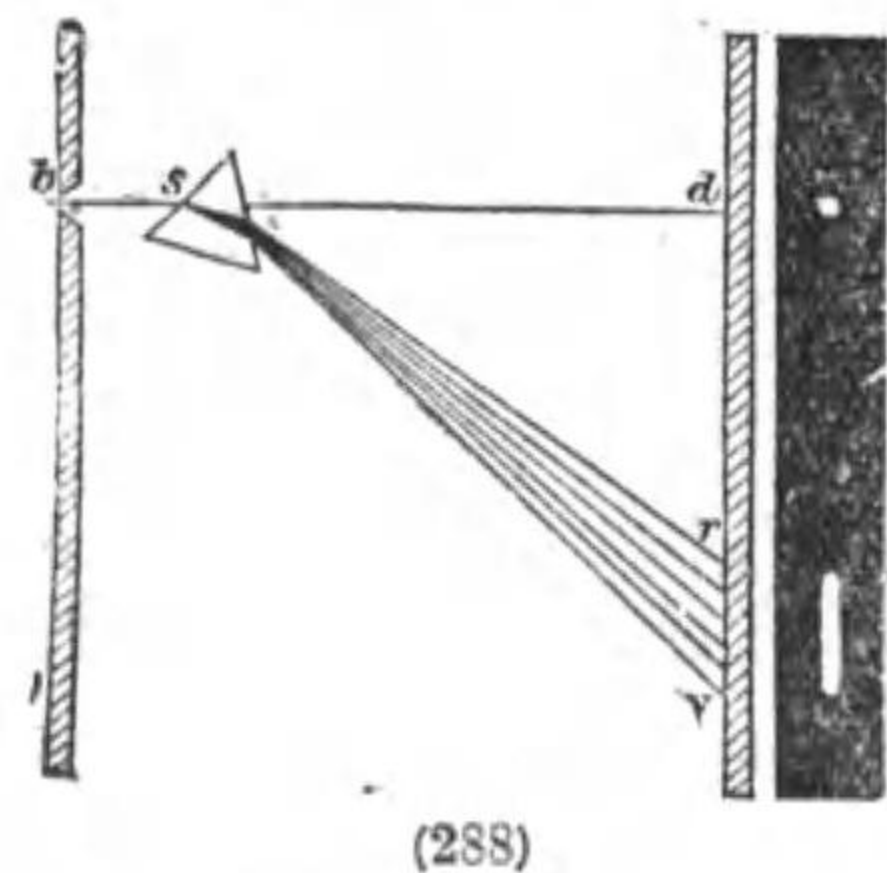
暗室の側壁に穿てる小孔より入り來れる太陽の光をプリズムにて受くるときは光はプリズムを通過して後

屈折すると同時に多くの色の光に分るゝを見るべし此現象を光の分散と云ひ分散したる色光の列をスペクトルと云ふ。太陽光のスペクトルの中著しき色光を順次に列挙すれば

赤 橙 黄 緑 青 藍 堇
red orange yellow green blue indigo violet

の七色あり之を太陽スペクトルの七色と云ふ、赤色光は屈折すること最も少なく堇色光は屈折すること最も甚だし。圖に於てりは側壁に穿てる小孔にして之より入り來れる光はプリズムなきときは d の方に進めどもプリズムに當りて屈折分散するときは r, v の間に擴がる但し r は赤色 v は堇色を示す。

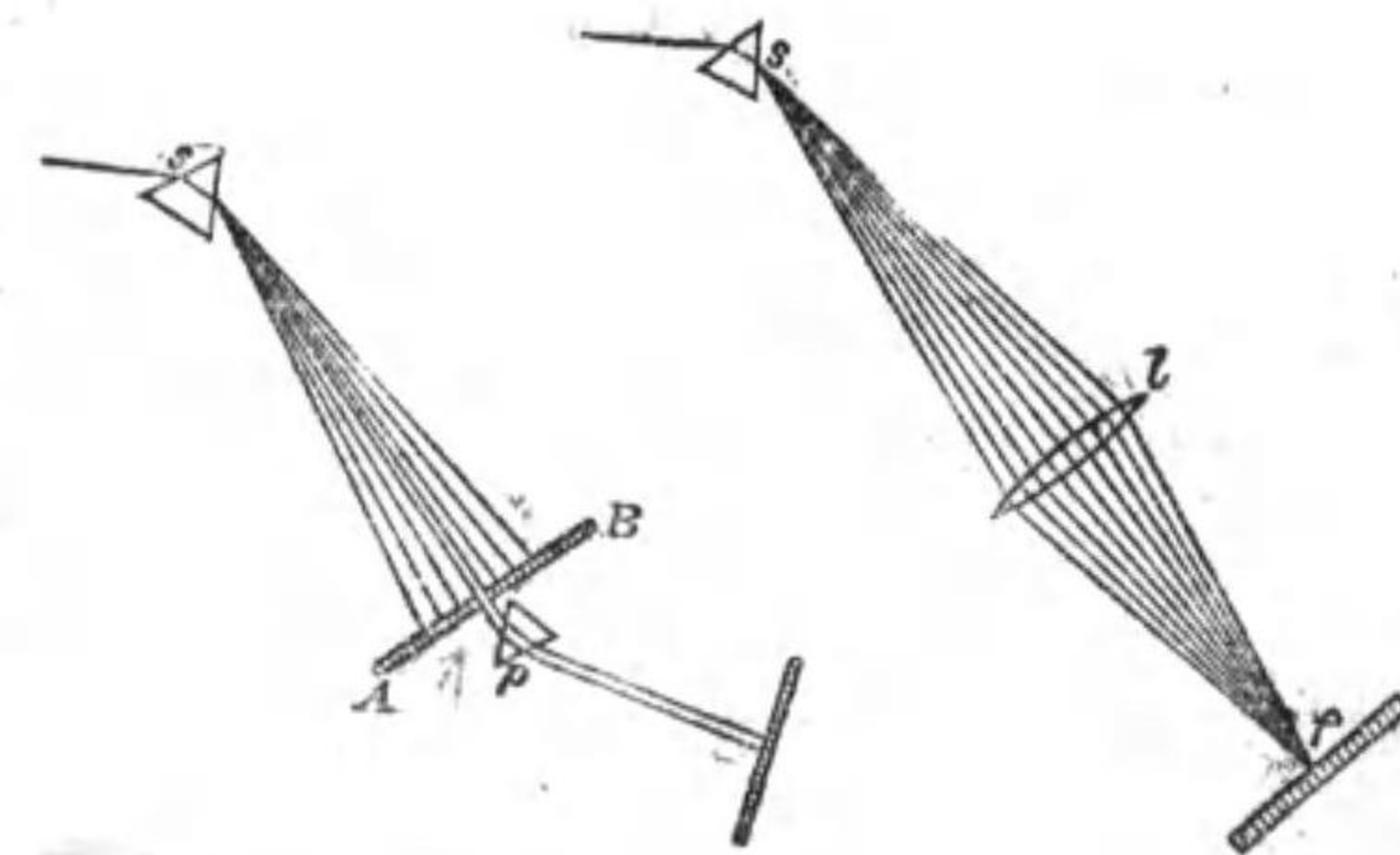
註 上記の七色はニュートンの命名に係るものにして其順序を記憶せんには violet, indigo 等の頭字を取りて vibgyor (ヴィアギオル) なる綴字を作り之によりて其順序を諸記すべし。橙の代りに棗と云ひ堇の代りに紫、藤、桔梗などと云ふことあり。



(288)

スペクトルを投げる衝立 AB に小孔を穿ち之よりスペクトル中の或一色を導きて之を第二のプリズム p に

當つるときは光は屈折すれども再び分散すとなし。又プリズムによりて一旦分散したる光を凸レンズによりて一處に集むる



(289)

(290)

とき原の白色光に復す。以上の事實に依り太陽の白色光は屈折率を異にせる無数の色光より成るものなることを知る。

ニュートンは圓板に七色の繪具を塗り之を急速に廻轉することによりて白色を呈する實驗を爲せり其裝置をニュートンの七色板と云ふ。

185. 餘色 Complementary colors, 原色 Primary colors.

餘色。太陽スペクトル中或色光を除きて残りの色光を集むるときは或色を呈す、例へば太陽光中より赤色光を除き残りの色光を集合せしむるときは緑青色を呈す、此場合に赤と緑青色とは互に餘色なりと云ふ、又互に餘色を爲す二色光を集合せしむるときは白色を呈す、故に

白色光 = 或色光 + 餘色の光

或は 或色光 + 餘色の光 = 白色光

互に餘色を爲す對を列擧すれば次の如し。

赤と帶綠青、橙と青、黄と藍、帶黄綠と莖。

原色。赤、綠、莖の三色光を適當の分量にて集合せしむるときは總ての色を生ぜしむることを得、依つて此三色を原色と云ふ。

單色、複色。一の色光をプリズムに當つるとき屈折するのみにて分散せざるときは此光を單色光と云ふ、スペクトルを構成する各色光は單色光なり。多くの單色光の集合より成る光を複色光と云ふ、故に複色光をプリズムに當つるときは分散して單色光に分るべし。一の光が單色なるか複色なるかは肉眼にては區別することを得ず、之をプリズムに當て、其分散するや否やによりて知るを得るなり。普通の光は多くは複色光なり、食鹽を酒精燈の火焰中に投ずるときは黄色の單色光を得、又太陽光を酸化第一銅を含める赤色硝子に透すときは赤色の單色光を得べし。

186. 物體の色

光が物體の表面に當るときは一部は表面にて反射せられ一部は物體の内部に進入す、物體内に進入せる光の一部は物體に吸収せられ一部は物體の組織間に於て反射して表面に復歸し或は物體を透過し出づ。

註 普通の固體は硝子、水晶等の透明體を除けば皆不連続の組織を有す、即ち纖維或は微粒の集合より成る、物體内に進入せる光は一の纖維より次の纖維に移り或は一の微粒より次の微粒に移る際其等の境界面に於て必ず反射を爲す、反射したる光の或者は物體の表面に復歸するなり。

此故に物體に當れる光は次の四つの部分に分かる

1. 表面にて反射す (物體の光澤を生ず)
2. 内部に進入す
 - a. 吸収せらる (熱、燐光、螢光を生ず)
 - b. 反射しもどる (不透明體の色を生ず)
 - c. 透過し出づ (透明體の色を生ず)

光が物體内に進入するときは或特種の色光は漸次物體に吸収せらるゝを以て反射或は透過し出でたる光は吸収せられたる色光を欲く此吸収光を欲除せる光が眼に入りて物體の色の感を生ず。此の如く物體が種々の色を呈するは之に當れる光を選擇的に吸収するの結果にして従つて物體の色は物體の性質及び之に當れる光の性質によりて異なるものなり、例へば同一物體にても晝間太陽光にて見るときと夜間燈火にて見るときとは其色を異にす。通常物體の色と稱するは太陽光にて照らしたるときの色なり。

1. 光澤。物體の光澤は表面反射の光によりて生ず、物體の表面滑なる程表面反射光の量多きを以て其光澤強

し(例、漆器)又光線が物體の表面に斜に(大なる入射角を以て)入射するときは表面反射光の量多し(例、教室に於ける塗板の輝ること、硝子、水等の表面を斜に見るとき輝ること)。物體の表面に於ては之に當れる光を組成する各色光は皆同じ割合に反射せらるゝものなり(色光の種類によりて反射の量を異にすることなし、但し金屬は例外)故に太陽光にて照らすときは表面反射光は物體の如何を問はず皆白色光なり、塗板或は漆器の輝りたる部分の白色を呈するは之が爲めなり。

金屬は其内部に進入する光を大部分吸収す、故に前表中のb及びcの光は殆ど之を飲く、かゝる物體の色は表面反射の光の色によりて定まる、而して表面反射は普通の物體の如く總ての色光に付て一樣なるにあらずして或特種の光を強く反射するの特性を有す、而も其特種の光は物體内に於ては最も強く吸収せらるゝ光と同種なり、例へば黄金は黄色光の表面反射著しきを以て黄色を呈す、然れども黄金内に進入せる光に付ては黄色光は最も強く吸収せらるゝを以て極めて薄き金箔を透過せる光は黄色を飲き其餘色に近き綠色を呈す。

2. 不透明體の色。は一旦物體の内部に進入し組織間に於て反射して再び表面に復歸したる光の色なり、故に赤色光を吸収する物體に白光を當つれば赤色の餘色た

る綠青色を呈し、綠青色光を吸収する物體は赤色を呈す。

總ての色光を一樣に同じ割合に吸収し従つて總ての色光を一樣に反射する物體にありては吸収の度弱き者は白色を呈し、稍々強き者は灰色、一層強き者は黑色を呈す、故に白灰、黒の三色は同種の色にして唯反射光の分量に多少の差あるに過ぎず、白紙と雖も之に當たる光を弱くすれば灰色となり、一層弱くすれば黑色を呈すべし。

白色物體は總ての色光を一樣に反射するが故に之を或色光にて照らすときは其光の色を呈すべし、然れども他の有色物體にありては或特種の色光のみを反射し他は吸収するが故に、若し其物體が反射し得べき色光を飲ける光を以て之を照らすときは其物體は暗黑色を呈す、例へば化粧に用ふる紅は赤色光を除きて他の色光を吸収する性を有す、故に之を照らすにナトリウム焰を以てするときは(ナトリウム焰は黄色光)紅は之を吸収して暗黑色を呈す。

3. 透明體の色。物體を透過せる光の色なり。總ての色光を一樣に透過せしむる物體は無色透明にして或種の色光のみを透過せしむる物體は其光の色を呈す。透明體の組織は連續的なるを以て組織間に於て光の反射することなし、故に透明體の光に照らさるゝ側より之を見るときは其物體の色如何に關せず黑色を呈す、例へば

晝間室外より窓硝子を望むときは硝子の處は暗黒なり、是れ硝子に當れる光は硝子を透過して室内に進入せるを以てなり、之に反して室内より之を望むときは眼は硝子を透過せる光を受くるを以て硝子の處は他に比して明るく見ゆ。

187. 色に關する諸問題

- (1) 粉末の色。無色透明體を細粉と爲すときは白色不透明となる、是れ光が一の細粉より次の細粉に進入する際其境界に於て反射せらるゝを以てなり。有色物體を粉末と爲すときは其色淡くなりて白色に近づく、是れ細粉の境界に於ては總ての色光は同じ割合に反射せらる、而して粉が細かき程光は内部に進入すること少なく従つて吸収を免かるゝこと多きを以て白色に近づくなり。
- (2) 物體を潤すとき其色の濃くなること。光が二物質の境界に於て反射するに當り兩物質の屈折率の差小なる程反射光の量少なし(若し兩物質の屈折率同一なるときは境界に於て反射屈折するとなし)、物體の組織間の間隙には空氣填充し居るを以て物體内に進入せる光は組織と空氣との境界に於て反射す、然るに若し物體を液にて潤すときは液は組織間に浸入して空氣と置換す、液の屈折率は空氣の屈折率より大なるを以て組織と液との境界に於ける反射の量は減少し、従つて光は物體内部に深く進入することを得、之が爲め或特種の

色光は益々多く吸収せらるゝを以て其餘色たる物體の色が益々濃厚に表はるゝなり。

- (3) 紙に油を浸ませるとき透明となること。上記の如く物體を潤すときは組織間に於ける反射光を減ず、故に紙の如き薄き物體を水にて潤すときは光は多少之を通過することを得るを以て稍々透明となる、油は水よりも屈折率一層大なるを以て油を以て潤すとき透明の度を増す。此故に光の投射する側より見るときは油の汚點は黒く見え(反射弱きを以て)光に翳して見るときは油點の在る處は他の部分よりも透明に見ゆ、ブンゼンの光度計は此理を利用したるものなり。

- (4) 二枚の色硝子を重ねること。色を異にせる二枚の色硝子を重ねて光を當つるときは二者の孰れにも吸収せられざる色光のみが之を通過することを得るなり、例へば赤色光を通過せしむる赤色硝子の次に青色光を通過せしむる青色硝子を重ねて太陽光を當つるときは先づ赤色硝子によりて赤色光のみが通過して他の色光は吸収せらる、次に此赤色光が青色硝子に當たるときは赤色光は吸収せらるゝを以て光は全く吸収せられて暗黒となる、尤も硝子が薄きときは總ての色光は幾分か吸収を免れて通過し得るを以て全く暗黒とはならず。

- (5) 繪具の混合。二種の繪具を混合するは二枚の色硝

子を重ねると其趣を同じうす、即ち太陽光が混合繪具内に進入し其組織間を出入するに當り兩者は各々自己特性の色光を吸収するを以て兩者の孰れにも吸収せられざる色光のみが表面に反射しもどるなり、例へば黄色の繪具は多くは黄緑、以外の色光を吸収し、青色繪具は青緑以外の色光を吸収する性を有す、故に此兩者を混ざるときは綠色光の外は總て吸収せらるゝを以て混合繪具は綠色を呈するなり。同様に赤色繪具と黄色繪具とを混ざれば橙色を生じ、赤色繪具と青色繪具とを混ざれば紫紺色(藍色)を生ず。

繪具の混合と色光の混合とは區別するを要す、二種の色光を混ざれば其結果相加はれども、二種の繪具を混ざるときは其結果相減殺す、即ち二種の色光を混ざるときは兩者は眼に入りて各々網膜を刺激するを以て兩者の合成せる色感を生ず、然るに二種の繪具を混ざるときは兩者の孰れにも吸収せられざる色光のみが眼に入ることを得るなり。此故に七色光の總てを相混ざれば白色を生ずれども種々の繪具を混ざるときは遂に暗黒色を呈す、又互に餘色を爲す二色光例へば赤と青とを混ざるときは白色を生ずれど赤色繪具と青色繪具とを混ざれば紫紺色を呈す。繪畫術に於ては赤、黄、青の三色を正色と云ひ此等の色の繪具を混じて得たる色を間色と云ふ。

(6) 燈火にては白色と黄色とを區別し難きこと。燈火は黄色光に富む、而して白色物體は總ての色光を反射し、黄色物體は黄色光のみを反射する性を有す(實は黄色光だけが吸収を免るゝなり)、故に夜燈火にて此等の物體を照らすときは兩者ともに燈火の黄色光を反射するを以て等しく黄色に見ゆ、従つて兩者の色の差異を識別すること能はざるなり。

世俗に夜間は黄色物體は白色に見ゆと稱す、然れどもこは心理上の誤謬なり、晝間日光にて白色に見ゆる所の白紙白壁等は夜間燈火にて照らし見ると依然白色なりと思考し従つて此等の紙等と同じ色を呈する黄色物體の色をも亦白色なりと誤認するなり。若し夕刻薄明の際ランプに點火して白紙を照らし見るに其燈火にて照らさるゝ部分は他の部分に比して著しく黄色を帯べるを驗し得べし。

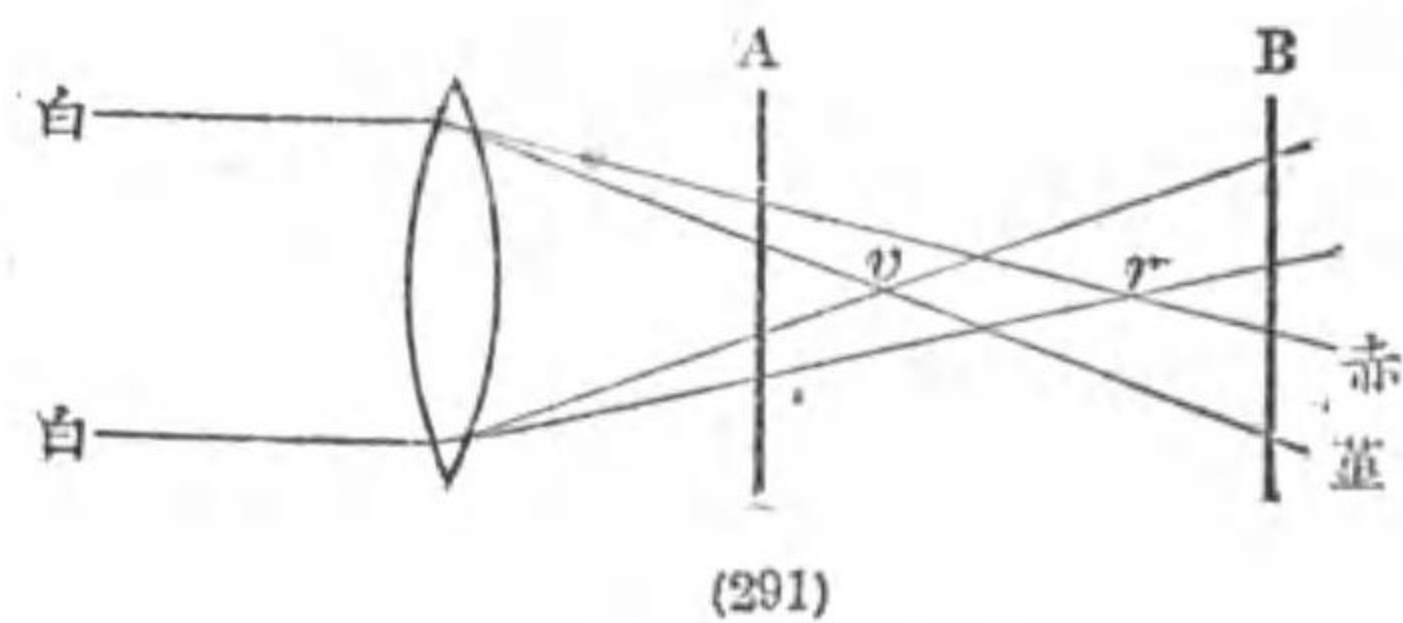
(7) 色の對照。互に餘色を爲す二色例へば赤色と青色とを併置して見るときは赤は益々赤く青は益々青くして其色甚だ鮮明となるを覺ゆべし、是れ眼の生理的作用に基づく現象にして例へば眼の網膜が暫時赤色光の刺激を受くるときは赤色に感ずる作用一時衰弱するを以て其餘色たる青色を感ずる作用は比較的増大す、此故に赤色を見たる後眼を青色に轉ずれば青色は鮮明に現はれ、同様に青色を見たる後赤色を見れば赤色は鮮明の度を増すなり。

試に白紙に赤インキにて圓形を畫き暫時之を見詰めたる後眼を白紙の他の部分に轉ずるときは赤色の餘色なる青色の圓を認むるを得べし。

188. レンズの色収差 Chromatic aberration.

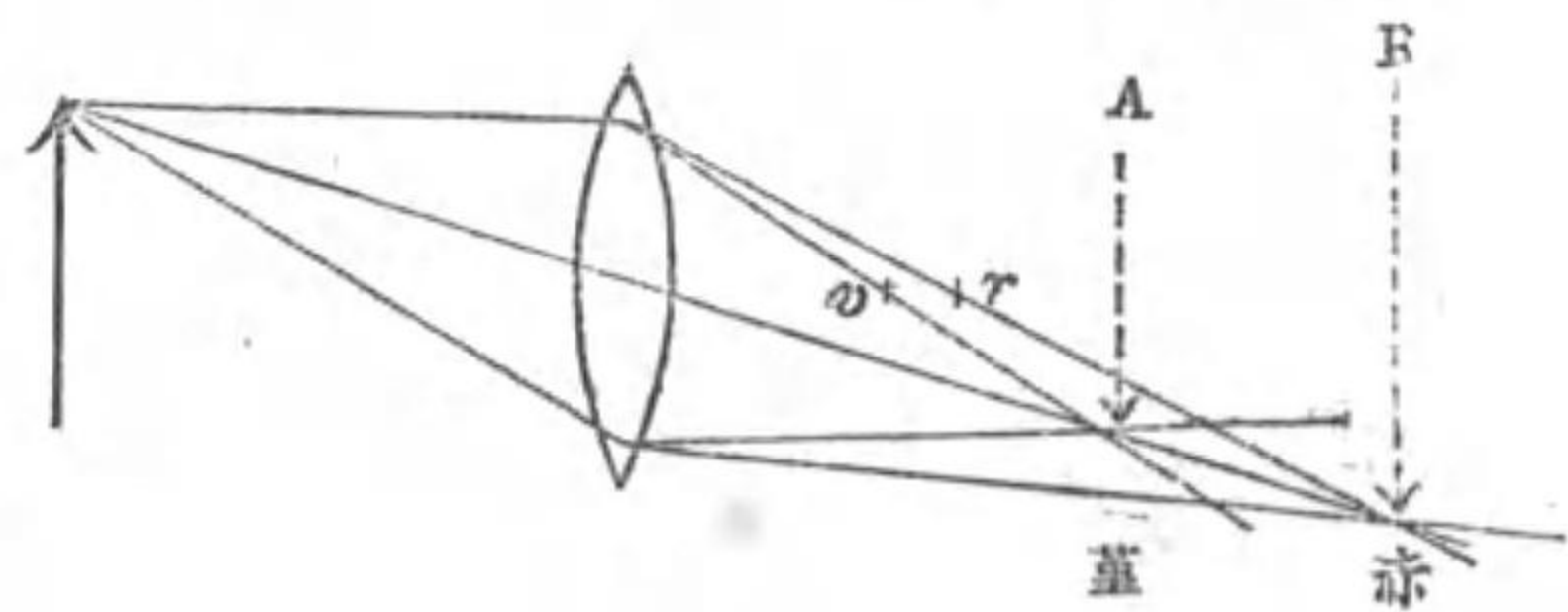
レンズは頂角の小なる多くのプリズムより成るものと見做し得るが故に光がレンズに當りて屈折するときは光の種類によりて多少其進路を異にし従つて同一光源より發する光にても其種類によりて各々異なりたる所に焦點を結ぶ此現象をレンズの色収差といふ例へば日光を凸レンズに當つるときは屈折

率の大なる莖色光はレンズに近く其焦點を結び屈折率の小なる赤色光はレンズに遠く其焦點を結ぶ故に衝立をAの位置(291圖)に置くときは周圍に赤色を帯べる圓輪を得、Bの位置に置くときは周圍に莖色を帯べる圓輪を得べし、圓輪の内部は日光の總ての色光が來り重なるが故に白色を呈す。物體の像の輪廓の着色せるも亦同様に説明し得



(291)

し(292圖)即ち莖色光の像を生ずる位置Aに衝立を置けば像の輪廓は赤色を帯ふべく、又赤色光の像Bを映すと



(292)

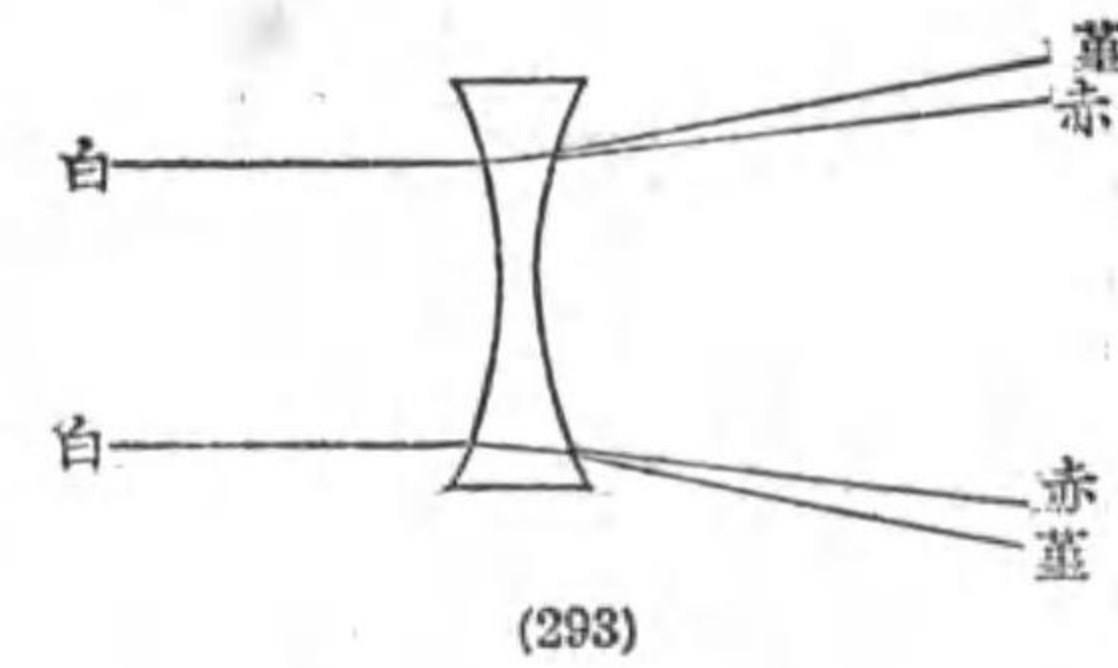
し(292圖)即ち莖色光の像を生ずる位置Aに衝立を置けば像の輪廓は赤色を帯ふべく、又赤色光の像Bを映すと

きは像の輪廓は莖色を帯ふべし。凹レンズを通過せる日光を衝立にて受くると

きは常に輪廓の莖色を帯ぶるものを得べし(263圖)。

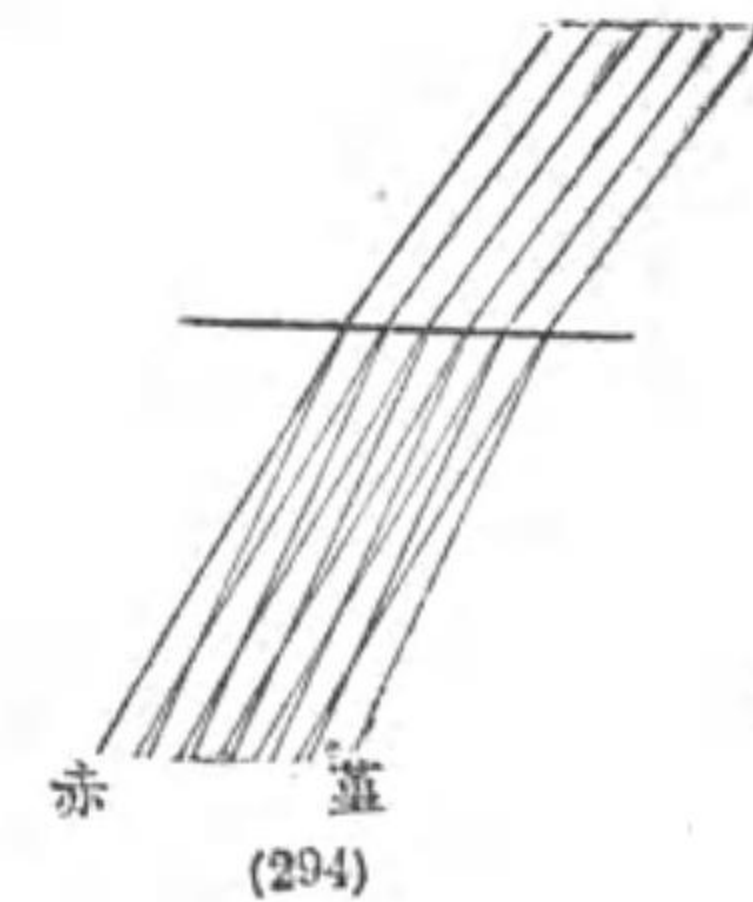
上記の諸實驗に於て實際には莖色の代りに青色を

生じ赤色の代りに橙色を生ず、是れ太陽スペクトルの兩端に在る赤莖色は弱きがためなり。



(293)

日光が空氣中より水中に入るときは多少分散して圖の如く法線に近き方に莖、遠き方に赤を生ず、然れども一回の屈折なるを以て分散すると極めて僅なり。光の分散を驗するにプリズムを用ひたるは之れが爲めにして光が空氣中よりプリ



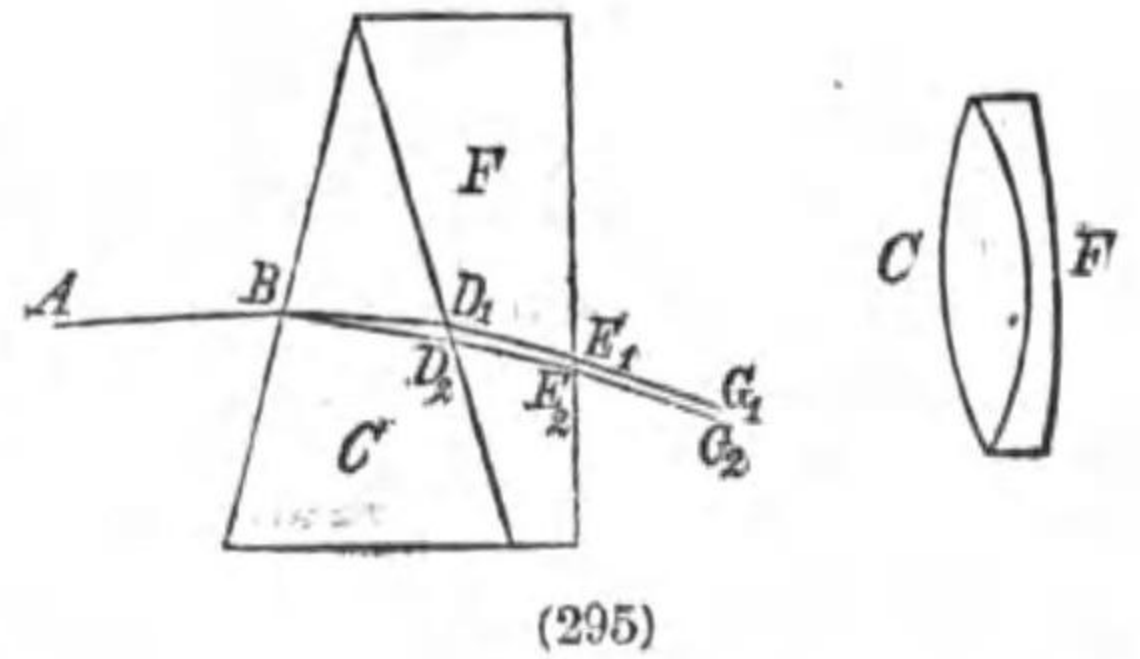
(294)

ズム中に入るときは一度分散し次にプリズムを出づるときは再び分散するが故に分散の度著しくなるなり。

189. 色消レンズ Achromatic lens.

クラウン硝子は光を屈折すること小にしてフリント硝子は大きなり、今圖の如く頂角大なるクラウン硝子のプリズムCと頂角小なるフリント硝子のプリズムFとを頂角を反對にして接合し且つ頂角の割合を適當に選ぶ

ときは之に當る白色光は
プリズムを通過して分散
することなく唯其方向を
變ずるのみかゝるプリズ
ムを色消プリズムといふ、

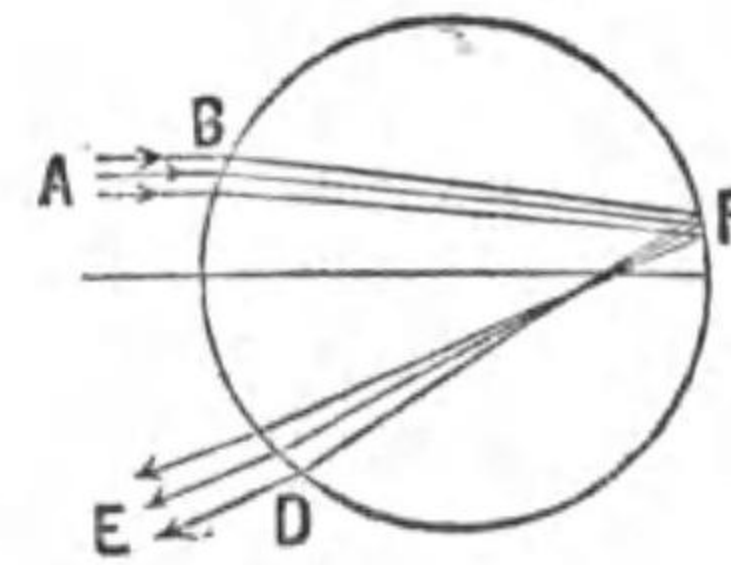


同様にクラウン硝子の凸レンズとフリント硝子の凹レ
ンズとを適當に接合するときは色収差を起さざるレ
ンズを得べし、之を色消レンズといふ、總て光學器械に於て
は皆色消レンズを用ふ。

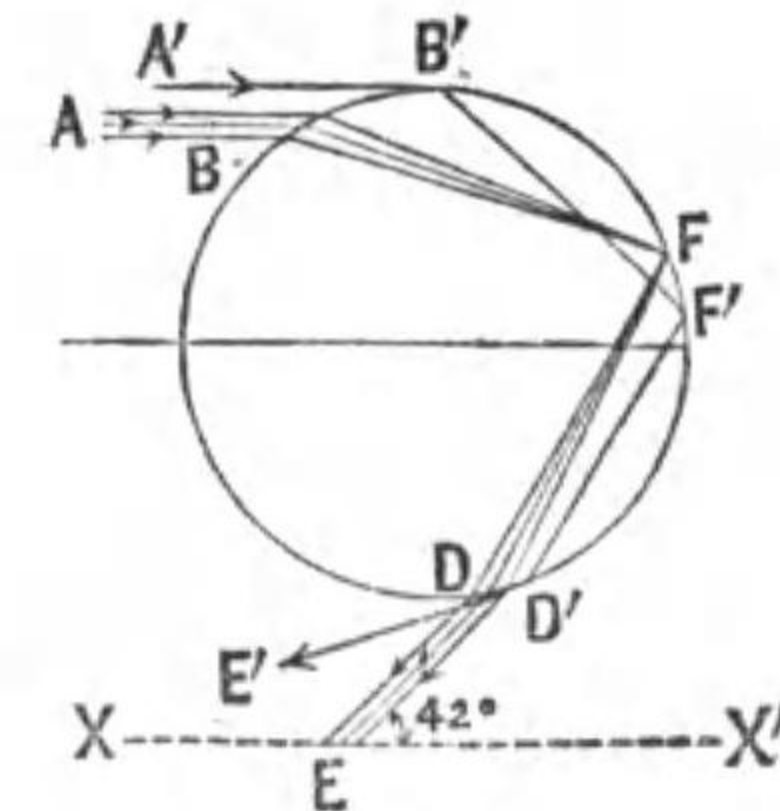
色消しの理由は例へば白色光が AB の方向に来るも
のとなれば C に入りて分散して BD_1, BD_2 となる、此等が F
に入るときは多少厚き方に屈折せられ然も BD_2 は BD_1 よ
りも強く屈折せらるゝが故にプリズムの頂角の割合適
當なるときは F を出で、平行光線 E_1G_1, E_2G_2 となるべし、
之によつて光は分散せずして屈折せらるゝなり、色消レ
ンズに於ても亦同様に之を通過せる光は單に屈折する
のみにて分散せず、故に像を結ぶに當り色収差を起さず。
上記の理由なるを以て一個の色消レンズは唯二種の色
光を色消するに過ぎず、總ての色光を色消せんには無數
のレンズを要する譯なり、實際に用ふる色消レンズは橙
と青との二色光を色消する様に作らる。

190. 水滴の色

單色平行光線が球形なる水滴に當り屈折して水滴内
に入り一旦球面の内側に於て反射し再び屈折して水滴
外に出づるときは出射光線は一般に發散す(296圖)、然れ



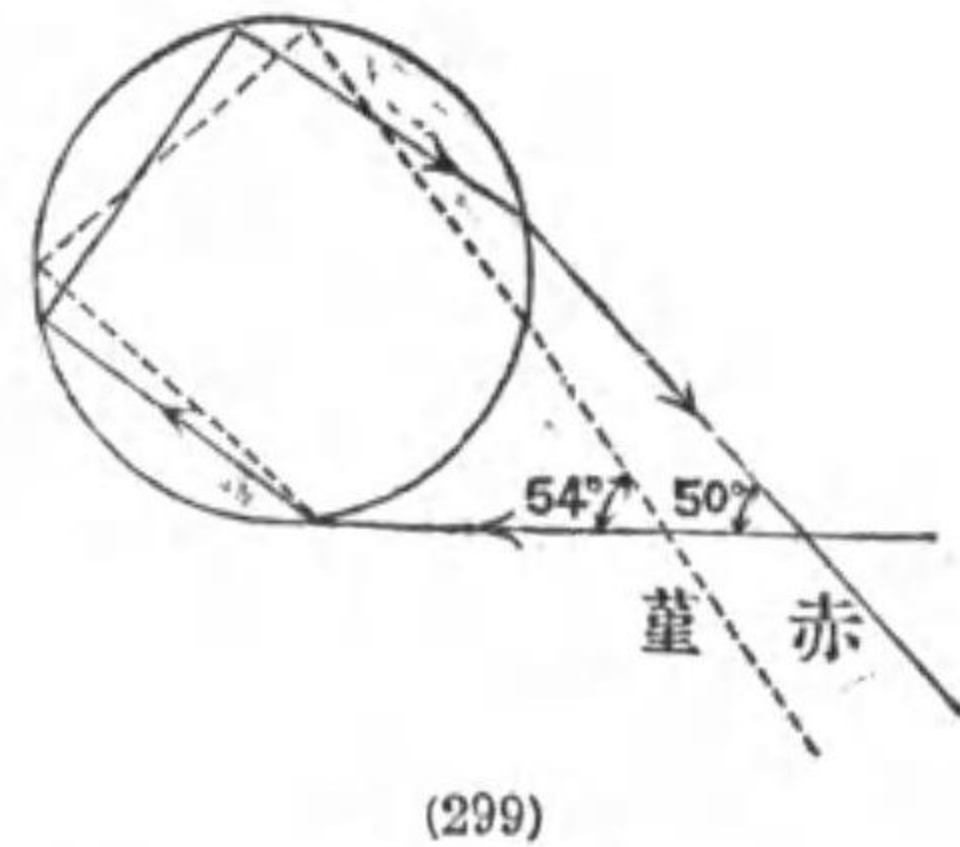
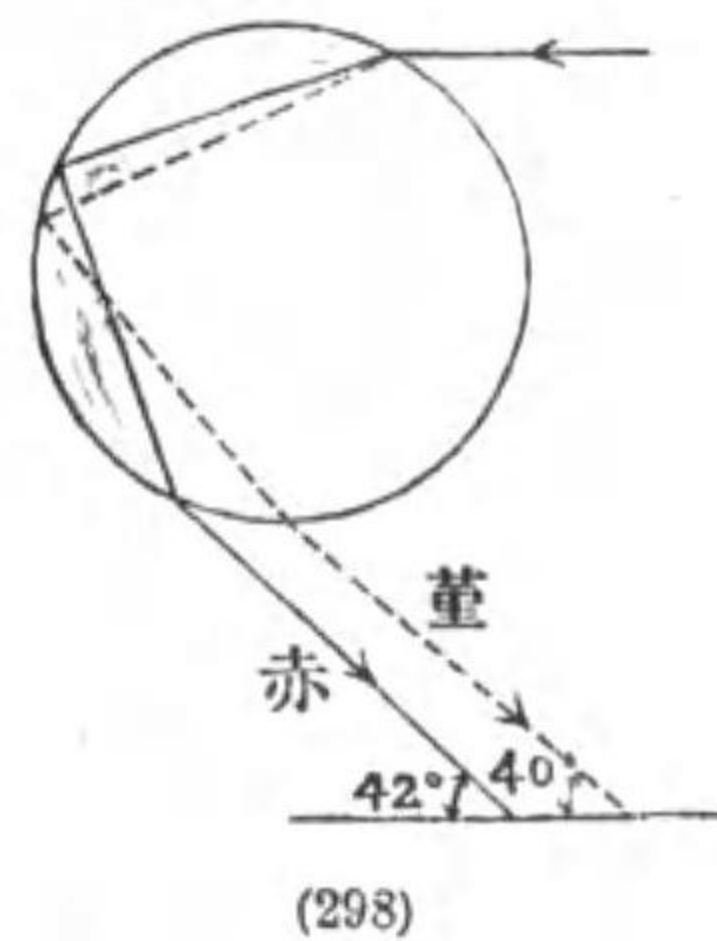
(296)



(297)

ども或點に於て水滴に入射せる光線のみは二回の屈折
と一回の反射の後略ぼ平行に出射す(297圖)、發散光線は
遠きに進むに従ひ光の強さを減ずれども、平行光線は強
さを減ずることなし、故に平行に出射する光線の方向に
眼を置くときは水滴は輝きて見ゆべし。平行出射光線
が入射光線と爲す角度は色光の種類によりて異にして
赤色光にありては約 42° 、莖色光は 40° 、他の色光は其間
の角度を有す。(圖に於て XX' 線は入射光線に平行なり)。
今水球に太陽光を當て二回の屈折と一回の反射を爲さ
しむるときは太陽光は七色に分散す、而して太陽光線と
 42° の角を爲す方向より水球を見るときは眼は強き赤

色光を受くるを以て水球は赤色を呈し太陽光線と 40° の角を爲す方向より望むときは眼は強き堇光線を受くるを以て水球は堇色を呈し、其中間の角度の方向より望むときは他の色を呈す(298 圖)。若し水球内に於て二回



の反射を爲すときは入射光線と 50° の角を爲す方向に於て強き赤色光を出射し、 54° の角を爲す方向に於て強き堇色光を出射す(299 圖)尤も二回の反射を爲せるが故に其光は一回の反射によりて生じたる者よりも微弱なり(反射する度毎に光の量は減ずるものなり)。

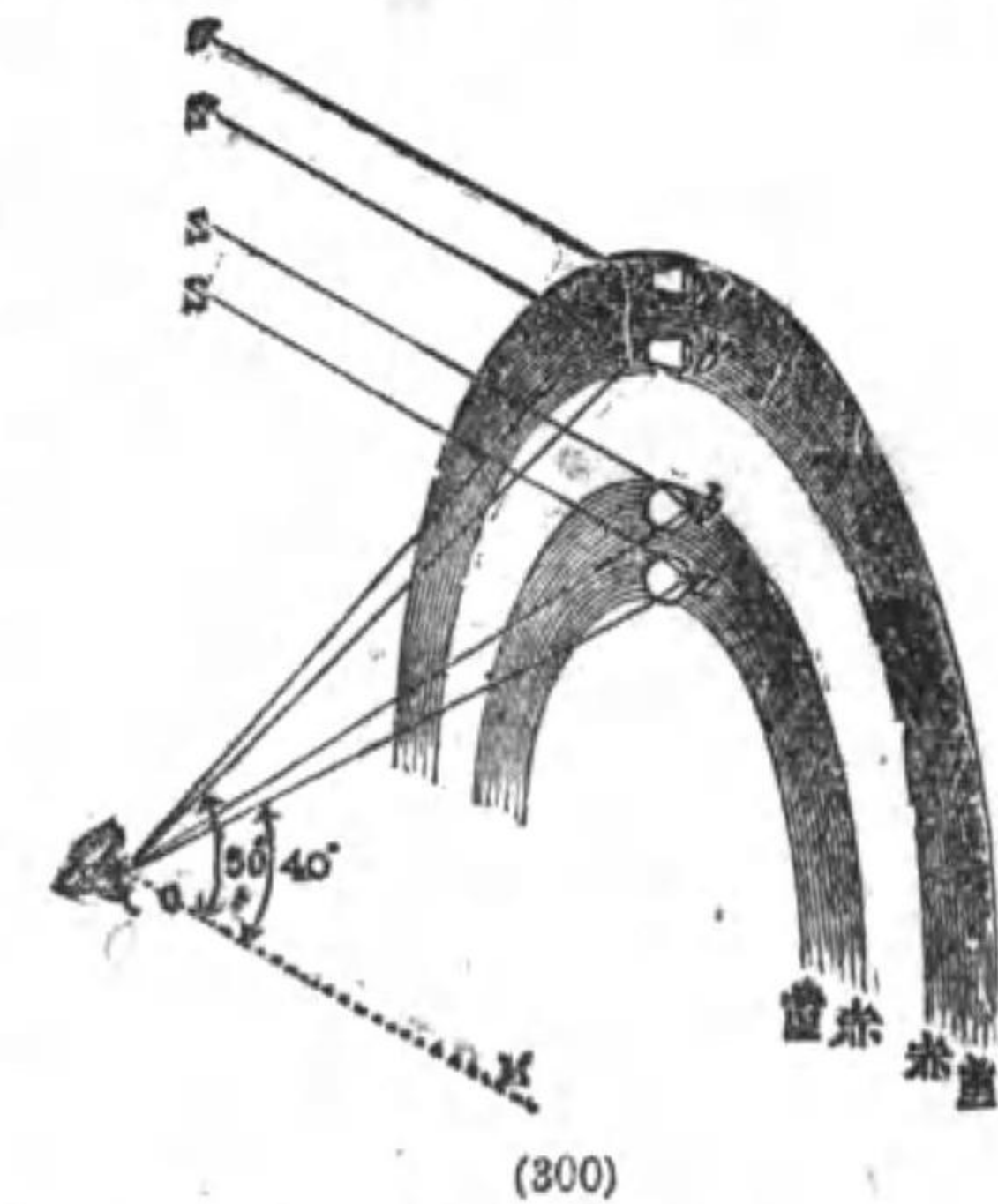
191. 虹 Rainbow.

虹は空中に浮遊する無数の水滴が太陽光を受け之を分散するによりて生ずる現象にして通常 40° 乃至 42° の角半徑を有する色帯の圓弧より成る、之を第一虹と稱す、時としては 50° 乃至 54° の角半徑を有する第二虹を伴ふことあり。虹の起る所以は上記水滴の理論によりて

容易に説明するを得べし。

圖に於て a, b, a', b' 等を空中に浮遊する水滴とし、 O を観者の眼とし Sa, Sb 等を太陽の平行光線とす。此等の水滴は皆太陽光を分散して總ての色光を發射す、然れども水滴の位置によりて

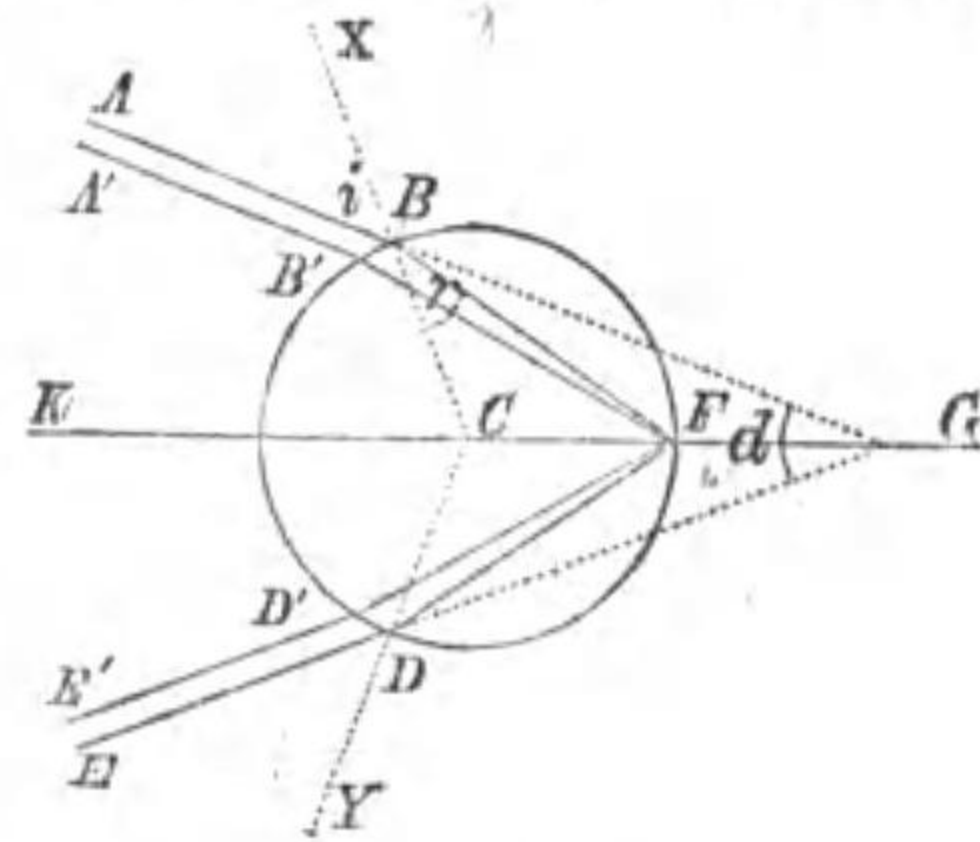
眼に達する色光の種類を異にし、従つて水滴は各々其色を異にす。例へば水滴 a と眼 O とを連結したる直線が太陽光線の方向即ち OM 線(眼を過ぎて太陽光に平行に引きたる線)と 40°



の角を爲すときは a は強き堇光を眼に送りて堇色に現はれ、 bO 線が OM 線と爲す角が 42° なるときは b は強き赤色を眼に送りて赤色に見え、 a と b との間水滴は各々他の色光を眼に送る、此の如くして眼と太陽とを連せる直線(即ち OM 線)を軸とし 40° 乃至 42° の角半徑を有する色帯の圓弧を生ずべし、是れ即ち第一虹なり。同様に OM 線と 50° の角を爲す方向に在る水滴 b' は眼に赤色光を送り、 OM 線と 54° の角を爲す方向に在る水滴 a' は堇を送り、其他の水滴は他の色光を送りて第二虹を作

る第二虹は水滴内に於て二回の反射を爲せる光より成るが故に第一虹に比すれば其光微弱なり。又色帯の色の順序は第一虹と第二虹とは反対なり。

次に虹の生ずる理由を數學的に説明すべし。圖に於てCを水滴の中心となしABなる光線がB點に當りたりとせば一部は反射し一部は屈折してBFの方向を取るべし次にFに當りて一部は屈折して水滴外に出で、一部は反射してFDの方向を取るべし、次にDに於て一部は反射し一部は屈折して水滴外に出で、DEの方向を取るべし、DE線がAB線と爲す角dをフレの角といふ、屈折角をrとすれば



$$\angle CBF = \angle BFC = \angle CFD = \angle FDC = r$$

$$\angle BCK = 2r \quad \angle BGK = \angle BCK - \angle CBG = 2r - i \quad (301)$$

$$\therefore \frac{1}{2}d = 2r - i$$

次にABに平行なる光線A'B'が水滴に入りて二回の屈折と一回の反射とにてD'E'の方向を取れりとせばD'E'がDEと平行なるためにはフレの角がdに等しからざるべからず故にA'B'の入射屈折角をi', r'とせば

$$2r' - i' = 2r - i \quad \text{或は} \quad i - i' = 2(r - r')$$

i' = i + x, r' = r + y と置き屈折率をnとすれば

$$\sin i = n \sin r$$

$$\sin(i+x) = n \sin(r+y)$$

故に $\sin(i+x) - \sin i = n \{ \sin(r+y) - \sin r \}$

或は $2 \sin \frac{1}{2}x \cos(i + \frac{1}{2}x) = 2n \{ \sin \frac{1}{2}y \cos(r + \frac{1}{2}y) \}$

AB及びA'B'を極めて接近せるものとせばx及びyは殆ど0なるを以て上式に於て

$$\sin \frac{1}{2}x = \frac{1}{2}x, \quad \sin \frac{1}{2}y = \frac{1}{2}y, \quad \cos(i + \frac{1}{2}x) = \cos i, \quad \cos(r + \frac{1}{2}y) = \cos r$$

と置くを得べし故に

$$x \cos i = ny \cos r$$

然るにDEとD'E'とが平行なる條件 $x=2y$ により

$$2 \cos i = n \cos r$$

此式の兩邊を二乗すれば $4 \cos^2 i = n^2 \cos^2 r$ となる之と屈折率の式 $\sin^2 i = n^2 \sin^2 r$ とよりrを消去すれば

$$1 + 3 \cos^2 i = n^2$$

故に

$$\cos i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$$

赤色光にては $n=1.331 \quad \therefore i=59^\circ 32' \quad r=40^\circ 21' \quad \therefore d=42^\circ 20'$

紫色光にては $n=1.344 \quad \therefore i=58^\circ 44' \quad r=39^\circ 30' \quad \therefore d=40^\circ 32'$

故に虹の色帯の幅は..... $1^\circ 48'$

實際に太陽は約30'の視角を有するが故に虹の幅は上記の値よりも廣し又之によりて一の色と隣りの色とが相重疊するが爲め虹の色帯は細隙とプリズムとによりて得るスペクトルの如く純粹なるを得ず。

第二の虹は太陽の光が水滴に當りて二回の屈折と二回の反射とを爲して水滴を出づるとき生ず、今圖に於てABNMDEを光線の進路とせば五角形GDMNBに於て

$$\angle GDM = \angle GBN = r + 180^\circ - i$$

$$\angle DMN = \angle BNM = 2r$$

五角形和の内角は六直角=540°に等しきが故に

$$d = 180^\circ + 2i - 6r$$

水滴を出でたる光線が平行なるため

には

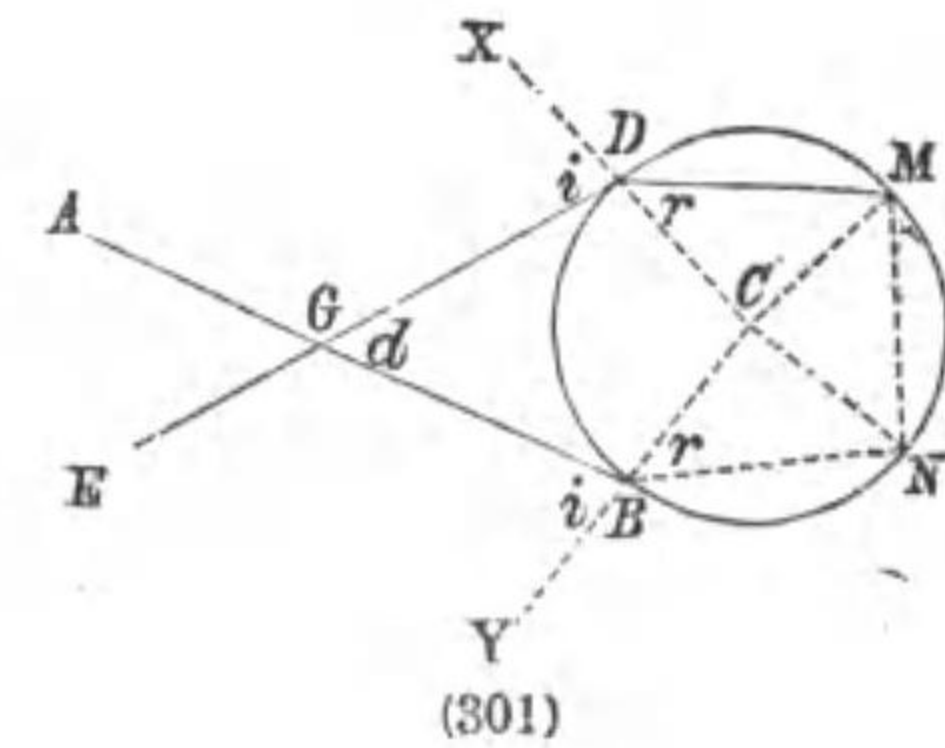
$$2i - 6r = 2i' - 6r'$$

故に $i - i' = 3(r - r')$ 或は $x = 3y$ 之よりして前と同様の方法によりて

$$\cos i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}$$

を得べし故に

赤色光にては $i=71^\circ 54' \quad r=45^\circ 34' \quad \therefore d=50^\circ 24'$

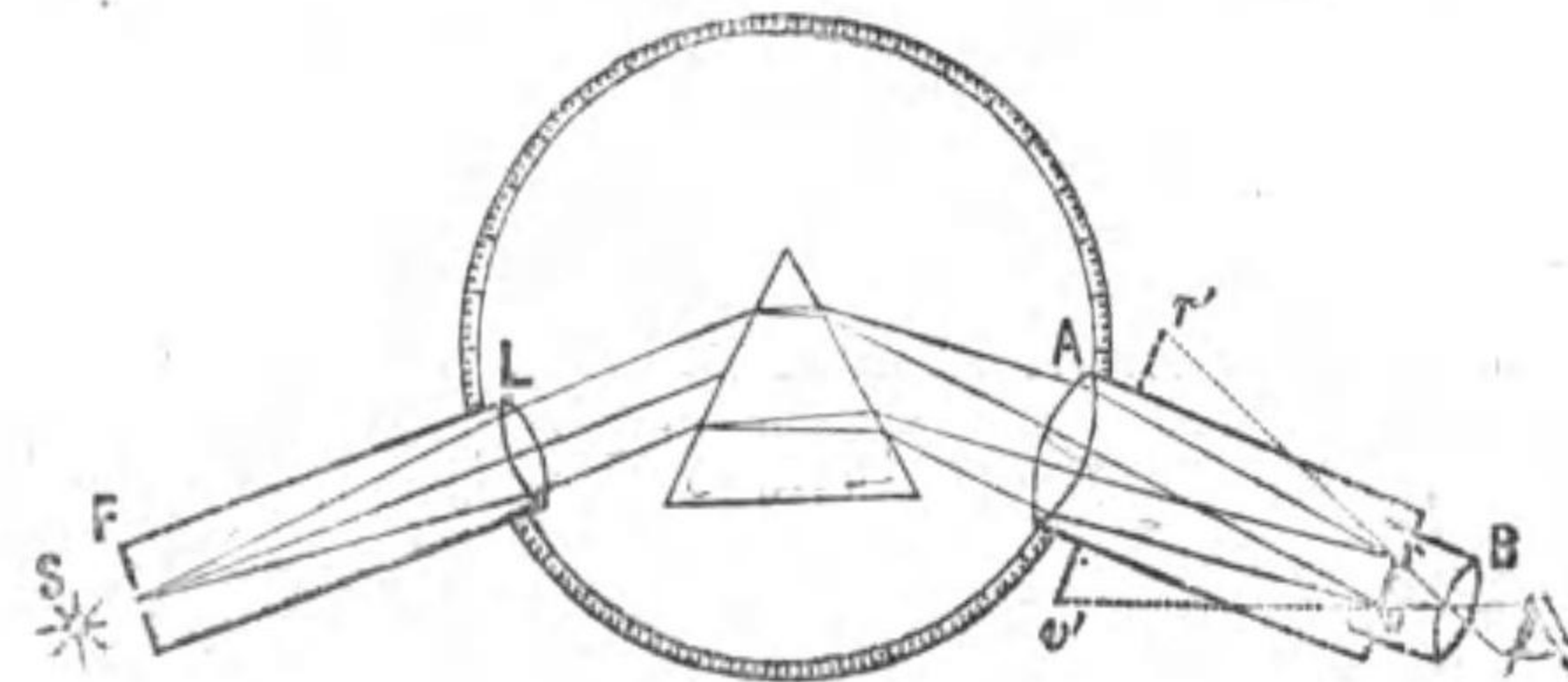


靑色光には $i=71^{\circ}22'$ $r=44^{\circ}52'$ $\therefore d=53^{\circ}46'$

第二虹の色帯の幅は..... $3^{\circ}22'$

192. 分光器 Spectroscope.

或光のスペクトルを仔細に檢せんには分光器と稱する器械を用ふ、其主要なる部分はプリズムコリメートル



(303)

及び望遠鏡より成る、コリメートルは一の圓筒にして其一端外方に向へる方に細隙 F あり、内方に向へる端に色消レンズ L あり、 F は丁度 L の焦點にあらしむ、然るときは光源 S より發する光は細隙を照らし筒内に入りレンズ L に當りて平行光線となる。プリズムは其稜をコリメートルの細隙と平行に置く、コリメートルより來る平行光線はプリズムに當りて分散す。此光を望遠鏡にて受くるとき假りに光源が赤色のみを發すとすれば對物鏡 A によりて赤色なる細隙の實像を v に結び光源が靑色光のみを發すとすれば靑色の實像を v' に結ぶ、若し又光源が白光を發すとすれば vv' 間に於て七色の實像が併

列すべし、故に細隙が極めて狭きときは各色の實像は重疊することなく連続して vv' 間に併列し茲に純粹なるスペクトルを生ず、之を對眼鏡 B によりて擴大したる虚像 v'' として眺むるなり。

193. スペクトルの種類

分光器によりて太陽スペクトルを仔細に檢するに所所に極めて細き暗黒なる部分あるを見るべし、フラウンホーフェル Fraunhofer (1817年) は始めて此事を發見し其著しきものに A, B, C, D, E, F, G, H の名を與へたり之をフラウンホーフェルの黒線といふ。高温度の固體及び液體



より發する光のスペクトルには黒線なきが故に之を連続スペクトルといふ。太陽其他の天體より發する光のスペクトルは上記の如く黒線を有す、之を吸収スペクトルといふ。又氣體のスペクトルは連続せる色帯にあらざして一個或は數個の色の線より成る、之を輝線スペクトルといふ。以上三種のスペクトルを列挙すれば

1. 連続スペクトル 高温の固、液體の光のスペクトル
2. 吸収スペクトル 太陽或は恒星の光のスペクトル
3. 輝線スペクトル 高温の氣體の光のスペクトル

氣體の輝線スペクトルは氣體を組成する原素の種類

によりて輝線を異にす、例へばナトリウム蒸氣の發するスペクトルは太陽スペクトルのD線に相當したる所に一本の黄線を有し、稀薄なる水素のスペクトルはC及びF線に相當したる所に明線を有するが如し、故に酒精燈の火焰中に食鹽を投じて其スペクトルを見るときはナトリウムの黄線を得べし、是れナトリウムは食鹽の一組成分なればなり、此の如くなるを以て各元素のスペクトルを豫め知り置くときは或物體の蒸氣のスペクトルを見て其物體は如何なる元素より成るかを知り得べし、かくスペクトルによりて物體の組成を知る法をスペクトル分析術 Spectrum analysis といふ。

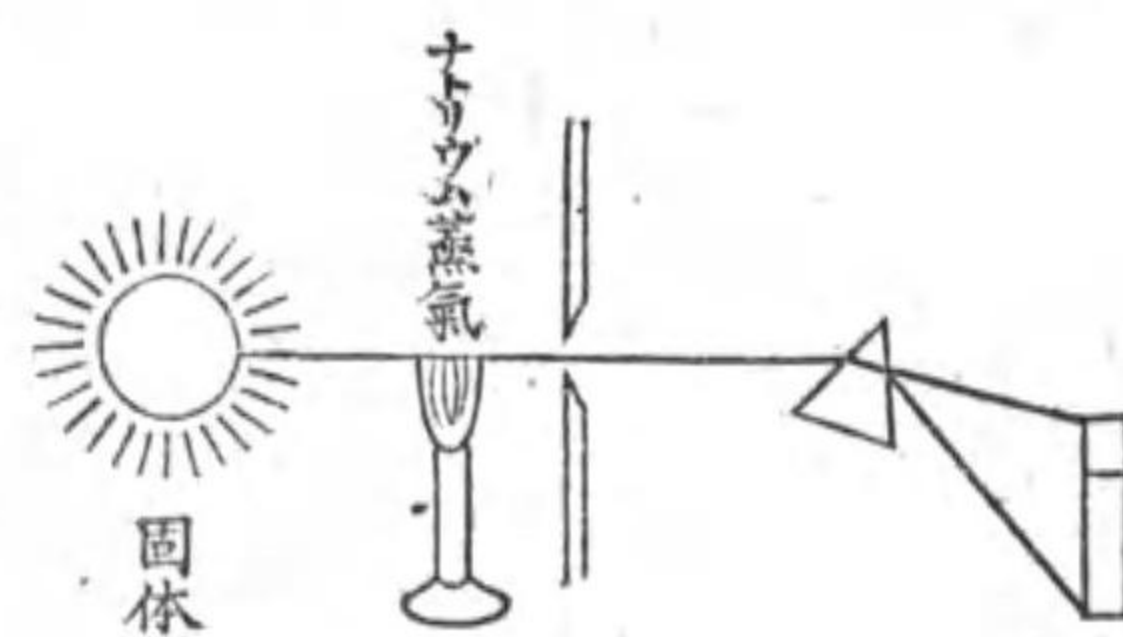
有色透明體を透過したる光のスペクトルも亦吸収スペクトルなり。血液を透過したる光のスペクトルは紫色部を缺き且つ黄線部(D線とE線との間に)二個の吸収帯を有す、吸収帯とは光を缺ける部分なり。吸収帯は光が物體を透過する際其部の色光が物體に吸収せらるゝによりて生ずるものにして、之亦各物質につきて特有のものなれば吸収帯によりて或物質の在否を鑑定することを得。

193a. 太陽スペクトル

太陽スペクトル中に黒線の存在することは大に研究を要すべき事なり。今高温度に熱したる固體(例へば電氣燈)を用ひて先づ連続スペクトルを作り、次に光源とプリズムとの間に低温度のナトリウム蒸氣を置くときは連続スペクトルの黄色部に一本の黒線を生じ且つ其位

置は太陽スペクトルのD線と一致するを見るべし、之に

依つて見れば氣體のみが單獨に熱せらるゝときは其氣體固有の輝線を發すれども、己よりも高温度に在る固體液體の發する光の進路中に在るときは反



(305)

つて其氣體固有の光を吸収するを知る、太陽スペクトル中に黒線の存在する所以は實に之が爲めにして太陽の實質は高温度に熱せられたる固體又は液體にして、之より發する光のスペクトルは連続スペクトルなるべき譯なれど、其周圍に稍や低温度の種々の蒸氣あるが爲めに其等の蒸氣固有の光は吸収せられ其部分を缺きて黒線を生ずるなり、故に太陽スペクトルの黒線を見れば以て如何なる蒸氣が太陽の周圍に在るかを知り得べし、例へばA, B線は酸素の輝線に相當し、C, Fは水素の輝線、Dはナトリウムの輝線に相當するが故に太陽氛圍氣中には酸素、水素、ナトリウム等が存在することを推知し得べし、是れ亦一つのスペクトル分析術にして、之によりて太陽を構成する物質は地球を構成する物質と大差なきを知るを得たり。同様に種々の天體のスペクトルによりて其が固液體なるか或は氣體なるかを識別することを得る

Radiant Ray

なり。

194. 輻射線 Radiant ray の三種

太陽スペクトルを鋭敏なる溫度計にて探ぐるに、熱の作用は莖色部に少なく赤色部に至るに従つて次第に増すを見る、又赤色部以外の暗黒なる部分にも熱の作用あるを認め得べし、又寫眞用の乾板にて化學作用の強弱を検するに、赤色部に於ては殆ど其作用なく、莖色部に至るに従ひ次第に其作用を増し、莖色部以外に於ても尙此作用あるを認め得べし、之によつて見れば太陽は眼に感覺を與ふる所の通常の光線の外に或者を發射す而して、其内屈折率小にしてスペクトルの赤色部外に屈折するものを赤外線 Infra-red ray といひ、屈折率大にして莖色部外に屈折するものを莖外線 Ultra-violet ray といふ、赤外線は熱の作用のみを呈するを以て一に熱線 Heat ray と云ひ、莖外線は化學作用のみを呈するを以て化學線 Actinic ray といふ、通常の光線は光の作用の外に熱の作用及び化學作用を呈すること勿論なり。かく太陽は通常の光線の外に熱線及び化學線を發射するものにして此等の三種類の線を總稱して輻射線 Radiant rays といふ。固體或は液體を熱するときは先づ熱線を發し尙續て之を熱して所謂赤熱するに至りて(約 500° 乃至 750°)赤色光を發し、其より溫度高まるに従つて橙黃等を併せ發し、白熱の状態

(約 1000°)に達するに及んで總ての色光を發し其スペクトルは連續スペクトルとなる、而して充分高溫度に達すれば化學線をも發するに至る。

註 輻射線の「線」は幾何學的の意義を有するにあらずして光線の「線」を廣義に使用したる語なり。原來光線とは光の進路を指して云へる語なれども茲には光と同じ意義に用ひたるなり、従つて熱線、化學線等の「線」は直線、曲線等の「線」にあらずして光線の「線」なりと知るべし。

第五章の復習

重要なる事項

分散、スペクトル、太陽光の七色
 餘色、原色、單色、複色、物體の色
 色収差、色消レンズ、水滴の色、虹の成生
 スペクトルの三種、スペクトル分析術、輻射線の三種

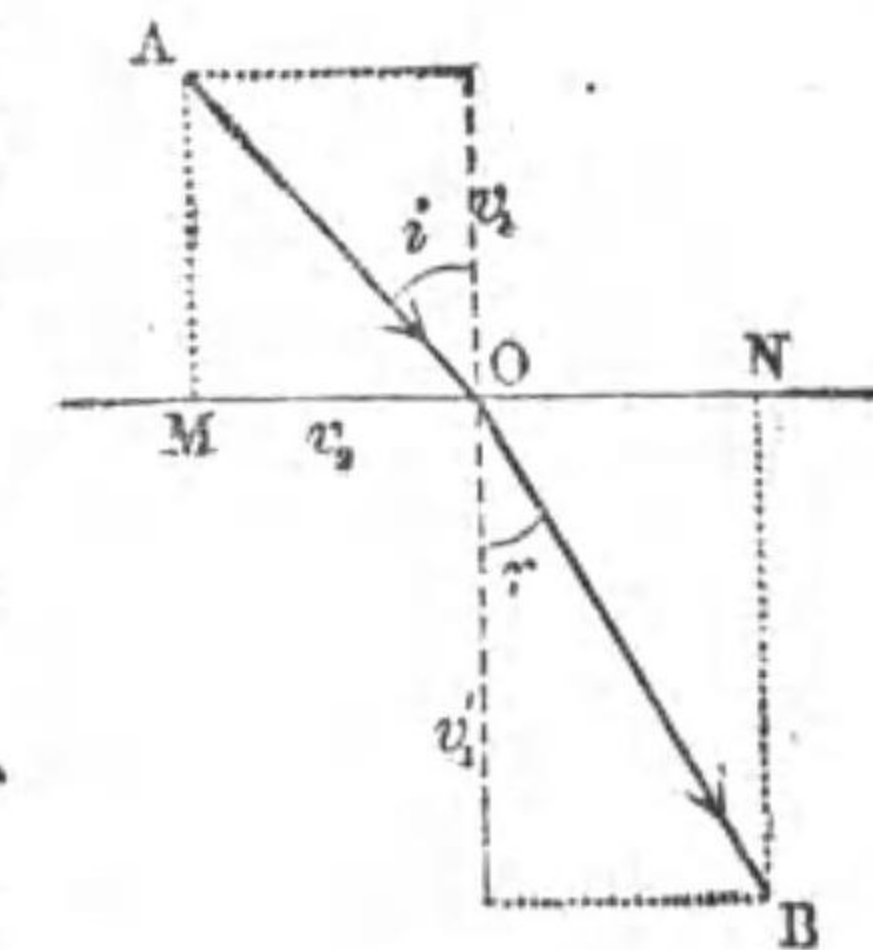
問題

- (1) 單色と複色との區別を問ふ。一つの色光が單色なるか、複色なるかを識別せんには如何にすべきか。
- (2) 物體に當れる光は如何なる部分に分るゝか。
- (3) 物體の色は何によりて定まるものなるか。
- (4) 物體の表面を滑かに爲すときは光澤を増すは何故なるか。
- (5) ランプの光にては紺と黒とを區別し難けれども電氣燈の光にては此區別容易なり、其理を問ふ。
 解 電氣燈の光はランプの光に比すれば屈折率大なる色光即ち堇藍等に富むを以てなり。
- (6) 色硝子を白紙の上に載せて見るときは固有の色を呈すれども黒紙に載せて見るときは黒色を呈するは何故なるか。
 解 硝子を透過したる光が白紙に當るときは反射せらるれども黒紙に當るときは吸収せらるゝを以てなり。
- (7) 色消レンズの作用を問ふ。
- (8) 水滴が種々の美麗なる色を呈するは何によるか。
- (9) 分光器の細隙を廣くするときは如何なる結果を生ずるか。
 解 各色光が相重疊するを以て一端は赤色他端は堇色にして其間白色なるスペクトルを得べし。
- (10) スペクトル分析術の應用を問ふ。

第六章 光の波動説

195. 微塵説 Corpuscular theory.

光の本質に關しては現今の智識の程度に於ては未だ明解を與ふること能はず。光に關する學説は古來二派に分る、一を微塵説といひ一を波動説といふ、微塵説によれば發光體は絶えず光素と稱する極めて細微なるものを發射し之が眼に入りて光の感を起すものとせり、此説に従へば反射及び屈折の現象を説明すること極めて簡單なり、例へば光が空氣中より水中に進むとき其方向を變ずる所以を説明せんは、圖の如く光素が AO の速度を以て境界面に當るとし之を境界面に直角及び平行の方向に v_1 及び v_2 に分解すべし、境界面に平行なる分速度は水中に入りても變化を受けざるもの



(297)

とし、直角なる分速度は増大して v_1' となりたりとせば、水中に於ける光の速度は OB となるべし、屈折率を n とすれば

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{OM}{OA} \div \frac{ON}{OB} = \frac{OB}{OA}$$

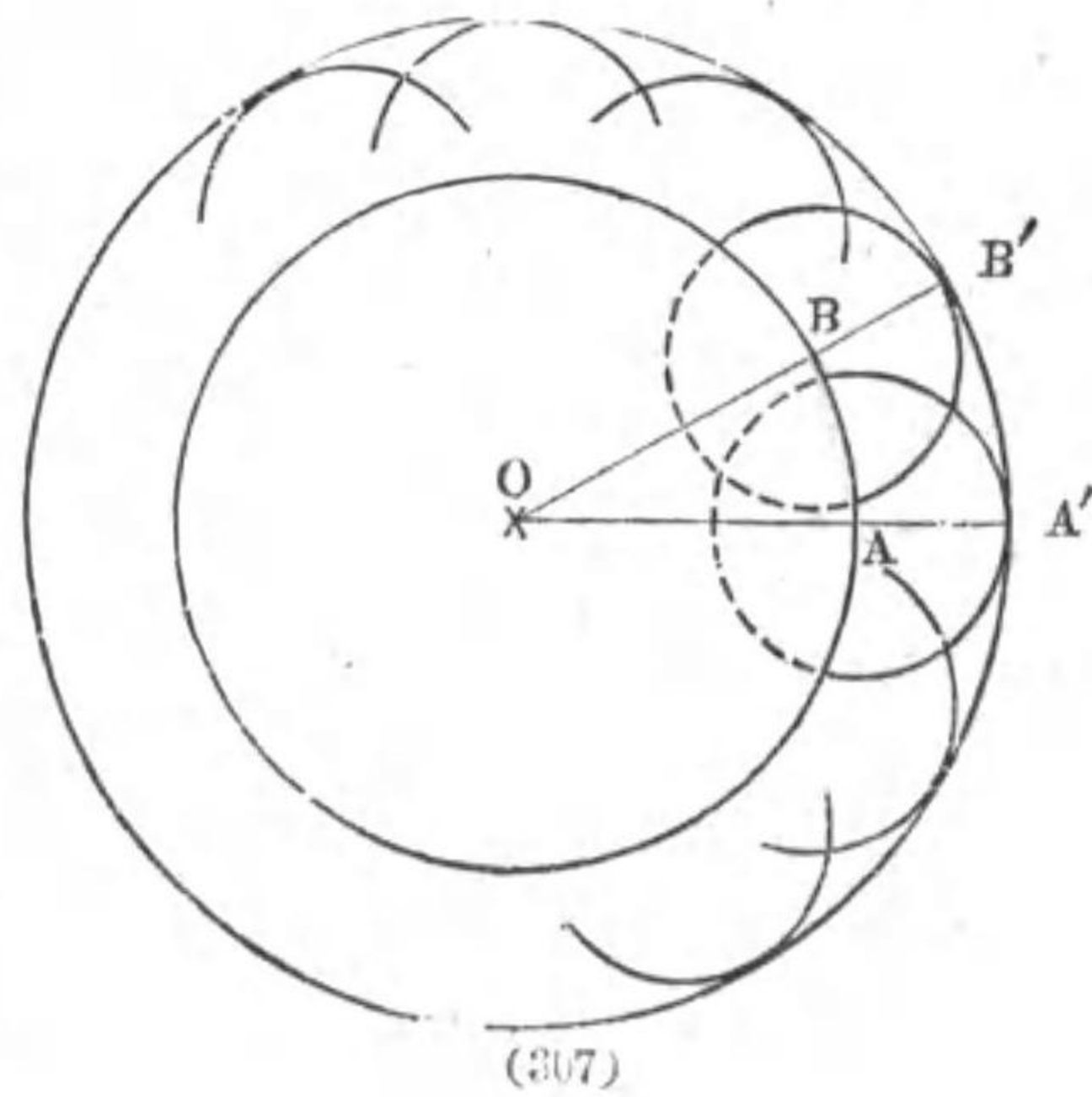
故に微塵説に従へば光が空氣より水に入るときは屈折

率は水中の速度の空気中の速度に對する比に等し、而して此場合には屈折率は1よりも大なるが故に $OB > OA$ ならざるべからず、然るにフーコー Foucault の實測によれば水中に於ける光の速度は空気中に於けるものよりも小にして約 $\frac{3}{4}$ に當る、此實驗によりて微塵説は事實と撞着するものなることを知れり。

195a. 波動説 Wave theory.

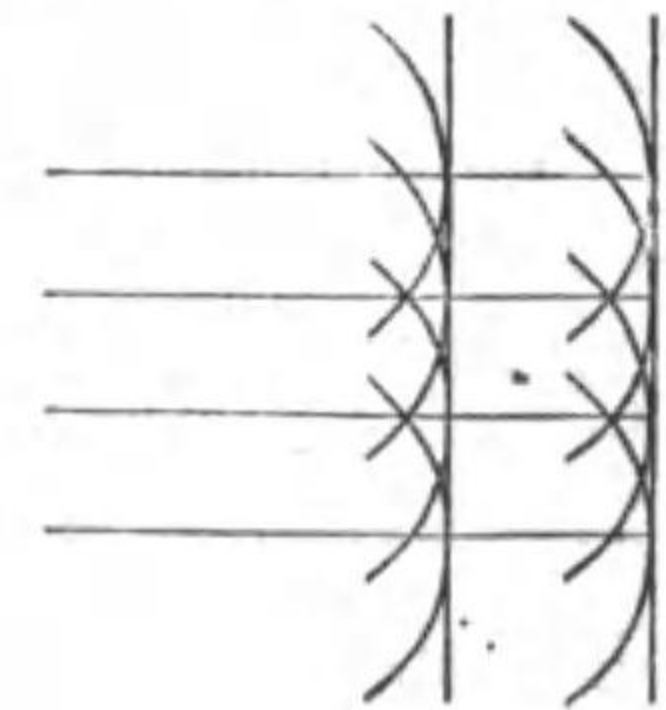
波動説は和蘭人フイゲンス Huygens (1678年)の首唱せし所にして此説によればエーテル Aether と稱する一種の假想的物質が宇宙全體に瀰満し且つ物體中にも存在し、發光體の分子が振動して其の振動をエーテルに傳ふるときはエーテルの波動は四方に傳播し之が眼に入りて光の感覺を起すものとせり、其狀恰も發音體の振動が周圍の空氣に傳はり空氣の波動が耳に入りて音の感を起すが如し。エーテルは光を傳ふる役目を爲すものなれば一の光媒なり。

水面 O に小石を投ずるときは波は O を



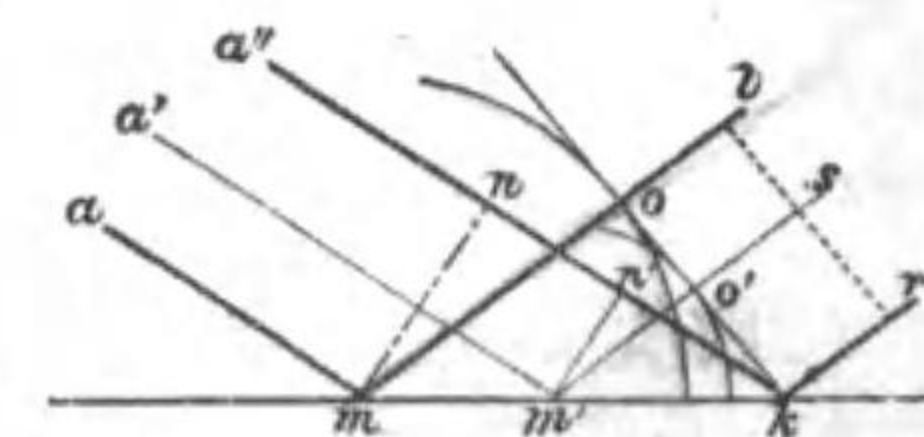
(307)

中心として圓形を爲して四方に播がるべし、波が AB より $A'B'$ に進むに要する時間を t とし波の進行の速度を v とすれば $AA' = BB' = vt$ なり、而して圓周 AB 上の諸點を中心として vt なる半徑を以て圓を畫くときは此等の圓は總て $A'B'$ 圓に觸るべし、依つて $A'B'$ なる波は AB 波上の諸點を中心とせる小なる波の集合より成るものと見るを得べし、此事をフイゲンスの原理といふ。フイゲンスの原理を光波の場合に應用すれば光源より發する光波は組織一樣なる媒質中に在りては球面を爲して傳播すべし、而して $A'B'$ なる波面は AB 波面上の諸點を振動の中心とせる小なる波面の集合より成るものとす、かくすれば OA' 、 OB' 等の直線は光の進路即ち光線を表はすことゝなるべし。光源が無限大の遠距離に在るときは波面は平面となる、勿論此場合にも前の作圖が當はまる、即ち一の波面中の諸點を中心とせる球形の小波は集まりて第二の波の平面を作るなり。



(308)

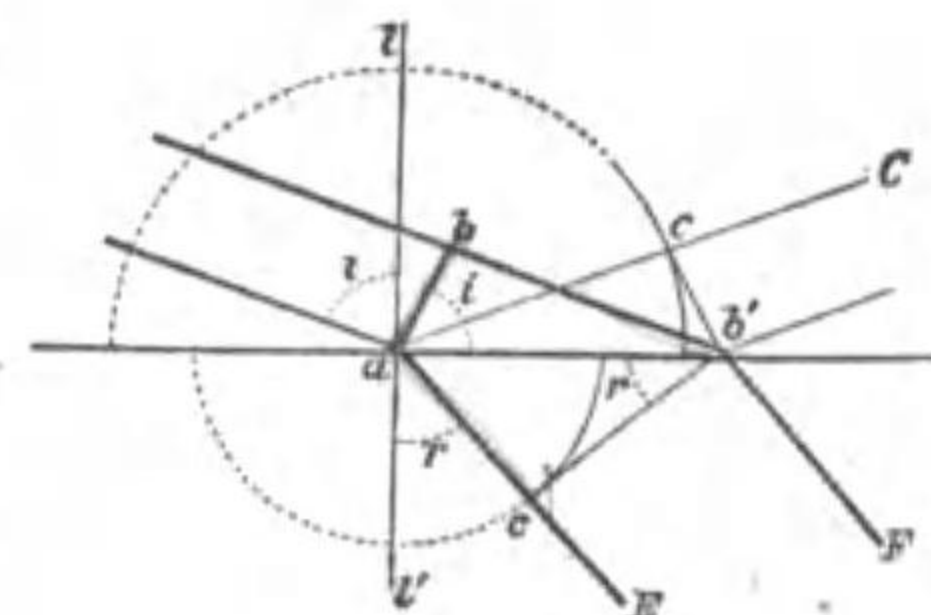
次に波動説によりて光の反射屈折を説明せんとす、但し茲には入射光が平行光線なる場合のみを論ずべし。



(309)

$mm'k$ を反射面とし am $a'm'$ 等を入射光線とすれば波面は此等の光線に直角を爲して速度 v を以て進行すべし、 mn $m'n'$ 等は此波面を表はす、今波が mn に達したりとせばフイゲンスの原理によりて反射面中の一點なる m を中心として球形の波が擴がるべし、波面 mn が nk の距離だけ進む間に m を中心とせる小波は半径 mo ($=nk$)の球面を畫くべく、次に波面が $m'n'$ に達するときは m' を中心とせる小波を生じ $m'n'$ が $n'k$ だけ進む間に $m'o'$ ($=n'k$)の半径の球面を畫くべし、此の如く mk 上の諸點は皆振動の中心となりて小波を送り出す、此等の小波の集合して作る所の平面 $oo'k$ は即ち反射波にして之に直角なる mo 等は反射光線なり、圖によりて明なるが如く $\triangle mkn = \triangle kmo$ $\therefore \angle mkn = \angle kmo$ 故に反射角と入射角とは相等し。

次に屈折を説明せん、第一媒質中の光の速度を v とし第二媒質中の速度を v' とし且つ $v > v'$ とす、 ab を入射波の波面とすれば ab が b' に進む間に a を振動の中心として第一媒質中には $ac = bb'$ の半径の球形波面を畫き、第二媒質中には $ac' = bb' \times \frac{v'}{v}$ の半径の球形波面を畫くべし、何となれば光が第一媒質中にて v だけ進む間に第二媒質中にては



(310)

v' だけ進むを以てなり、故に反射の場合と同様に切線 $b'o'$ を引くときは $b'o'$ は屈折波の波面を表はし之に直角なる ac' 線は屈折光線を表はす、而して $\angle bab' = i$ $\angle ab'c' = r$ とすれば

$$\sin i = \frac{bb'}{ab'} \quad \sin r = \frac{ac'}{ab'} \quad \therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{bb'}{ac'}$$

然るに $\frac{bb'}{ac'} = \frac{v}{v'}$ なり、故に屈折率を n とすれば

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v}{v'}$$

故に波動説に従へば光が空氣より水に入るとき屈折率は空氣中の速度の水中の速度に對する比に等し、實測によるに水の屈折率は1.33にして又空氣中の速度を4とすれば水中の速度は3にして $\frac{4}{3} = 1.33$ なり、故に波動説は此點に於て能く實驗上の事實と符合す。

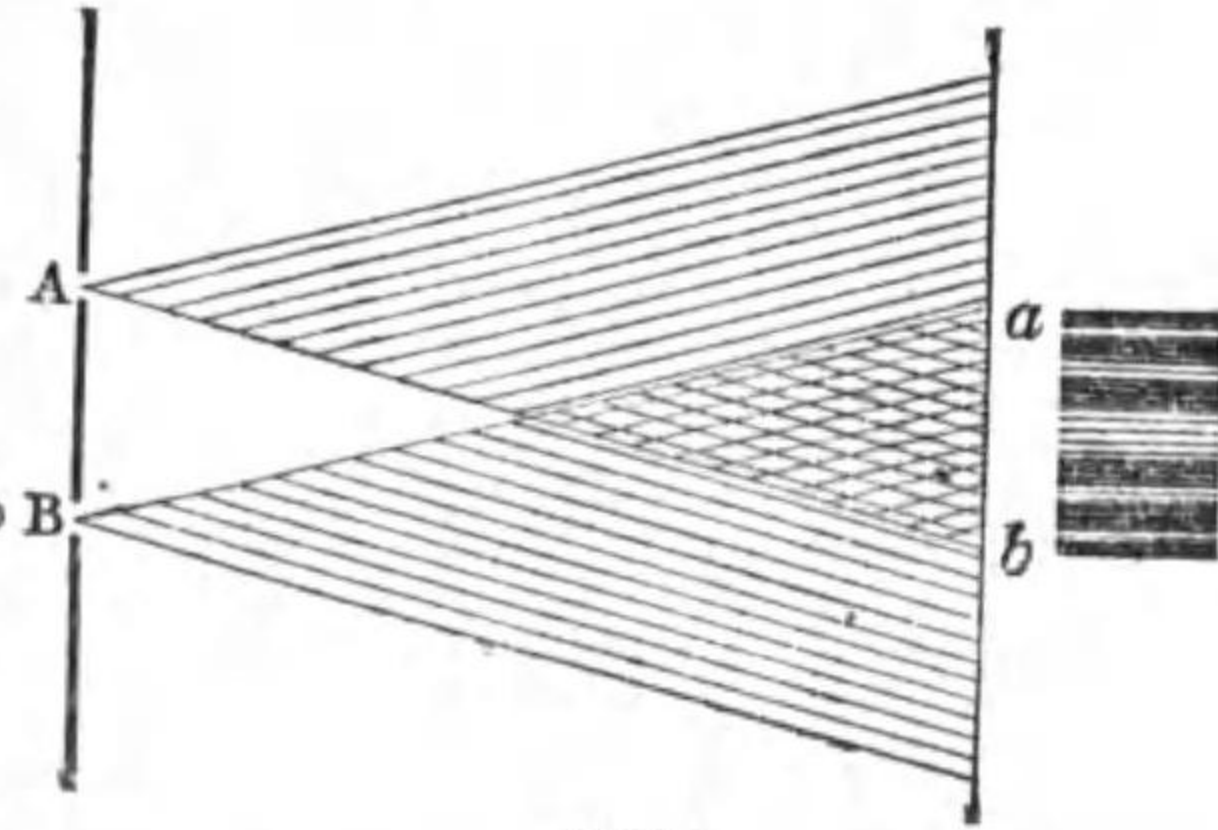
波動説は上記の如く光の反射及び屈折は之を充分説明することを得たれども光の直進を説明すること能はざりき、之が爲めニュートンは微塵説を固守して之を發達せしめたり、ニュートンは物理學界の一大偉人なりしたため其後の學者は多くニュートンの説に従ひたりしがフイゲンスの後百年を経て光の干涉廻折等の諸現象發見せらるゝに至り波動説は再興し、遂に前記フーコーの光速の實測によりて微塵説は全く敗滅に歸せり。

196. 光波の干涉

單色光をして相接近せる二個の細隙 A, B を通過せし

め其光を衝立にて受くるときは、兩孔より來る光の相重さなる所 ab 間に明暗相隔つる多く縞を生ずるを見るべし、若し孔の一を塞ぐときは縞は消失す、此現象は光波の干涉によりて充分説明することを得。

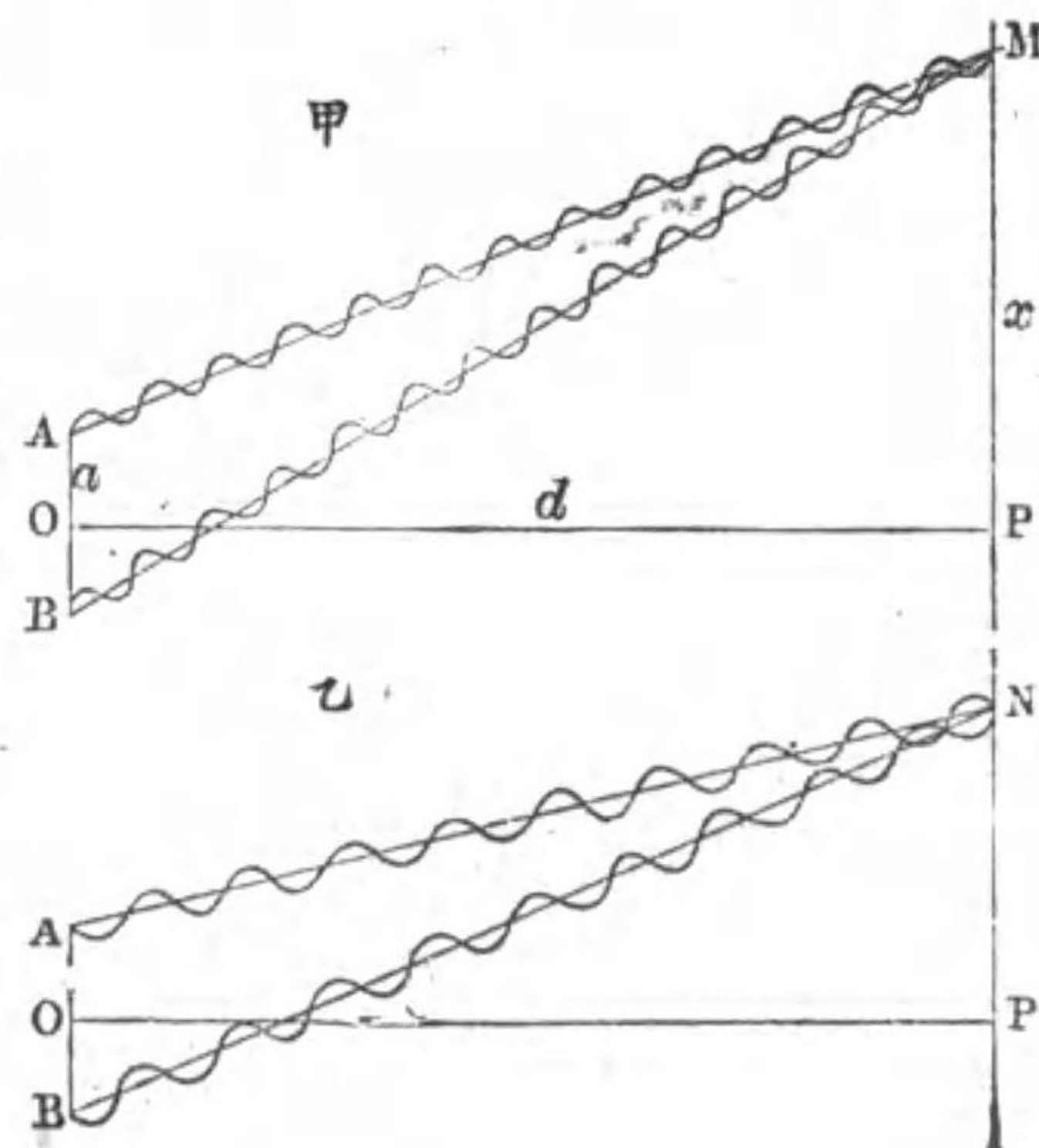
312 圖に於て二個の光波が A 及び B より同じ位相を以て發するものとし、之を衝立にて受くるに當り、甲圖の如く兩波が M に於て同じ位相を以て相重さなるときは兩波の振動相助けて M に明縞を生じ、乙圖の如く N に於て反對の位相を以て相重さなるときは兩波の振動は互に消し合ひて N に暗縞を生ずべし、故に光波の波長を λ とするときは AM と BM の長さの差が 0 なるとき或は λ の倍數に等しきときは明縞を生じ、 λ の奇數倍なると



(311)

と

と



(312)

きは暗縞を生ず。

$$OA=OB=a, OP=d, PM=x \text{ とすれば}$$

$$AM=\sqrt{(x-a)^2+d^2} \quad BM=\sqrt{(x+a)^2+d^2}$$

x 或は a に對して d を極めて大なりとすれば

$$AM=d\sqrt{1+\left(\frac{x-a}{d}\right)^2}=d\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{d}\right)^2\right\}$$

$$BM=d\sqrt{1+\left(\frac{x+a}{d}\right)^2}=d\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{x+a}{d}\right)^2\right\}$$

$$BM-AM=\frac{1}{2}d\left(\frac{x+a}{d}\right)^2-\frac{1}{2}d\left(\frac{x-a}{d}\right)^2=\frac{2ax}{d}$$

故に

$$\frac{2ax}{d}=p\frac{\lambda}{2} \quad \left\{ \begin{array}{l} p=0, 2, 4, \dots \text{ なるときは明} \\ p=1, 3, 5, \dots \text{ なるときは暗} \end{array} \right.$$

或は $x=\frac{pd}{4a}\lambda$

是によりて x を測りて波長 λ を知ることを得其方法は音波の干涉に於けるとときと全く同一なり。又光速を v とし一秒間の光波の振動數を n とすれば $v=n\lambda$ なる關係によりて v 及び λ より振動數 n を計算することを得。

上の實驗に於て單色光の代りに太陽光を用ふるときは明暗の縞の代りにスペクトルの如き着色したる縞を生ずべし、是れ一の色光の暗縞に當る場處は他の色光の明縞に當るを以てなり、是よりして各色光の波長を測るに赤色光の波長最も大にしてスペクトルの莖色部に近き色光ほど其波長小なり。太陽光がプリズムによりて

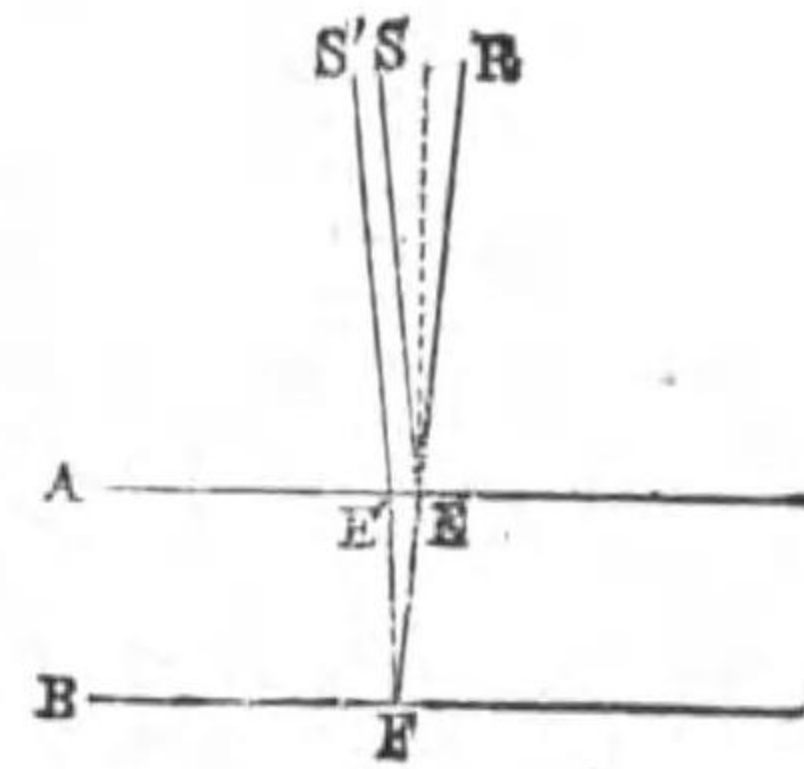
分散せられてスペクトルを生ずるは太陽光が種々の波長の光波より成るが爲めにして波長の大なるものは屈折すること小に、波長の小なるものは屈折すること大なり、かくしてかの色帯を生ず、而して太陽スペクトル中の黒線は太陽光が其黒線の位置に相當する波長の光波を缺くによる、又赤外線は波長が赤色光のよりも一層大にして屈折すること少なく、紫外線は紫色光の波長より小にして屈折すること多きエーテル波なり。以上の事實によつて見れば吾人の眼が種々の色を感じるはエーテル波の波長の差異即ち波の振動数の多少に依るものにして、恰も音波の振動数の多少によりて調子の高低の感を生ずるが如し、又眼に感じ得る波の振動数には或範圍ありて其範圍より多き振動数及び少なき振動数の波は眼に感覺を生せず、赤外線及び紫外線は即ち此範圍外の波にして眼は兩者の中間に位する振動数の波のみを光として感ずるなり。次に種々の光波の波長及び水に對する屈折率の表を掲ぐ、表中A, B, C等は太陽スペクトル中の黒線の位置に相當する光波を意味す。

	波長	屈折率		波長	屈折率
A	0.0007600	1.3293	E	0.0005270	1.3358
B	0.0006867	1.3309	F	0.0004861	1.3377
C	0.0006363	1.3317	G	0.0004303	1.3412
D	0.0005893	1.3335	H	0.0003369	1.3441

197. 薄膜の色

極めて薄き透明なる膜が美麗なる彩色を呈することは古より知られたる事實なり、例へば水上に一滴の油を滴らすときはキラが浮くと稱する現象を呈し、窓硝子を濕ひたる布にて拭ふときは硝子は薄き彩色を帯ぶべし、最も著しき例は石鹼液の薄膜なり、石鹼の溶液にて所謂シャボン玉を作るときは石鹼液の膜が薄くなるに従つて種々美麗なる色彩を放つに至る、是れ薄膜の表面に當りて反射せる光波と膜内に進入し裏面に於て反射せる光波とが互に干涉して生ずる現象なり。

圖に於てA, Bを薄膜の兩面とし、之に略ぼ直角に平行單色光線SE, S'E'を投ずるときS'E'の一部は膜中に入り下面Bに於て反射しE'FEの道を通りて再び膜外に出でSEのA面に於て反射したる光線ERと丁度一致することあるべし、



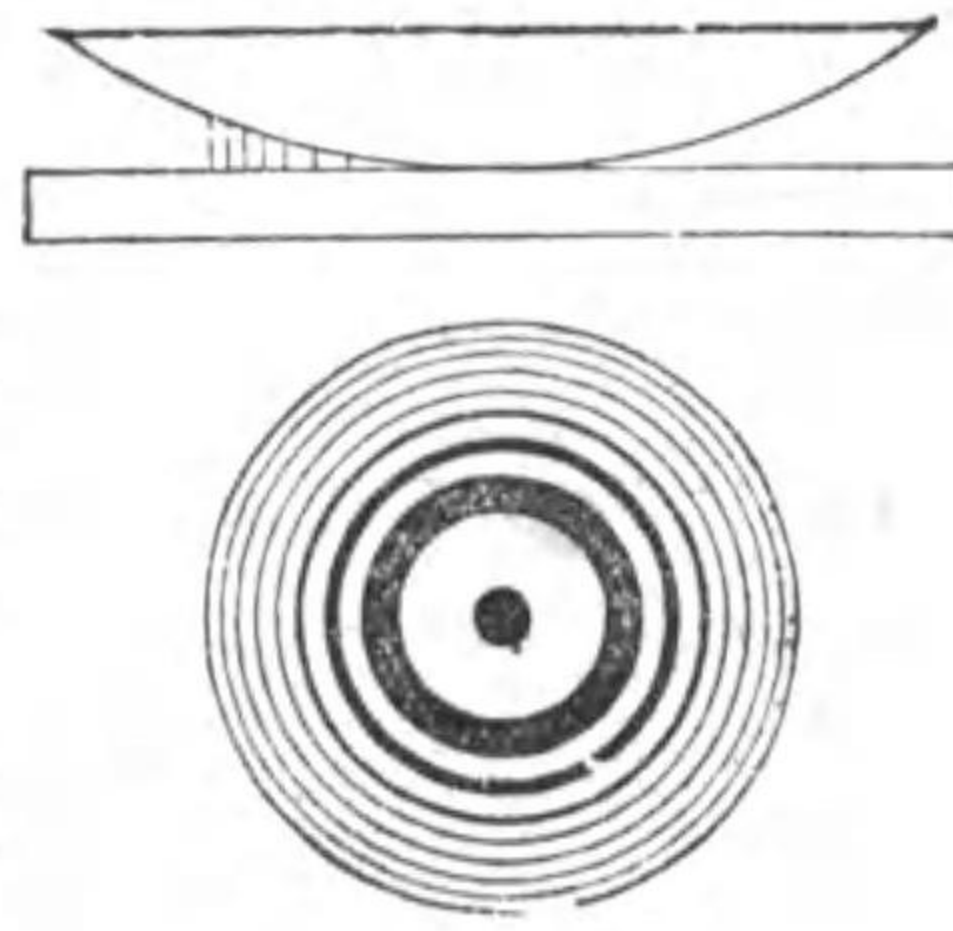
(313)

此時兩者はE'F+FEだけの行路の差を生ず、此行路の差が波長λに對する關係如何によりて兩者の振動の助け合ふ場合と消し合ふ場合とを生ず、故に單色光の代りに太陽光を用ふるときは白光の内或色光が消さるれば其餘色が現はれて色彩を生ずるなり。

光波が密媒質より疎媒質に進まんとするに當り其境界面に於て反射するときには反射波の位相は $\frac{1}{2}\lambda$ だけ後るゝものなり、故に今薄膜の質が其周囲の媒質よりも密なりとせば、 F に於て反射する場合に $\frac{1}{2}\lambda$ の後れを生ず、故に兩光波の行路の差は $E'F+FE$ にあらずして $E'F+\frac{1}{2}\lambda+FE$ となるべし、膜の厚さを d とすれば $E'F+\frac{1}{2}\lambda+FE=2d+\frac{1}{2}\lambda$ なり、故に $2d+\frac{1}{2}\lambda$ が $\frac{1}{2}\lambda$ の偶數倍なるとき即ち $2d$ が $\frac{1}{2}\lambda$ の奇數倍なるときは兩光波は E に於て同位相にて相會して振幅を増し、 $2d$ が $\frac{1}{2}\lambda$ の偶數倍なるときは反對の位相を以て相會し振動消滅す。

油のキラは水面に擴がれる薄層によりて生じ窓硝子の色彩は其上に残れる水の薄層によりて生ずるなり、又硝子、水晶、氷塊等を打ちて破碎するに當り往々破碎面に於て色彩を呈することあり是れ打撃の爲めに生ずる罅隙が薄膜の作用を爲すを以てなり。

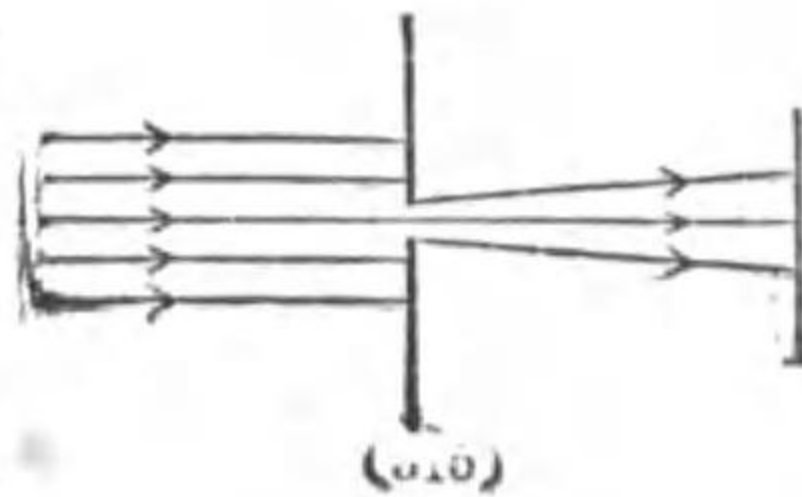
ニュートンは大なる半徑球面を有する硝子を平面の硝子板に載せて色彩の生ずるを見たり、此場合には兩硝子間に狭まれたる空氣が薄膜の役目を爲すものにして空氣層の厚さは兩硝子の相接觸する點より等距離にある所は皆同一なるが故に色彩は此點を中心として環狀を呈す之をニュートン環といふ。



(314)

198. 光波の廻折 Diffraction.

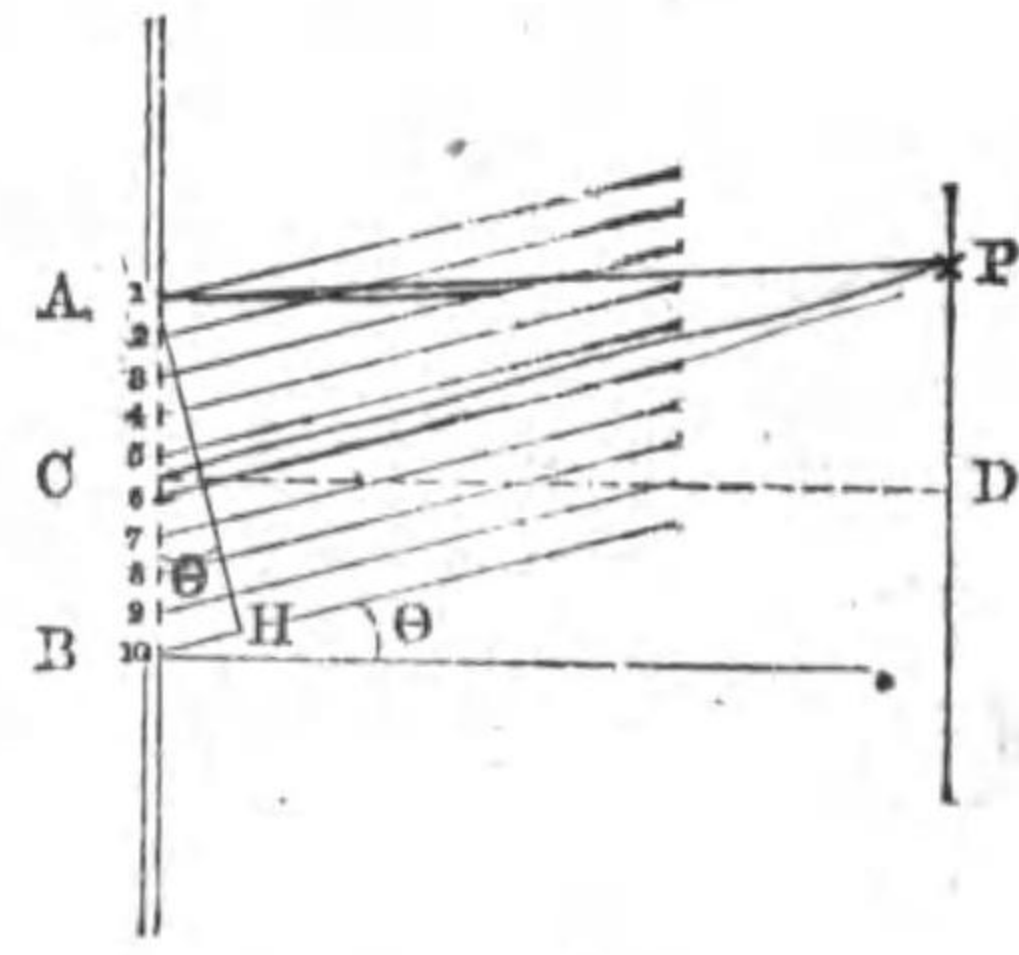
單色光をして細隙を通過せしむるときは光は直行せずして少しく擴がり且つ衝立上に明暗の縞を生



(315)

ずるを見る、此の如く光が彎曲して陰影部に進入する現象を廻折と云ふ。若し單色光の代りに太陽光を用ふれば色の縞を生ず。多くの併列したる細隙より光を導くときは此現象は一層著し木の葉の間隙を漏るゝ日光を望むとき又は羽毛を透して光源を望むとき美麗なる色彩の生ずるは此現象に屬す。光の直進を波動説によりて説明すること困難なりしは波動説の一缺點なりしが、廻折の現象の發見によりて此困難を除去することを得たり。

明暗の縞を生ずるは光波の干渉に依る。圖に於て AB を細隙とし C を其中點とす、光波が細隙に達すれば AB 間の諸點は振動の中心となりて波を送り出すべし、故に此等多數の光波が干渉して同じ位相の所相合すれば明に、反對の位相相合すれば暗となるべし、衝立を極めて遠きものとすれば D 點 ($CD \perp AB$) に於ては AB 間の諸點より發する波動は略ぼ同一の位相を有すべきにより明線を生ず、次に P 點に付て考ふる



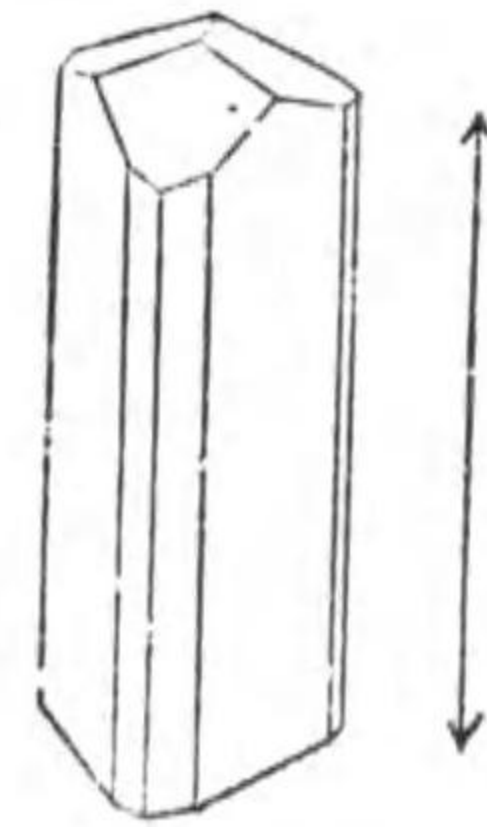
(316)

に $CP-AP$ が波長の $\frac{1}{2}$ の奇數倍に等しきときは A より發する波動と C より發する波動とは P に於て互に消し合ひ又 A の隣り 1 と C の下隣り 6 とより發する波動も P に於て互に消し合ひ、2 と 7, 3 と 8, 4 と 9, 5 と 10 とは互に消し合ひ、かくして AC 間の諸點と CB 間の諸點とより發する波動は互に消し合ひて P に暗縞を生ず。若し $CP-AP$ が波長の倍數なるときは P に明線を生ず。 $\angle DCP = \theta$ とすれば $CP-AP = \frac{1}{2}AB \sin \theta$ なり故に

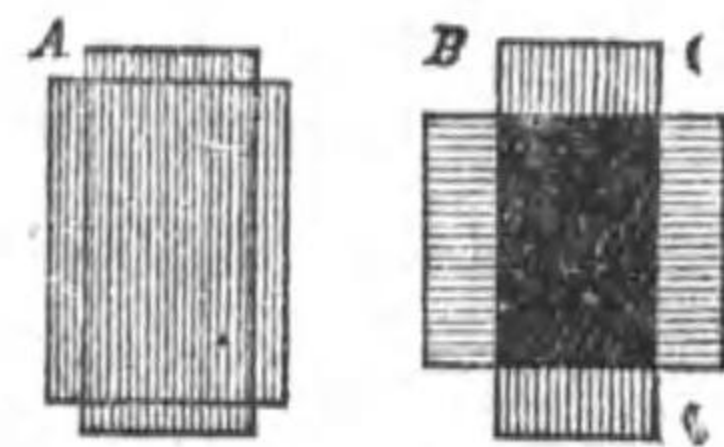
$$\frac{1}{2}AB \sin \theta = \frac{1}{2}p\lambda \quad \begin{cases} p=0, 2, 4, \dots \text{のときは明} \\ p=1, 3, 5, \dots \text{のときは暗} \end{cases}$$

199. 光波の偏り Polarization.

電氣石と稱する鑛物あり圖の如き形の結晶を爲す、矢にて示したる方向を結晶の主軸といふ。電氣石を主軸に平行に截りて二枚の薄片を作り之に光を通ずるときは次の如き現象を生ず、即ち一枚の電氣石板を透して光を窺ふに格別の變化を認めず、されど一旦電氣石を透りたる光を第二の板を透して窺ふに兩板の主軸の方向互に平行なるときは(318圖A)一枚の板のみのときと同様に光を見ることを得れども、主軸の方向が互に傾きを爲すに従つて光の強さを減じ、主軸が互に直角の位置に来るときは(B圖)光は全く遮断せらる、之によつて一旦電氣石を通過せる光は通常の光と其性質を異にすることを知る。



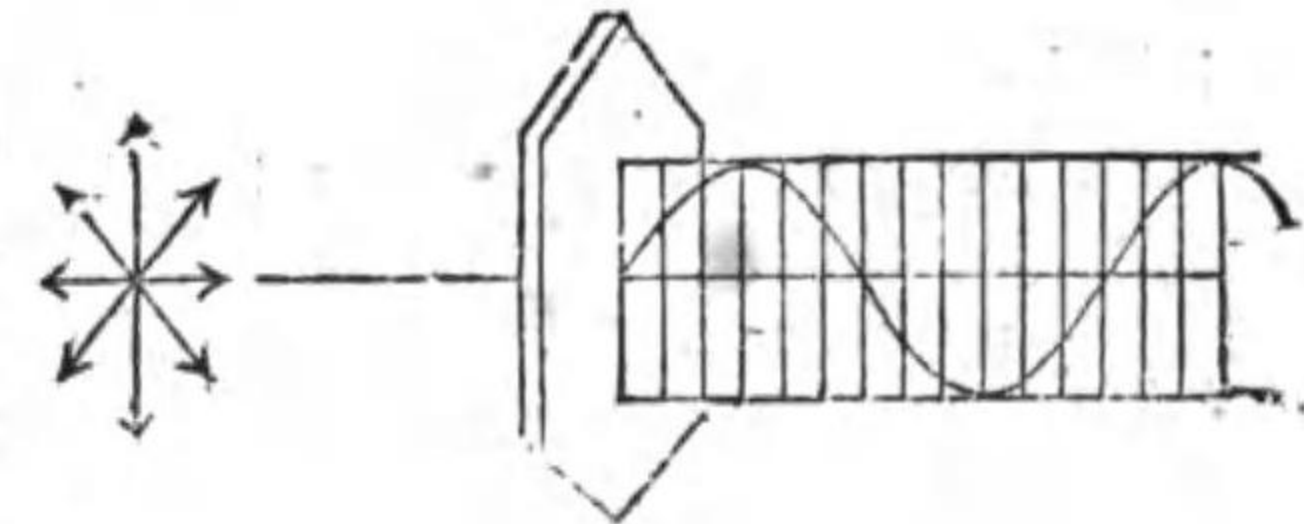
(317)



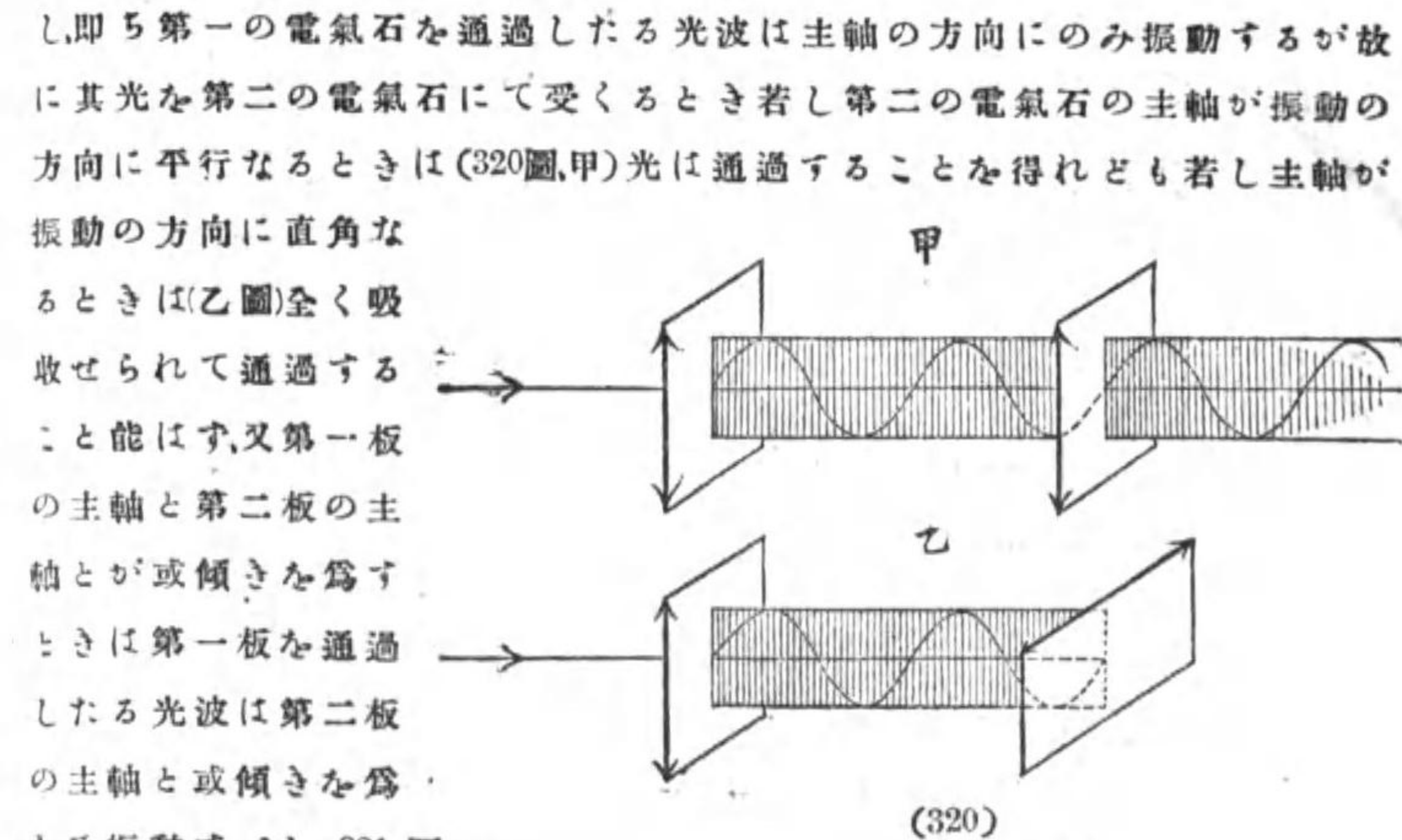
(318)

此現象を説明せんには光波に於けるエーテルの振動は光波の進行の方向に直角なるものとせざるべからず、即ち光波は一の横波なりとす、而して通常光に在りてはエーテルは光波進行の方向に直角なる平面内に於て種々の方向に振動す、されど之を電氣石に當つるときは種々の方向に於けるエーテル振動は皆主軸の方向及び之に直角なる方向の二方向に別れ主軸に直角

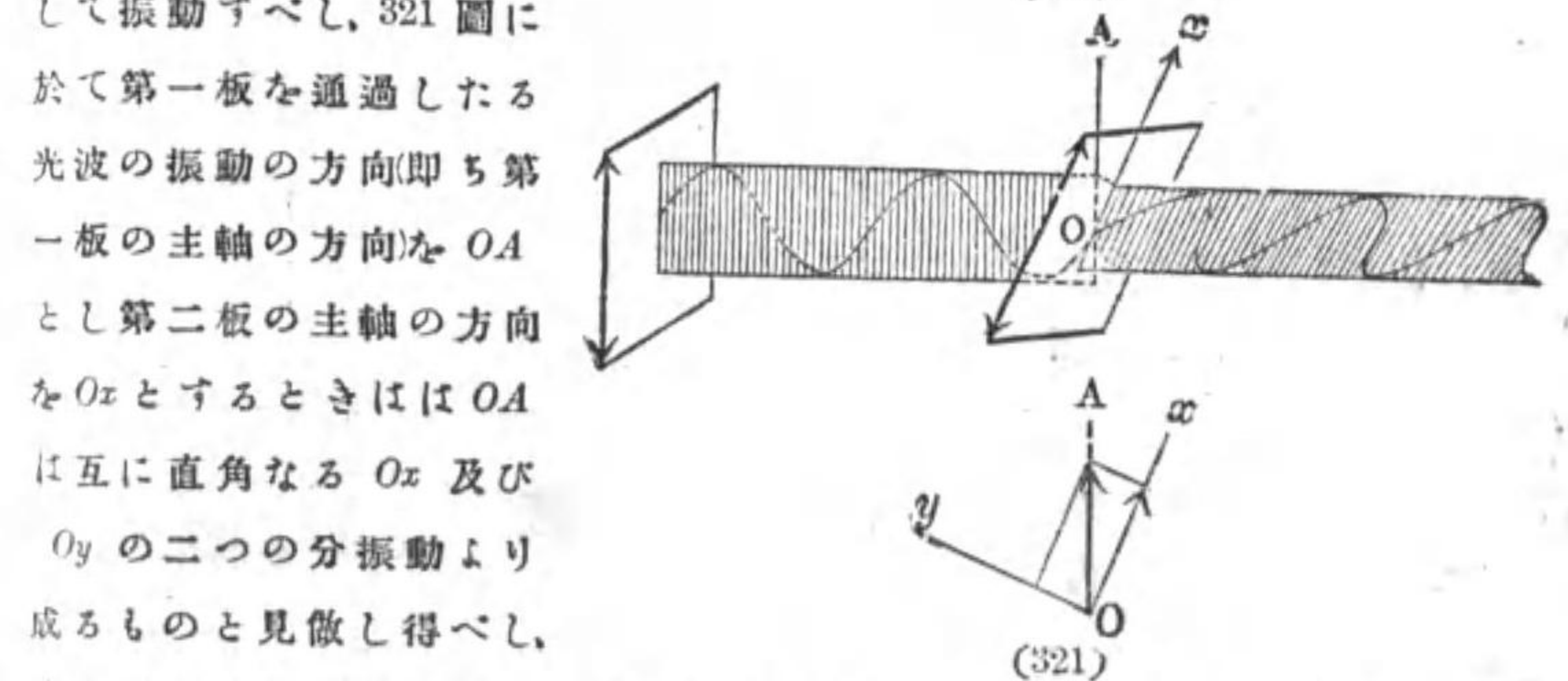
なる振動は電氣石に吸収せられ、唯主軸の方向に於ける振動のみが通過するものとす、かく假定するときは二枚の電氣石板の主軸の方向如何によりて明暗を生ずる所以は容易に了解するを得べし、即ち第一の電氣石を通過したる光波は主軸の方向にのみ振動するが故に其光を第二の電氣石にて受くるとき若し第二の電氣石の主軸が振動の方向に平行なるときは(320圖甲)光は通過することを得れども若し主軸が振動の方向に直角なるときは(乙圖)全く吸収せられて通過すること能はず、又第一板の主軸と第二板の主軸とが或傾きを爲すときは第一板を通過したる光波は第二板の主軸と或傾きを爲して振動すべし、321圖に於て第一板を通過したる光波の振動の方向(即ち第一板の主軸の方向)をOAとし第二板の主軸の方向をOxとすればはOAは互に直角なるOx及びOyの二つの分振動より成るものと見做し得べし、故に主軸に直角なるOyの方向の振動は吸収せられて主軸の方向の振動のみ電氣石を通過し得べし、故にかゝる場合には第二板を通過したる光は



(319)



(320)

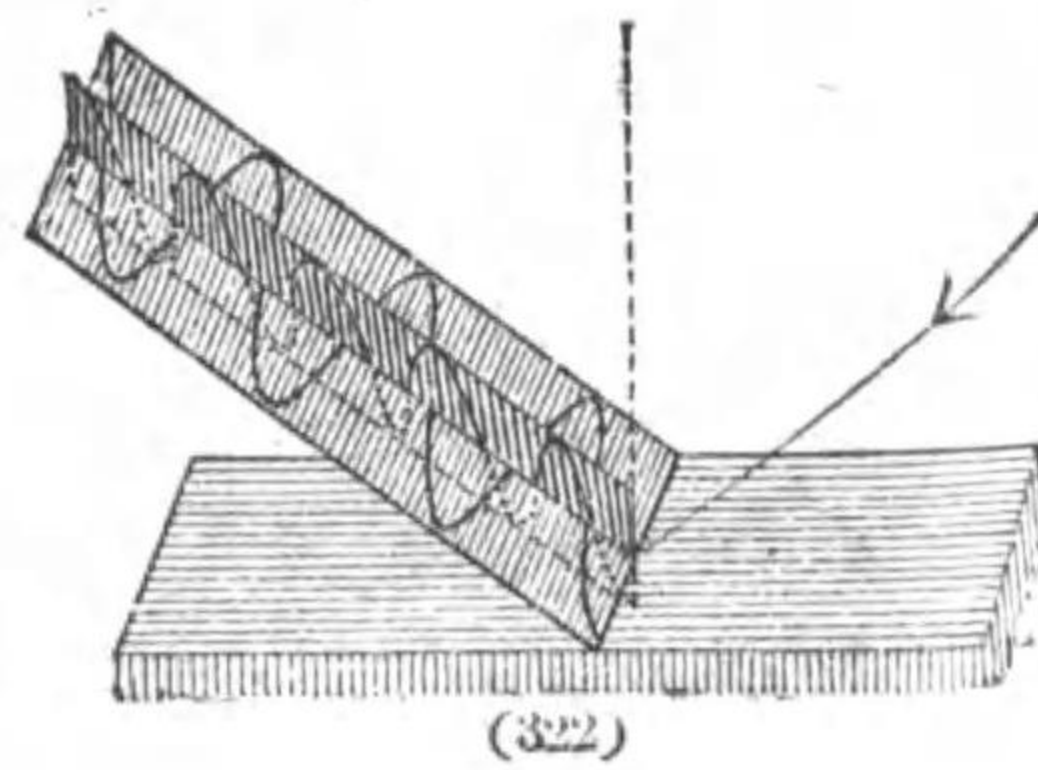


(321)

其強さを減するなり。

上記の如く一旦電氣石を通過したる光は通常の光と異にしてエーテルの振動が一平面内に限られたるものなり、光がかゝる有様となることを光の偏りの現象といひ其光を偏光 Polarized light といふ、通常の光と偏光とは肉眼にては區別すること能はず、一の光が偏光なりや否やを驗するには其光をして電氣石を通過せしむべし、若し電氣石板の主軸の方向如何に關せず光の強さに増減なきときは其光は通常の光たることを證す、若し又電氣石板の主軸の方向によりて光の強さに増減あるときは其板は偏光なることを證す、而して偏光の振動の方向は電氣石板を通過せる光の強さ最大なるときの電氣石の主軸の方向と一致するなり。

光の偏りは亦反射或は屈折によりて生ずるものなり、今通常の光を硝子面に落すときは光の一部は反射し一部は屈折す、而して反射光の振動は二つの分振動に分たる (322 圖) 一は入射面(入射線と反射線とを含む平面)に直角に一は入射面内に在り、入射角が物質によりて一定の角度 (硝子ならば 56°) なるときは入射面に直角なる分振動の光波のみ反射して他の分振動の光波は全く屈折す、故に此時電氣石板によりて反射光を窺ふに其主軸が入射面に直角なるとき最も明に見え、入射面に平行なるとき暗く見ゆべし、此時の入射角を偏りの角 Angle of polarization といふ、ブリュースターの研究



(322)

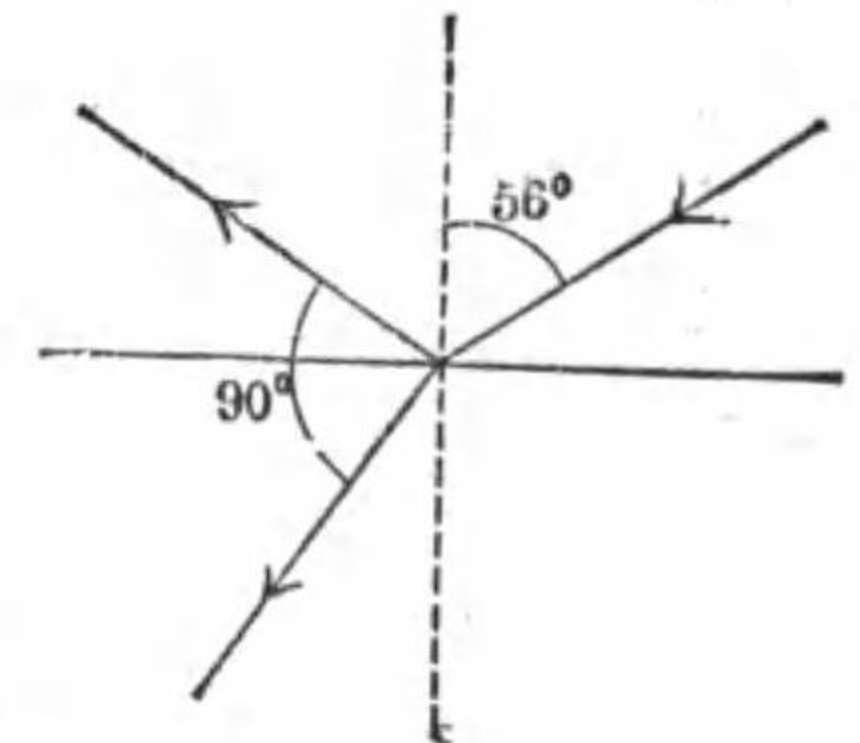
によれば物質の屈折率を n とし偏りの角を i とすれば次の關係あり

$$\tan i = n$$

然るに屈折角を r とすれば $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, 故に

$$\tan i = \frac{\sin i}{\sin r} \quad \therefore \cos i = \sin r$$

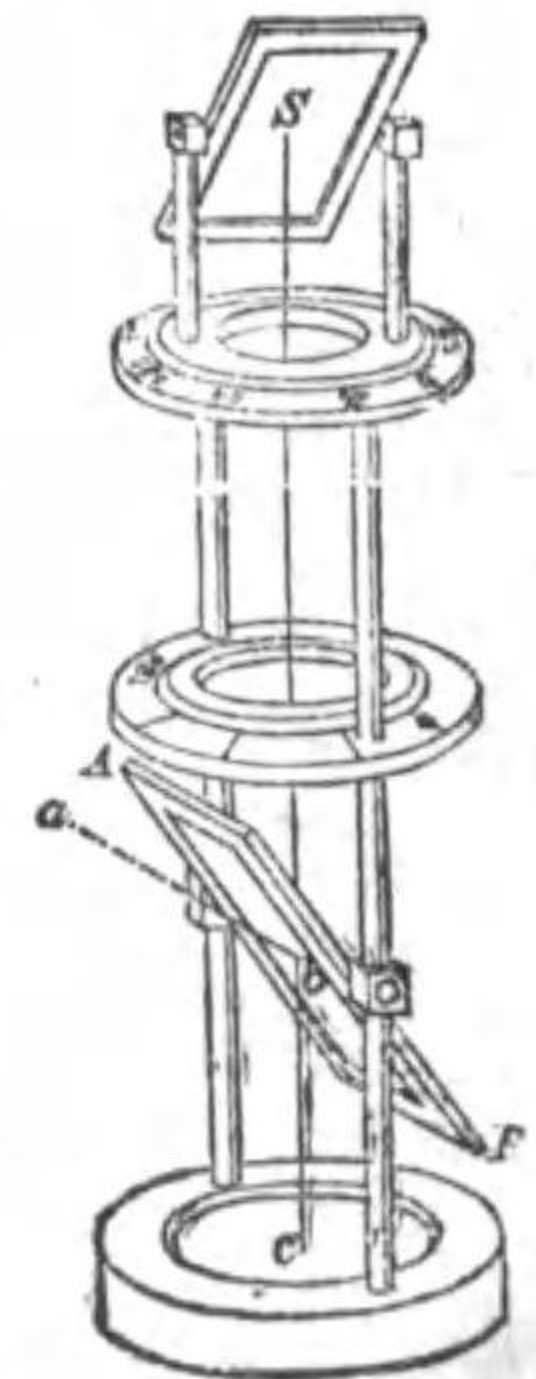
故に偏りの角を以て入射したる光の反射線と屈折線とは互に直角を爲す。硝子に於ては $\tan i = n$ なる關係よりして偏りの角は 56° なる



(323)

ことを知る、故に偏光を硝子面に 56° の入射角を以て投ずるとき入射光の振動の方向と入射面とが互に直角なるときは光は反射すれども振動の方向が入射面と平行なるときは少しも反射せず、此性質を利用して電氣石板の代りに硝子板を用ひて偏光を檢することを得、即ち光を 56° の入射角を以て硝子面に投ぜしめ硝子面を此角度を保ちながら廻轉するに當り反射光に強弱を生ずるときは入射光は偏光にして然らざるときは通常光なり。

324 圖は硝子板の偏光を驗する器械なり S 及び AB は共に鉛直線 Sc と 34° の傾きを爲せる硝子板なり、 56° の入射角を以て ab の方向に於て光を AB に當つるときは反射線は bc の方向を取り c に於て反射せられ (c に平面鏡あり) cb の道を取り AB 板を通過して S に當たる、此光は一の偏光にして其の振動の方向は abS 面に直角なり、故に S を其傾きに於て Sc 線を軸として廻轉するとき S と AB とが平行なるときは S に當れる光は反射すれども、其より 90° だけ S を廻轉するときは之に當る光は反射せず其は AB より反射して S に投ずる光の振動の方向は其入射面内であればなり、次に S を更に 90° だけ廻轉するときは再び強き反射光を得此時 S に投ずる光の振動の方向は其入射面に直角となれるなり。



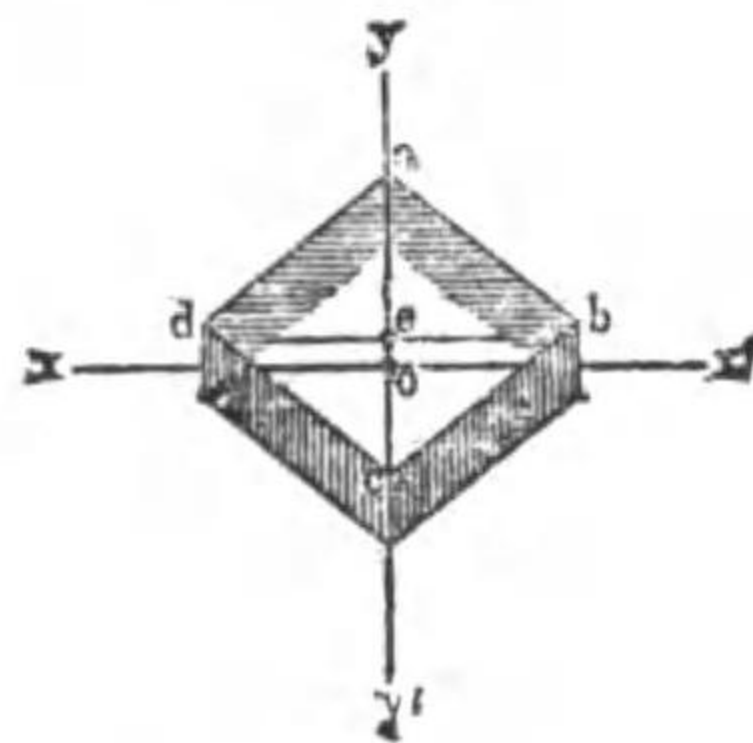
(324)

通常の光が硝子板に當りて一部屈折するときは屈折光は偏光と通常光とを混じたるものなり而して入射角

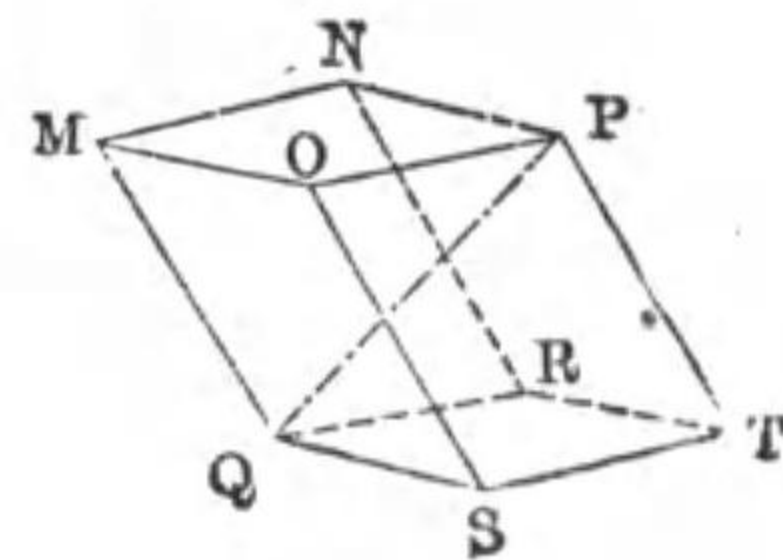
が偏りの角なるとき屈折光の偏光の分量最も多し。

200. 複屈折 Double refraction.

方解石と稱する透明なる礦物あり白紙上に十字線 xx' yy' を畫き之を方解石を透して窺ふに 325 圖の如く一本の線が二重に見ゆる所あり是れ光が方解石に入るときは二途に分れて屈折するがためなり、かゝる現象を複屈折とふい。



(325)

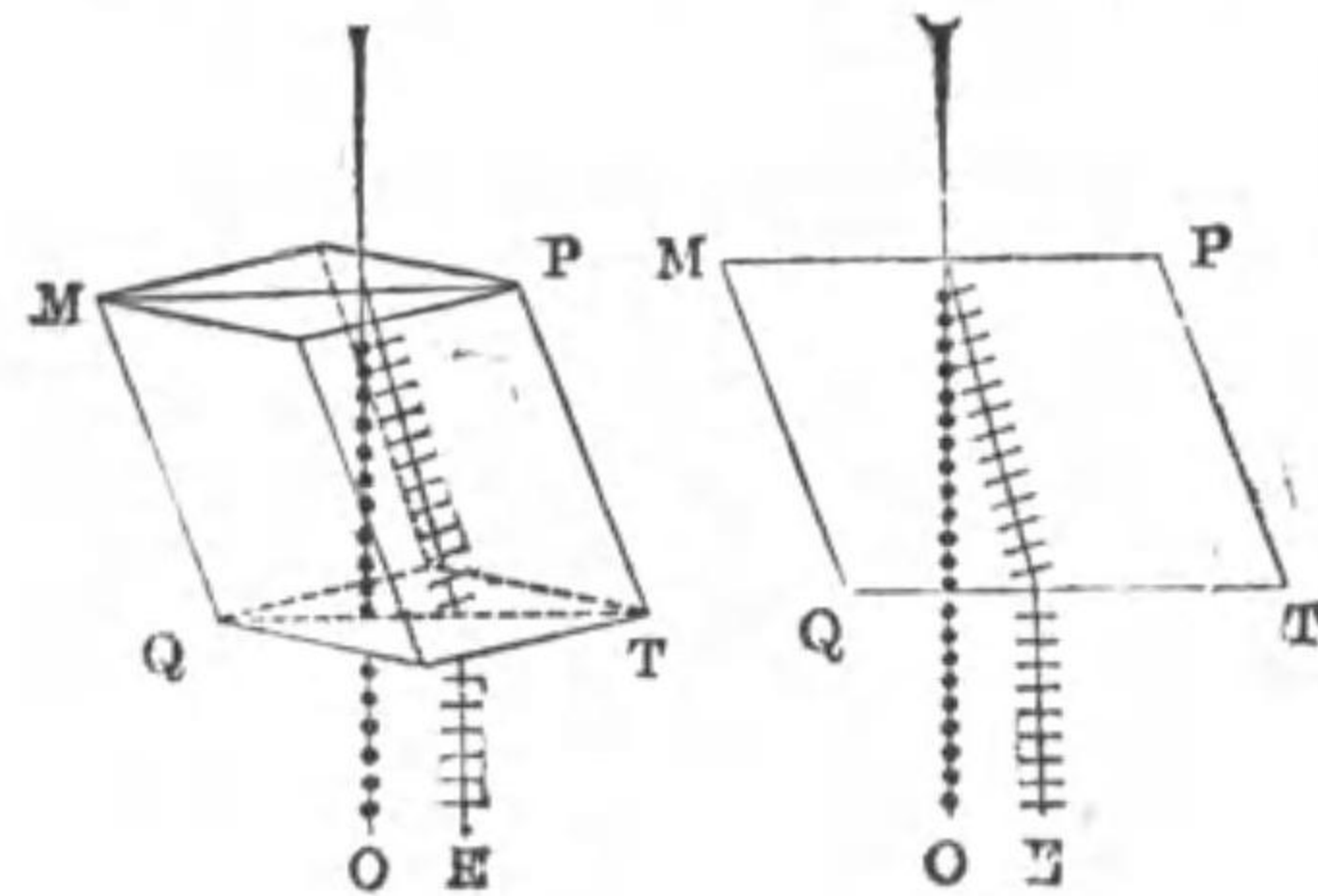


(326)

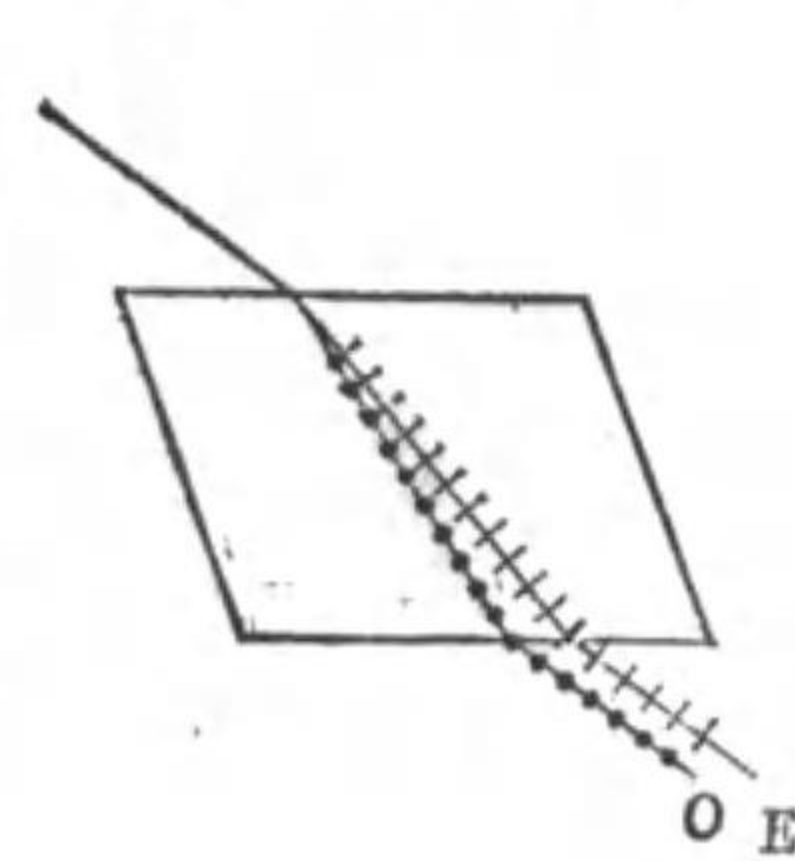


(327)

劈開によりて得たる方解石の結晶は 326 圖の如き平行六面體形を爲す、偶 P 及び Q に於て會する三面は此等の偶に於て皆相等しき鈍角を作る、此二偶を連結したる直線 PQ を結晶の主軸といひ主軸に平行なる方向を結



(328)



(329)

晶體の光軸 Optical axis と云ふ。光軸に直角なる面を作り此面に於て光軸の方向に光を通ずるときは此場合に限り光線は二途に分るゝことなく直行す (327 圖)。他の方向に光を投ずるときは光線は方解石に入り二途に分れて進行す、例へば MP 面 (328 圖) に直角に當れる光は方解石に入りて一は直行し一は屈折し方解石を出で、初の方角に復す、又 MP 面に斜に當れる光は 329 圖の如く二途に分れて屈折す而して此等の光線の一は通常の屈折の法則に従ふて屈折す、即ち入射角と屈折角との比は常に一定にして且つ入射線、屈折線、法線は一平面内に在り、他の光線は此法則に従はず、即ち入射角と屈折角との正弦の比は入射線の方向によりて異なり且つ入射線、屈折線、法線は必しも一平面内に在らず、依つて前者を常光線といひ後者を非常光線といふ、上圖に於て常光線 Ordinary ray は O を以て表はし非常光線 Extraordinary ray は E を以て表はす。

複屈折を波動説によりて説明すれば次の如し。先づて入射點に於て方解石の表面に立てたる法線を過ぎりて光軸を含む面即ち主軸に平行なる面を想像すべし此面を結晶體の主截面といふ。

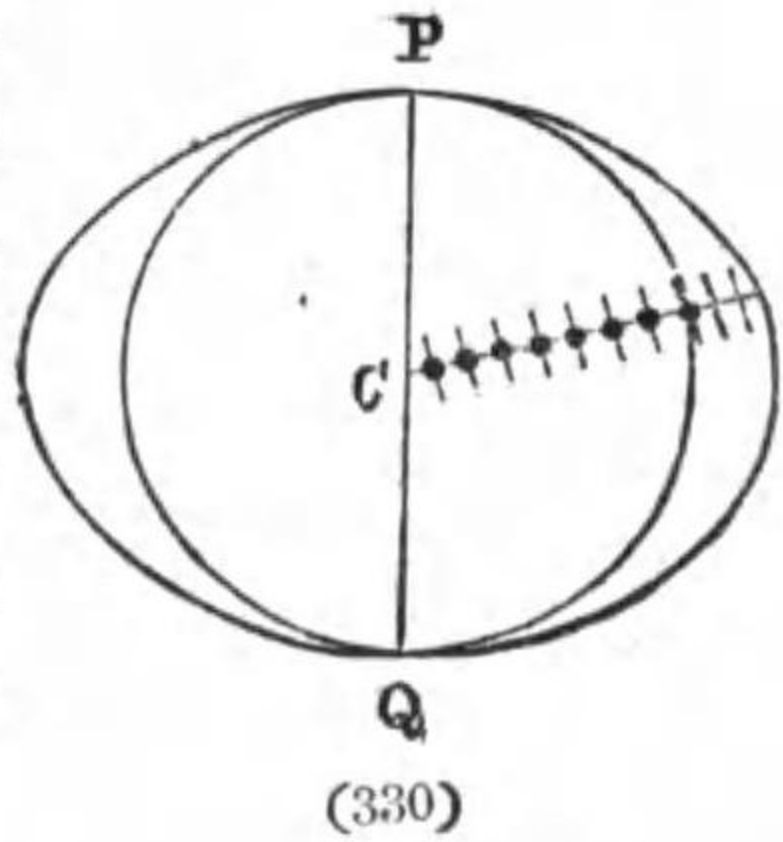
假説 1. 方解石内に於てはエーテルの振動は互に直角なる二つの方向に分れて波及す、即ち光が方解石内に入るときは二つの偏光に分れ、一は主截面に直角に振動し一は主截面内に於て振動す。

2. 主截面に直角なる振動は同一の速度を以て總ての方向に波及す故に方解石内の一點を振動の中心とすれば其より發せる振動は或時間後に一の球面の波面を作るべし。主截面に直角なる振動は常に主軸の方向に直角なることに注意すべし。

3. 主截面内の振動は振動の方向が光軸の方向と爲す角によりて波及の速度を異にす、方解石に在りては光軸に平行なる振動の波及速度は最も大にして振動の方向と光軸の方向と傾きを爲すに従つて其速度を減じ遂に光軸と直角なるに至りて速度は最小となる、然も主截面に直角なる振動の波及速度に等し、故に方解石内の一點より發する主截面内の振動は或時間後に一の橢圓體の波面を作るべし。

330 圖は以上の假説を示せるものなり、紙面を主截面とし PQ を光軸の

方向とす主截面に直角なる振動を黒點にて表はし主截面内の振動を短線にて表はす C を振動の中心とすれば或る時間後に作る波面は主截面に直角なる振動に在りては球面を爲し主截面内の振動に在りては橢圓體面を爲し且つ球面と橢圓體面とは光軸の方向 P 及び Q に於て相切すべしを (PQ を軸として圓形を廻轉すれば實際の波面を得べし)



(330)

一物質の屈折率なるものは真空中の光の速度と其物質内の速度との比なり、故に主截面に直角なる振動の光波の屈折率は一定なれども主截面内の振動の光波の屈折率は振動の方向によりて異なる譯なり。今平行光線を PMN 面に直角に投ずるときは (331 圖) ab 間の諸點は振動の中心となりて各球面及び橢圓體面の二個の波面を方解石中に生ずべし、 PQ を光軸とし $MPTQ$ 面を主截面とすれば此等の二面は PQ に平行なる線 ax, bx' 等の一端 x, x' 等に於て相切すべし、球波面に共切する平面 oo は常光線の波面にして橢圓波面に共切せる平面 ee は非常光線の波面なり又 ao, bo は常光線にして ae, be は非常光線なり。平行光線が主截面内に於て PMN 面に斜に投ずるときは (332 圖) b に於ける波動が c に達する間に a に於ける波動は圖に示すが如き球面及び橢圓體面の波面を作るべし、故に此等に引ける切觸面 eo 及び ee は常光線及び非常光線の波面を表はし ao 及び ae は常光線及び非常光線を表はす、而して真空中の光の速度を v とし常光線の速度を v_o 非常光線の速

度 v_e とし常光線の屈折率を n_o 非常光線の屈折率を n_e とすれば

$$n_o = \frac{v}{v_o} = \frac{bc}{ao},$$

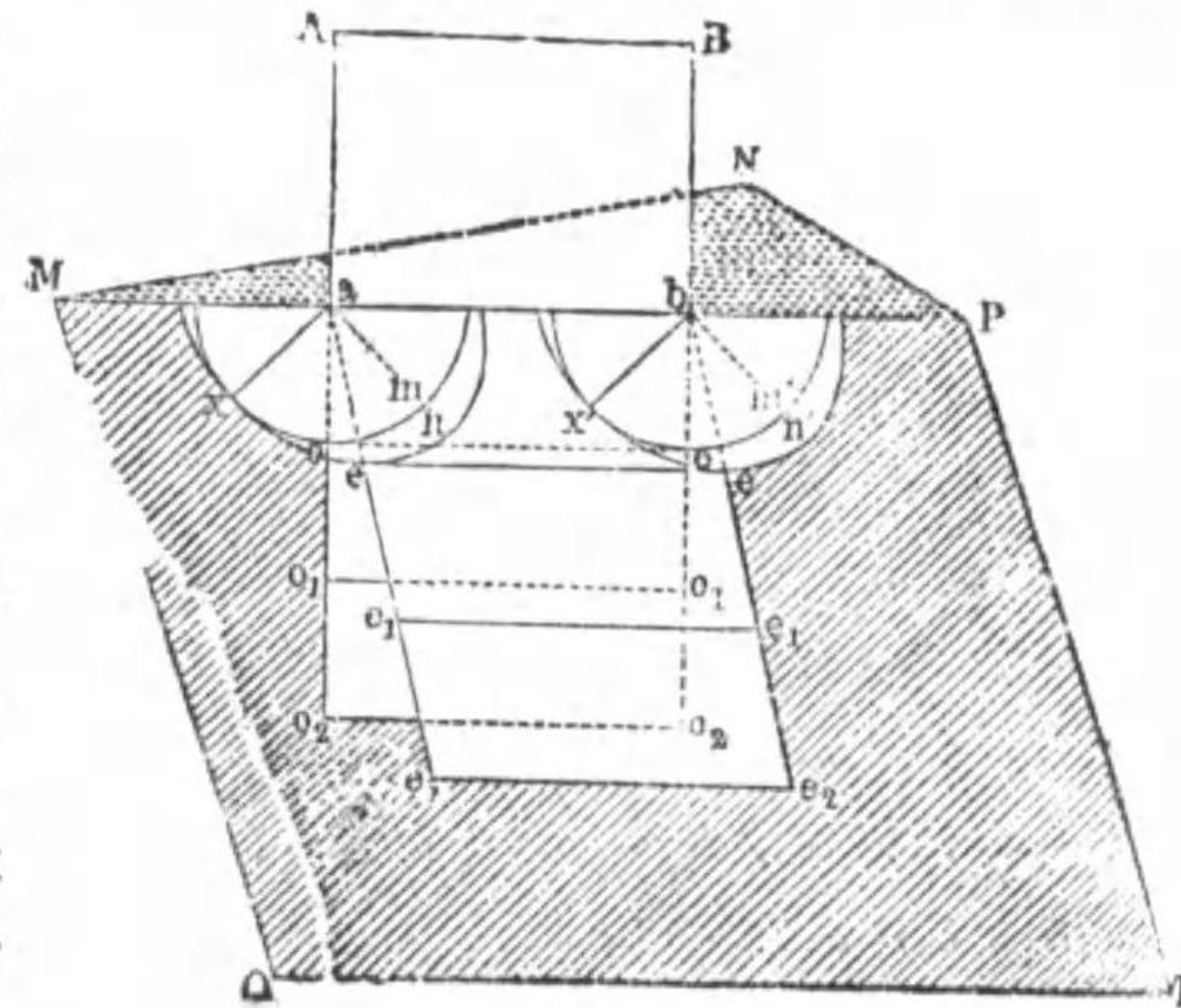
$$n_e = \frac{v}{v_e} = \frac{bc}{ae}.$$

ao は球の半徑なれば常に一定なれども ae は中心より橢圓體面までの距離なれば向きによりて長さを異にす故に常光線の屈折率は常に一定なれども非常光線の屈折率は向きによりて異なる。

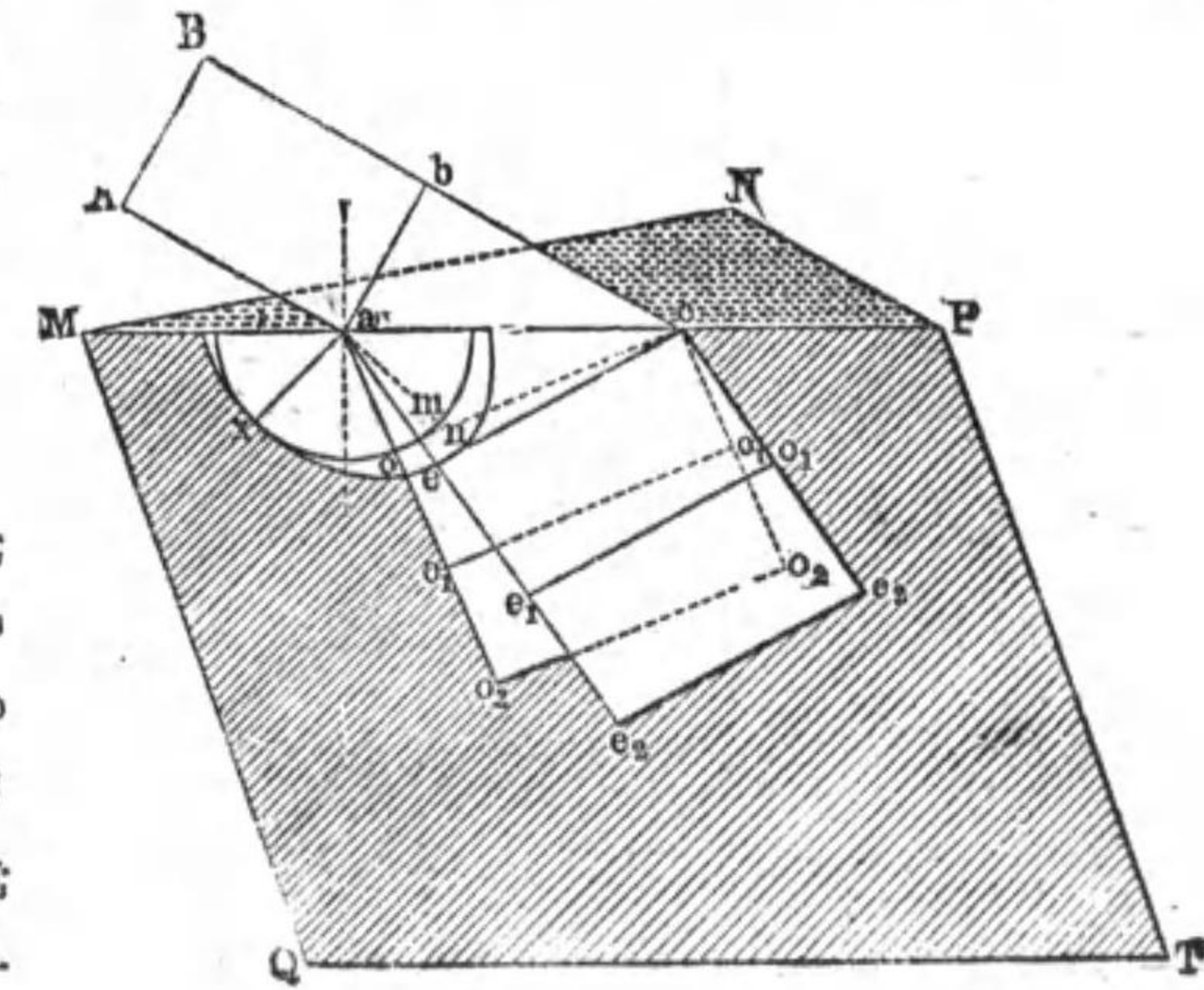
以上二つは入射面が主截面(主軸と入射點に於ける法線とを含める面)と一致する場合にして 328, 329 兩圖の説明に當る、即ち主截面 $MPTQ$ に直角なる振動は常光線を爲し主截面内の振動は非常光線を爲す、此場合に限りて兩光線は入射面と同一平面内にあれど若し入射面が主截面と一致せざる場合には非常光線は入射面と同一平面内に非ざるなり(此場合の作圖は略す)。

以上は主として方解石に付て述べたれども非結晶體及び等軸晶系に屬する結晶體を除きては總ての結晶體は皆かゝる性質を有するものなり。電氣石の場合に光軸の方向の振動のみを通過して直角なる振動は通過せざるは電氣石が常光線(其振動は主軸に直角を吸収するに依るなり)。又 325 圖に於て yy' が二重に見えざるは yy' の各點より發する常光線と非常光線とが同一平面上に在るがためなり。

以上二つは入射面が主截面(主軸と入射點に於ける法線とを含める面)と一致する場合にして 328, 329 兩圖の説明に當る、即ち主截面 $MPTQ$ に直角なる振動は常光線を爲し主截面内の振動は非常光線を爲す、此場合に限りて兩光線は入射面と同一平面内にあれど若し入射面が主截面と一致せざる場合には非常光線は入射面と同一平面内に非ざるなり(此場合の作圖は略す)。



(331)



(332)

第七章 輻射及び吸収

201. 輻射 Radiation.

既に前章に於て説明したるが如く光の波動説に従へばエーテルと稱する物質宇宙に瀰満し物體分子の振動は先づ周圍のエーテルに傳はり次に四方に波及す故に發光體は振動のエネルギーを四方のエーテルに傳へ己は漸々エネルギーを失ひつゝあるなり、此事をエネルギーの輻射といふ。前に光の量といひしは此エネルギーの量にして、或點に於ける光の強さとは其點に於て波及の方向に直角なる單位面積が單位時間に受くるエネルギーの量、或面の照度とは其面上の單位面積が單位時間に受くるエネルギーの量、或光源の光度とは其光源より單位時間に發するエネルギーの量なり。

202. 吸収 Absorption.

エーテルの波が物體中に含まれたるエーテルに傳はり其振動が又物體の分子に傳はり、かくしてエーテル振動のエネルギーは其形を變じて物體分子の振動のエネルギーとなるときは光は物體に吸収せらるといふ、エーテル波を吸収する物體は不透明體にして、之を吸収せざる物體は透明體なり。

光を強く吸収するものは又強く反射するものなり、金

屬は此種の物質に屬す故に金屬の表面は金屬光澤と稱する一種の光輝を放つ、黄金は強く黄色光を吸収する性を有す故に反射光即黄金の色は黄色なり、然るに黄金の箔を作りて光を透すときは黄色光は大部吸収せらるゝが故に透過光は黄色の餘色に近き綠色を呈するなり。

203. 輻射線

熱線、化學線及び通常の光線を通稱して輻射線といふことは既に述べたり、此等は皆同様にエーテルの波にして其異なる所は波長の長短即ち振動數の多少に在り故に光に關する諸現象は熱線及び化學線に付ても亦同様に行はるゝものなり。

注意 既に説明せる如く、線と稱するは幾何學に云ふ線にはあらず、發光體より光が四方に發射する現象より光線といふ言葉生じ其線を廣義に用ひて熱線、化學線或は輻射線などいふなり、故に輻射線といはばエーテル波の事と思ふべし、又熱線は赤色に見ゆる光波よりも長き波長を有するエーテル波にして、化學線は藍色に見ゆる光波よりも短き波長のエーテル波なり、通常の光は眼に見ゆるエーテル波なること勿論なれども、此波は亦熱作用、化學作用を伴ひ有することを忘るべからず。

光に對して透明、不透明の物體あるが如く熱線或は化學線に對しても亦透明、不透明の物體あり。硝子及び水は通常の光に對しては透明なれども熱線及び化學線に對しては稍不透明なり、岩鹽は熱線に對して透明にして

水晶は化學線に對して透明なり、故に熱線のスペクトルを得んには岩鹽のプリズムを用ひ化學線のスペクトルを得んには水晶のプリズムを用ふ。硝子にて温室を作るは硝子の熱線を吸収する性を利用せるなり、即ち硝子を透過せる光線は室内の物體に當り熱線として輻射せらる、硝子は此熱線を吸収して透過するを許さず、爲めに室内は温まるなり。淺き湖沼の日光に當りて温きも亦水が熱線を吸収するによる。

物體を熱するときには分子の運動が周圍のエーテルに傳はりてエーテル波を輻射す、温度低きときは波長の長き熱線のみを輻射す故に此時暗處に於ては物體を見ること能はざれどもエーテル波は吾人の皮膚に當りて温感を起さしむ、温度上昇するに従ひ波長の短き輻射線をも放ちて視覚を起さしむ、固體及び液體にありては温度充分高きときは熱線より化學線までの總ての輻射線を輻射す、氣體にありては物質によりて定まりたる波長の輻射線のみを發す、是れ氣體の分子は固體或は液體の分子よりも運動自由なりといふことによりて説明せらる。

物體の表面單位面積より單位時間に輻射するエネルギーの量は物體の温度及び表面の状態によりて異なる、又低温度に於て能く或輻射線を吸収するものは高温に於て其輻射線を能く輻射す。

- 例 1. 炭は黒く灰は白けれども高温度に於て輝きたる炭は周圍の灰よりも白し。
2. 白色の磁器に黒き模様あるものを高温度に熱し暗室に於て見るときは黒色の部分は白色の部分よりも輝きて見ゆ。
3. 赤色の硝子を高温度に熱するときには赤色の餘色なる綠色を呈す。
4. ナトリウム蒸氣を高温度に熱するときにはスペクトルのD線に當る光を放ち、ナトリウム蒸氣にて其よりも高温度の發光體の光を遮るときは反つて其光を吸收す。
5. 氣體は輻射線を吸收する能弱く、従つて之を輻射する能弱し、固體液體ならば光を發する程の高温度に於ても氣體は輝かざるは其輻射能弱き性質に基づく。

204. 螢光 Fluorescence, 燐光 Phosphorescence.

石油に太陽の光を投ずるときは透過光は黄色なれども石油内にて太陽の光の當る所を見れば青綠色に見ゆ、此事を螢光の現象といふ、又金剛石に太陽の光を當て暗室に於て之を見るときは自ら光を放つを見る此事を燐光の現象といふ。此二つの現象は何れも物體が之に當る光の内或波長の振動を吸收して之を他の波長の光として輻射するによりて起るものなり、而して螢光は之に當る光を遮ると共に止むもの、燐光は之に當る光を遮りたる後まで輻射を持続するものをいふ。

第七篇 磁氣學 Magnetism.

第一章 磁石

205. 磁石 Magnet, 磁石の極 Magnetic pole.

磁鐵礦(Fe_3O_4)と稱する礦物には鐵を吸收する性を有するものあり、又鐵棒をかゝる磁鐵礦にて摩するときは鐵を吸引する性を帶ぶ、かく鐵を吸引する性を磁氣と云ひ、磁氣を有する物體を磁石と云ふ。磁鐵礦は天然磁石にして之にて摩擦したる鐵棒は人造磁石なり、人造磁石は目的によりて種々の形に造らる、棒磁石、蹄鐵形磁石、磁針等是なり。

磁石の鐵を吸引する力は部分によりて異にして通常磁石の兩端に於て其力最も強し、此等の部分を磁石の極と云ふ。棒磁石を其中央に於て支へ水平面上に於て自由に廻轉し得る様に爲すときは磁石は略ぼ南北の方向を取りて靜止す、且つ北に向へる端は常に北を指し、南に向へる端は常に南を指し、南北相轉換することなし、之によりて磁石の兩極は異なる性質を有することを知ら、其北に向へる極を北極 North pole と云ひ、南に向へる極を南極 South pole と云ふ。

206. 磁石相互の作用

甲乙二個の磁石を取り、甲を其中央にて吊し乙を之に近づくとときは兩磁石は吸引或は反撥す、而して甲の北極に乙の北極を近づけ或は甲の南極に乙の南極を近づくとときは兩者の極は互に反撥し、甲の北極に乙の南極を近づけ或は甲の南極に乙の北極を近づくとときは互に吸引す、之に依りて次の法則を得。

法則 同名の極は相斥け、異名の極は相引く。

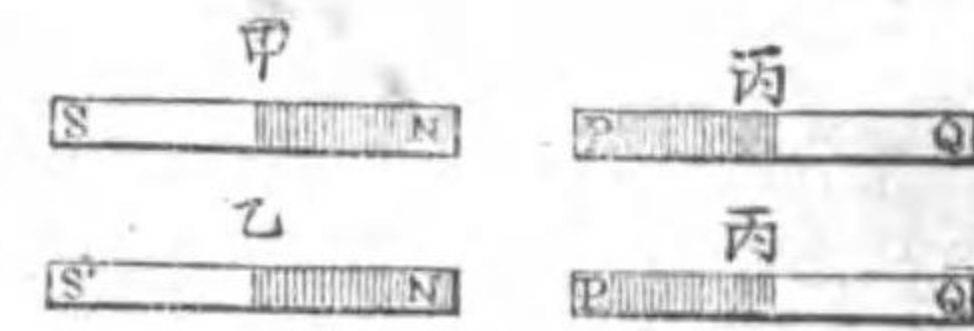
207. 磁氣量 Magnetism. (極の強さ Intensity of pole)

上記の如く一磁石の北極と南極とは互に反對の作用を呈す、即ち北極が他の磁石の一極を吸引するときは南極は之を反撥す、依つて磁石の作用を研究するには次の如き磁氣と稱する一種の量を想像するを便なりとす。

一磁石の北極には若干の正の磁氣量存在し南極には若干の負の磁氣量存在するものとす。

二個の磁石の極の磁氣量の多少を比較せんには此等が第三の磁石の一極に作用す

る力の大小を以てす、即ち二個の磁石甲及び乙の同名の



(333)

極 N 及び N' を取り、 N 極が或距離に於て第三の磁石丙の一極 P と作用(吸引或は反撥)する力を測り、又 N' 極が同じ距離に於て丙と作用する力を測りて若し N 極の作用す

る力が N' 極の作用する力に等しきときは N, N' 二極の有する磁氣量は相等しとし、若し又 N 極の作用する力が N' 極の作用する力に n 倍するとき N 極の磁氣量は N' 極の磁氣量の n 倍なりとす。同様の方法にて一磁石の北極及び南極を驗するに其力の大きき相等しく其方向相反するを見る故に一磁石の兩極は正負反對なる等量の磁氣を有するを知る。磁氣量を一に極の強さと云ふ、蓋し極の有する磁氣量を測るには其が他の磁極に及ぼす力の強さによるを以てなり。

註 磁氣量に正負を附するは之を代數量として取扱ふを得るを以てなり、例へば $+m$ なる磁氣量を有する極と $-m'$ なる磁氣量を有する極とを併べ置くときは兩者が他の磁極に及ぼす合作用は $+m-m'$ なる磁氣量を有する一の極の作用と等しきなり。

磁氣量の存在する箇處は單に磁石の兩極に限るにあらす、磁石を鐵粉中に入れ之を引き上げ見るに鐵粉は多くは兩端に嚙集すれども又時としては磁石の中央部に於て嚙集するを見ることあり、是れ其部分に磁極が存在するが爲めにして之を雙極と云ふ、此の如く磁氣量は磁石の兩端以外の箇處にも分布することあるも一磁石の有する正磁氣量と負磁氣量とは其量常に全く相等しきなり。

注意 上の實驗に於て磁氣量を測らるべき磁石は成べく細長きを要す、一の磁石には必ず南北兩極ありて其一極だけを取り離すことを得ず、されど磁極の作用は距離遠きときは殆ど消滅するが故に NS 間の距離が N と丙磁石との距離に比して大なるものを用ふれば S 極の作用は殆ど無きものと見做して N 極のみの作用を驗するを得るなり。

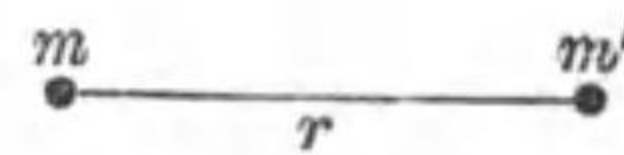
208. クーロンの法則 Coulomb's law.

クーロンは二つの磁極の間の作用を研究し精密なる實驗の結果として次の法則を得たり。

法則 二つの磁極の互に作用する力(斥力或は引力)は兩極の磁氣量の相乗積に正比例し、其間の距離の二乗に逆比例す。

今兩極の磁氣量を夫々 m 及び m' とし其間の距離を r とし斥力或は引力を f とするとき

$$f = k \frac{m m'}{r^2} \quad (k = \text{常數})$$



等しき磁氣量を有する二極が 1 粒の距離に於て 1 ダインの力を以て作用するとき此二極の有する磁氣量を以て磁氣量の單位とすれば

$$r=1, \quad f=1, \quad m=m'=1$$

なる故之を上式に入れば

$$1 = k \times \frac{1 \times 1}{1^2} \quad \therefore k=1$$

かく磁氣量の單位を制定するときは常數 k は 1 となるを以て

$$f = \frac{m m'}{r^2}$$

フラデーの實驗によれば二極間の力は其間に在る物質の種類によりて其値を異にす、上記磁氣量の單位は空氣中に於ける磁力によりて定めたるものとす。

磁氣力は距離の二乗に逆比例するが故に距離大なる

に従つて其力減少す。

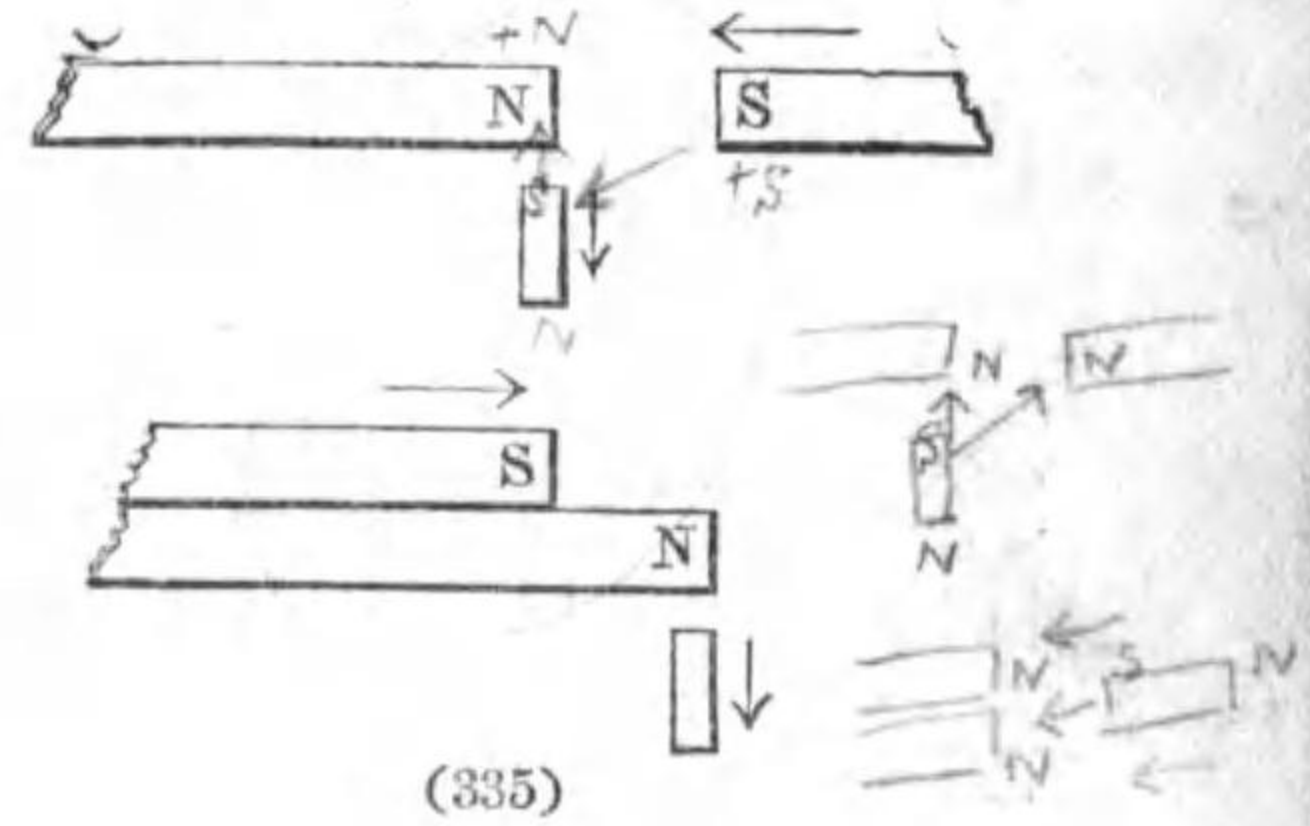
209. 磁氣の感應 Magnetic induction.

磁石の一極に近く鐵片を持來す時は、鐵片は磁氣を帯び磁石に近き端には異名の極、遠き端には同名の極を生ず、此現象を磁氣の感應といふ。磁石に近き鐵片が磁石のために吸引せらるゝは鐵片が先づ感應によりて磁石となり其相對せる端が異名の極を帯ぶるが爲めなり。

鐵の外ニッケル、コバルト等も亦感應によりて磁氣を帯ぶ、されど感應作用を受くること鐵に比して甚だ弱し。晩近の研究によれば鐵等に限らず殆ど總ての物質は感應によりて多少磁氣を帯ぶることを知れり、磁氣感應を受くる物體を總稱して磁性體といふ、鐵、ニッケル、コバルト等は磁石に近き端に異名の極、遠き端に同名の極を生じて磁石に吸引せらる、此等の磁性體を常磁性體といふ、之に反して蒼鉛、銅等は磁石に近き端に同名の極、遠き端に異名の極を生じて磁石に反撥せらる、此等を反磁性體といふ、反磁性體は感應作用を受くること極めて弱し(以後は反磁性體に關する事は述べざるものと知るべし)。

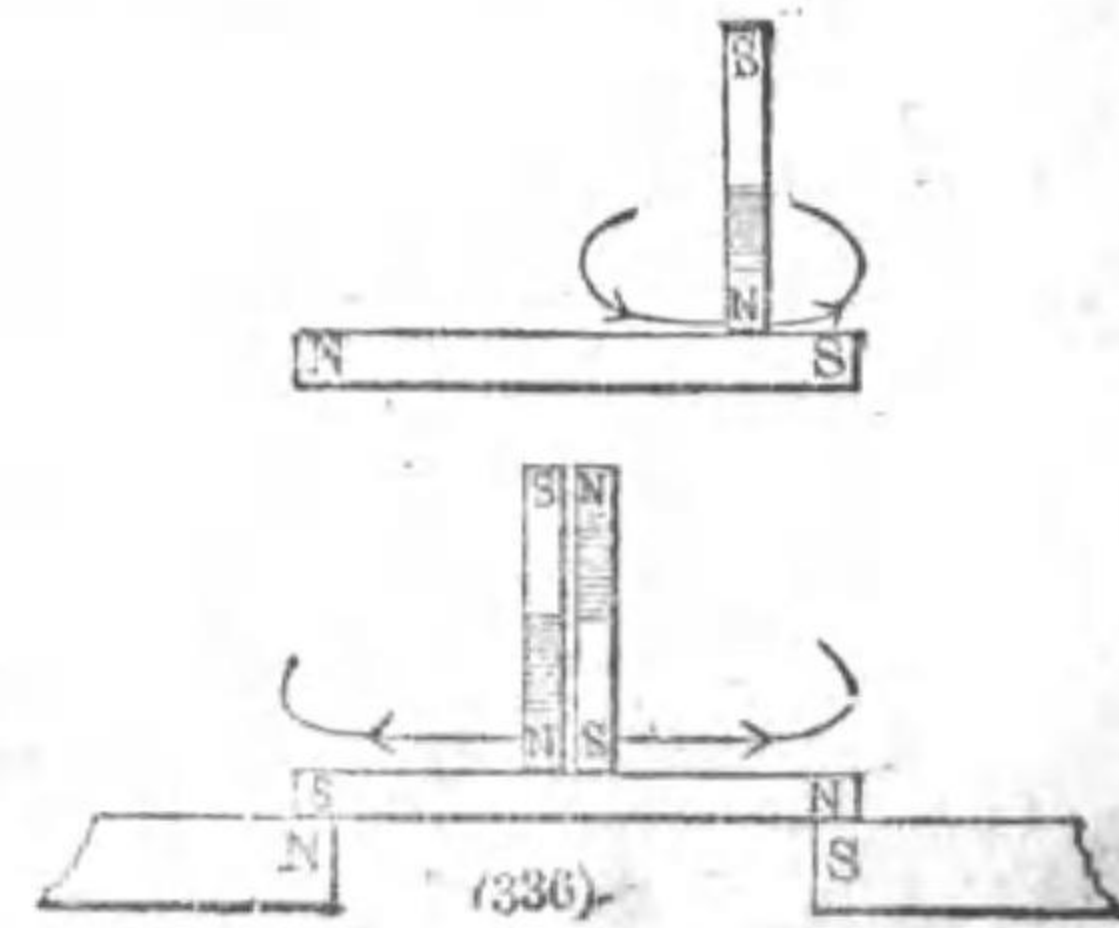
強き磁石甲の近傍に弱き磁石乙を持來すときは相對する極が同名にても異名にても相吸引することあり、是れ甲の乙に及ぼす感應作用強きため縱令同名の極相對するも乙磁石の甲に近き端に異名の極を生ずるを以て

なり。二個の磁石の異名の極を併置するときは鐵片を吸引する力増大し、異名の極を併置するときは吸引力減少することも亦感應作用によりて容易に説明することを得べし、今二個の等しき磁石を取り其内一の磁石の一極例へばN極に於て鐵片を吸引せしめながら他の磁石のS極を近づくときは鐵片は墜落すべし。



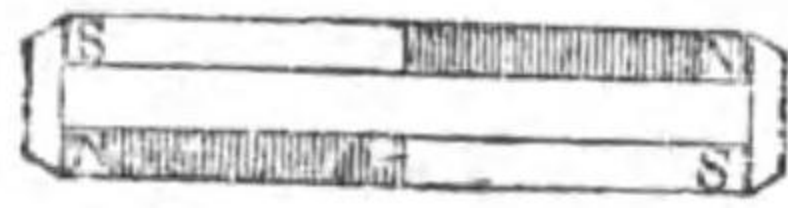
210. 磁石の製法

軟鐵は之を磁石に近づくときは感應によりて容易に磁氣を帯ぶと雖も之を磁石より遠ざくるときは直に磁氣を失ふ、之に反して鋼鐵は感應作用を受くること弱けれども一旦磁氣を帯ぶるときは之を磁石より遠ざくるも容易に磁氣を失はず。此故に磁石を造らんには鋼鐵を用ふ、其法は強き磁石の一極を以て鋼鐵棒を一端より他端に向つて數回同じ向きに摩擦するにあり、然るときは前端には用ひたる磁石と同名の極、後端には異名の極を生ず、前



充分磁氣を付けんには二個の磁石を異名の極を向ひ合せて置き其上に鋼鐵棒を架し之を二個の磁石にて摩擦するにあり。

磁石を保存せんには二個の等しき磁石を其極を反對にして併置するを宜しとす、尙圖の如く兩端に軟鐵片を架するときは一層可なり、之を補子といふ。保存の理由は兩磁石及び補子が互に感應して磁氣の衰弱を防ぐにあり。



(337)

第二章 磁 場

211. 磁 場 Magnetic field.

磁石の近傍にて磁石力の及ぶ場處を磁力の場或は磁場といふ、實は磁力はどこまでも及ぶものなれど距離の二乗に逆比例するが故に距離大なるときは磁力殆ど消滅す、故に磁力の及ぶ所は磁石の近傍に限るなり。磁場の有様を研究せんには正負何れか一の磁極のみを有する大さなき物體を想像するを便とす、かゝるものを磁極點といふ。

定義 單位の正磁氣量を有する極點を場内の一點に持來すとき之に働く磁力を其點に於ける磁場の強さといひ、磁力の方向を其點に於ける磁場の強さの方向といふ。

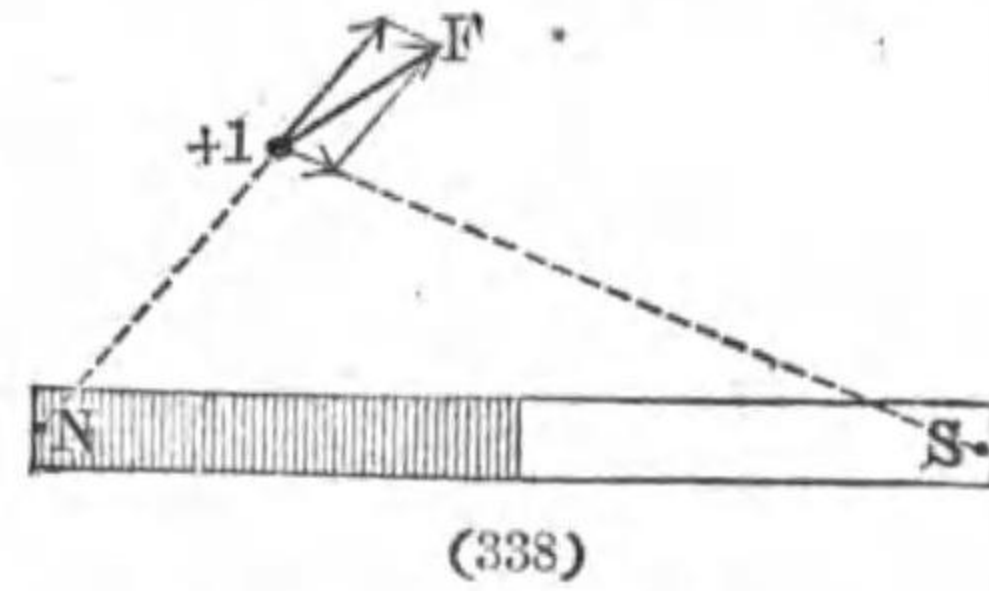
但し單位正磁氣を持來したるために磁場の有様に變化を及ぼさざるものと假定す。

磁場の強さの方向は略して單に磁場の方向といふ。磁場内に他の磁石を持來すときは多少磁場の有様(即ち磁場の強さ及び方向)を變ずるものなり、されど持來せる磁石の極の強さ極めて小なるときは磁場の有様に變化を來さざるものと見做すことを得。

注意 極の強さと磁場の強さとを混同せざる様注意すべし。極の強さは

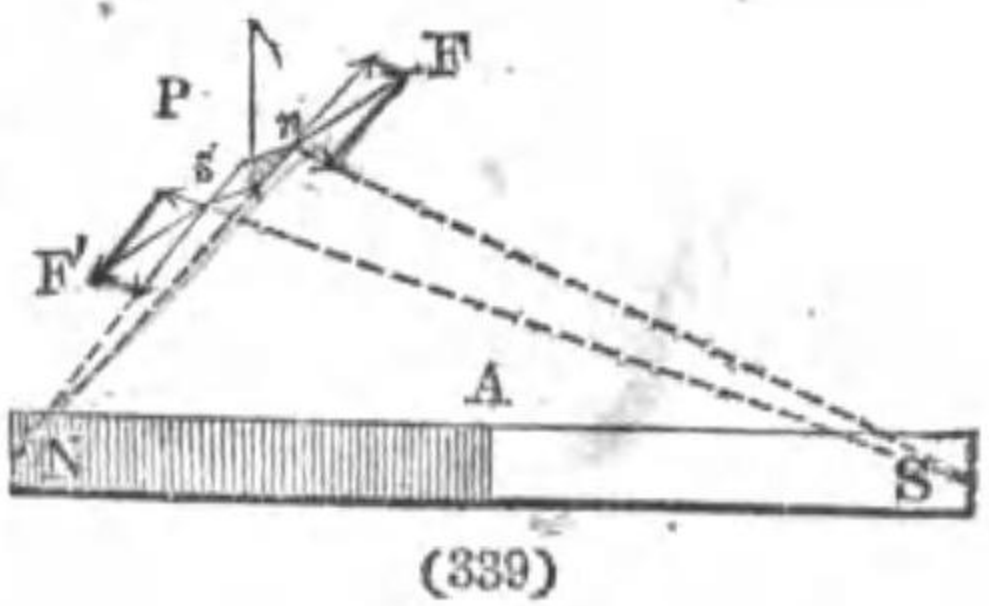
磁氣量と同義語にして力にあらざれども、磁場の強さは一の力なり。

今 NS なる磁石の磁場内の一點に於て $+1$ なる磁氣量を有する極點を持來すとき、 N, S 兩極が之に働く力の合力が F なるときは F の大き及び方向は即ち其點に於ける磁場の強さ及び方向なり。



實際には磁場の模様を查べんには極點の代りに大きある磁針を用ふ、即ち磁場中の一點 P に於て極めて小なる磁針を

吊すべし、磁針の長さを A 磁石の兩極までの距離に比して極めて小なるものとせば A の一極より磁針 P の兩極までの距離は略ぼ相等しと見ることを得即ち $Nn = Ns = r, Sn = Ss = r'$ 。又磁石の N 極が磁針の n 極に働く斥力と s 極に働く引力とは其大き相等しく其方向反對なりと見做し得べく、又 S 極が n 及び s に働く引力及び斥力も其大き相等しく方向反對なりと見做し得べし、故に N, S 兩極が n 及び s に働く力の合力 F 及び F' は其大き相等しく其方向相反す、故に小磁針は P を中心として廻轉して FF' 二力が一直線上に働く位置に來りて靜止すべし、此位置に於ける磁針の方向 sn が P 點に於ける磁場の方向を示す。

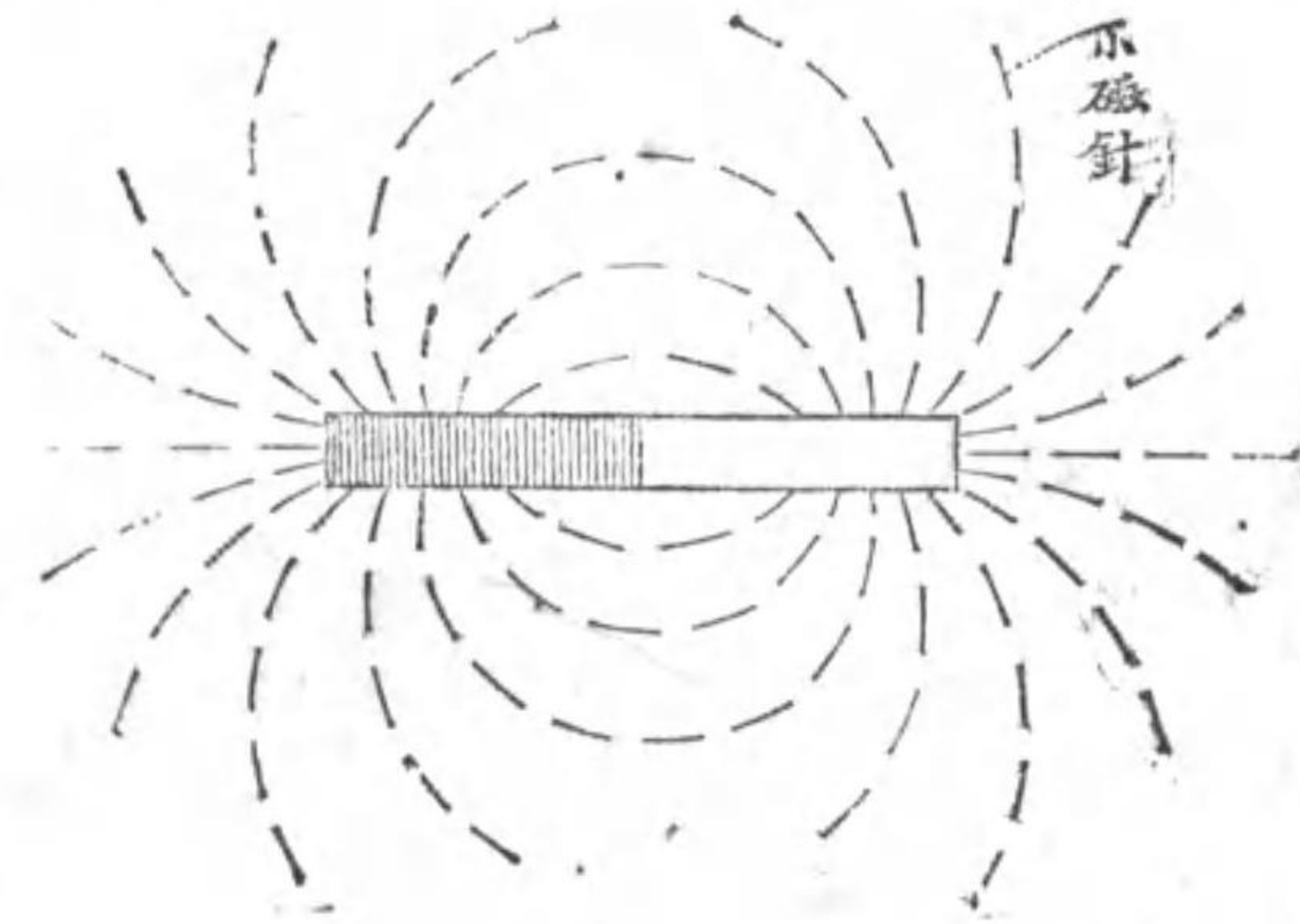


吊すべし、磁針の長さを A 磁石の兩極までの距離に比して極めて小なるものとせば A の一極より磁針 P の兩極までの距離は略ぼ相等しと見ることを得即ち $Nn = Ns = r, Sn = Ss = r'$ 。又磁石の N 極が磁針の n 極に働く斥力と s 極に働く引力とは其大き相等しく其方向反對なりと見做し得べく、又 S 極が n 及び s に働く引力及び斥力も其大き相等しく方向反對なりと見做し得べし、故に N, S 兩極が n 及び s に働く力の合力 F 及び F' は其大き相等しく其方向相反す、故に小磁針は P を中心として廻轉して FF' 二力が一直線上に働く位置に來りて靜止すべし、此位置に於ける磁針の方向 sn が P 點に於ける磁場の方向を示す。

又小磁針の強さを m とすれば磁石が P 點に於ける單位磁極に働く力即ち磁場の強さは $\frac{1}{m}F$ なり、此の如くして磁場中の諸點に小磁針を吊せば以て各點に於ける磁場の強さ及び方向を知ることを得べし。

212. 指力線 (磁力線) Lines of force.

前節に述べたるが如く磁石の近傍に於て小磁針を吊すときは小磁針は到る所磁場の方向を取りて靜止すべし、小磁針を吊るす代りに鐵粉を磁石の近傍に撒布するときは鐵粉は感應によりて小磁石と成り皆磁場の方向を取りて整列すべし、此等の小針石が連絡して作る所の曲線は磁場の指力線なるものを現はす。



硝子板に石蠟を塗り其上に磁石を横たへ歸にて鐵粉を振り掛けて後軽く硝子板を叩くときは鐵粉は美麗なる曲線を作る、板を少しく熱すれば鐵粉は融けて鐵粉は固定す。

定義 指力線とは磁場に引ける曲線にして其上の一點

に於て引きたる切線は其點に於ける磁場の方向を表はすものなり。

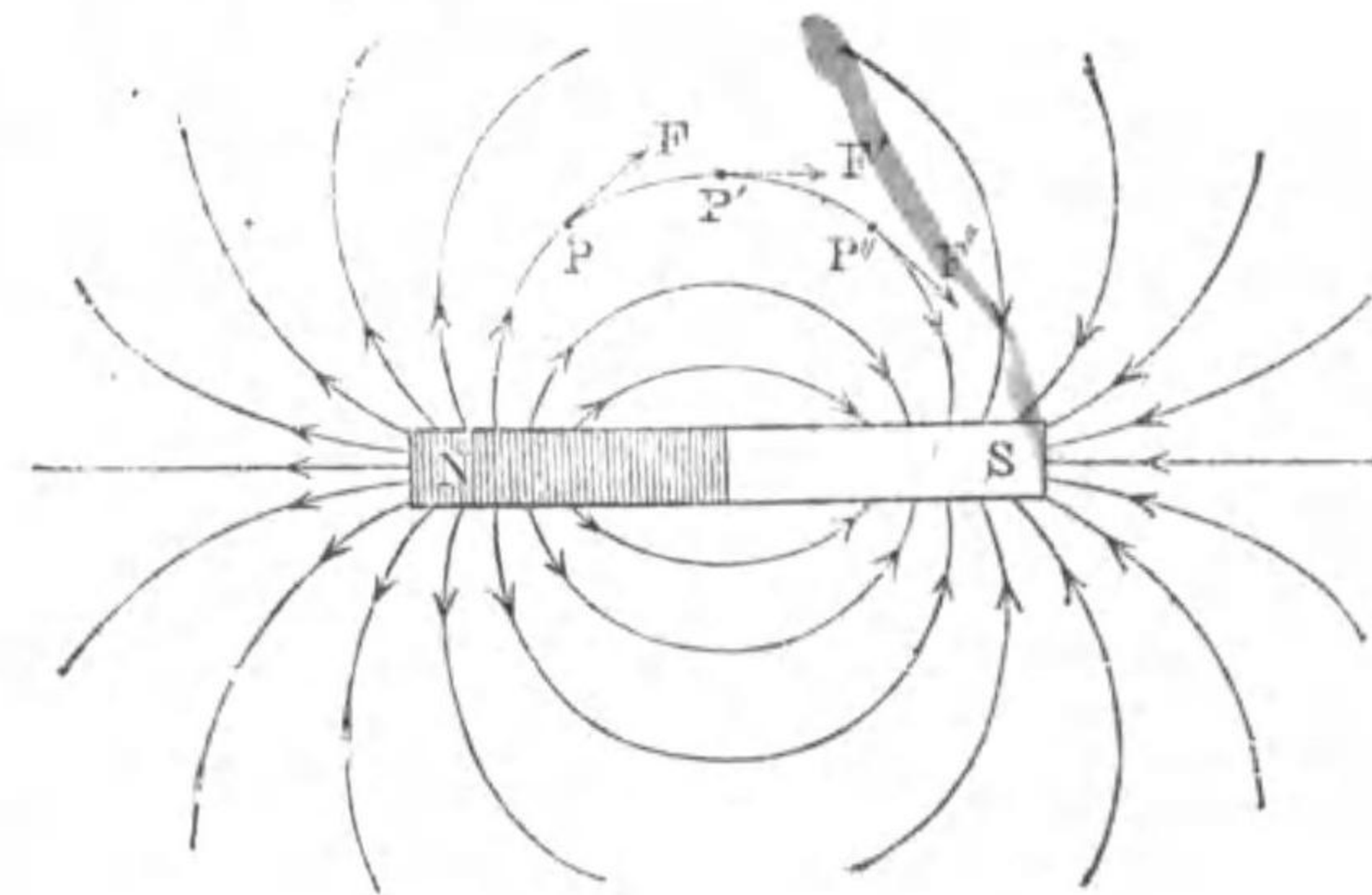
磁石は正極或は負極の一方だけを獨立に作ることは能はざれども、假りに正極だけ取り離すことを得たるものとして之を磁場内に持來すときは正極は指力線に沿うて磁石のN極よりS極の方に運搬せらるべし、故に指力線を又次の如く述ぶることを得。

指力線とは磁場内に持來されたる正極が磁場の働を受けて運搬せらるゝ道の曲線なり。

正極は常にNよりSの方に指力線に沿うて進むが故に指力線は常に磁石のN極より出で、S極に入るものと見ることを得。

213. 磁場の圖

吾人は是迄磁石の兩極には等量の正負の磁氣量ありと假想して磁氣の諸現象を説明したり、今後は指力線な



(341)

るものを適當に引きて磁場の有様を知るの便に供せんとす。指力線は磁場の方向を表はすものなることは既に説明せり、若し指力線の數を適當に引くときは其疎密によりて磁場の強さをも表はさしむることを得べし。指力線によりて磁場の有様を説明すること次の如し。

1. 磁石の兩極の磁氣量は相等しきが故に磁氣量に比例する數を以てN極より指力線を引くときは總ての指力線は皆S極に入る。

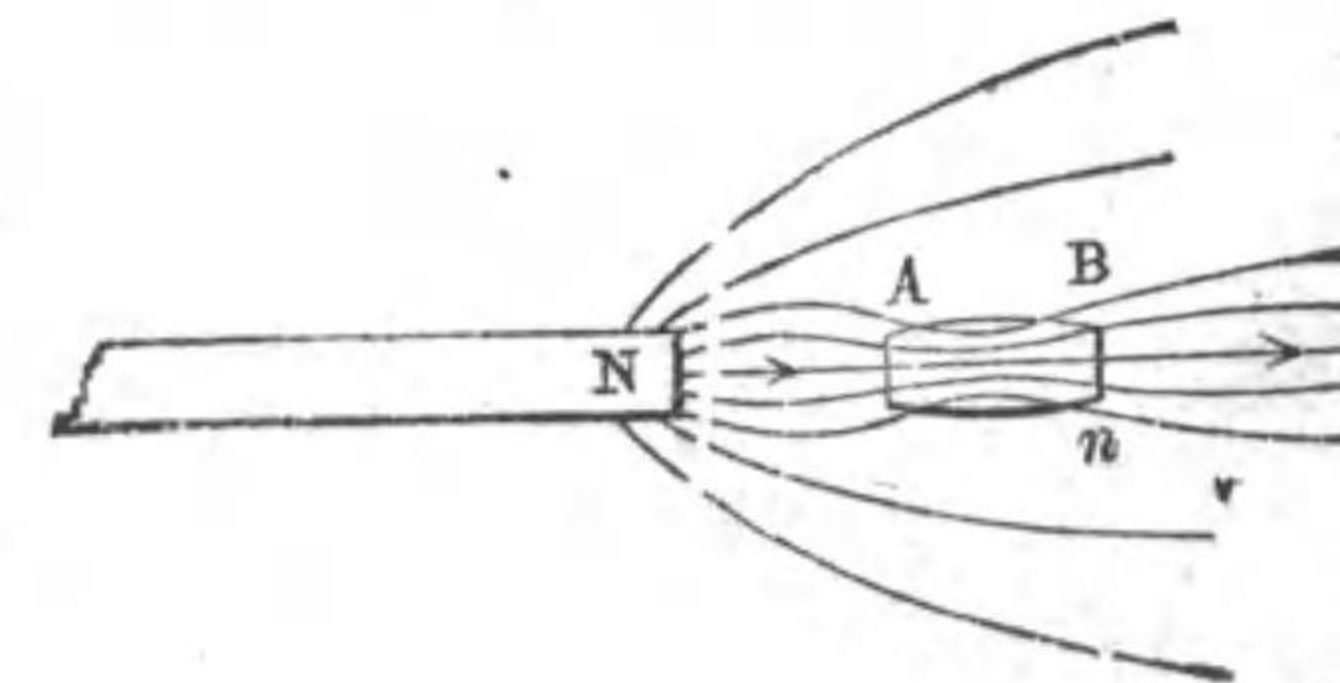
2. 指力線はN極より發してS極に入るが故に指力線の磁性體より出づる所はN極、磁性體中に入る所はS極と見ることを得。

3. 極に近き所は指力線密にして極に遠き所は指力線疎なり、故に磁場の圖を見て指力線の密なる所は場の強さ大にして其疎なる所は場の強さ小なるを知り得べし。

4. 指力線皆平行にして且つ疎密の度一樣なる所に於ては場の強さ及び方向は何所に於ても皆相等しきことを知り得べし、かゝる

磁場を一樣なる磁場といふ。

5. 一の磁石の近傍に鐵片を置くとときは指力線は圖の如くな



(342)

りて鐵片の方に密集す、此事を鐵は指力線を吸引すといふ、圖に於て指力線は鐵片のA端より入りてB端より出づ、故にAはs極Bはn極となる、此事を鐵は感應によりて磁石となるといふ。感應作用は磁石の極の近傍に限るにあらず、鐵片を磁場内に置くときは常に感應によりて磁石となる、其何れの端がn極なるかは指力線の出入する方向にて知り得べし。

次に種々の場合の指力線の圖を示す。

甲は通常の棒磁石、

乙は極めて細き磁石にして之を線磁石といふ、

丙は二個の磁石の異名の極相對したる場合、

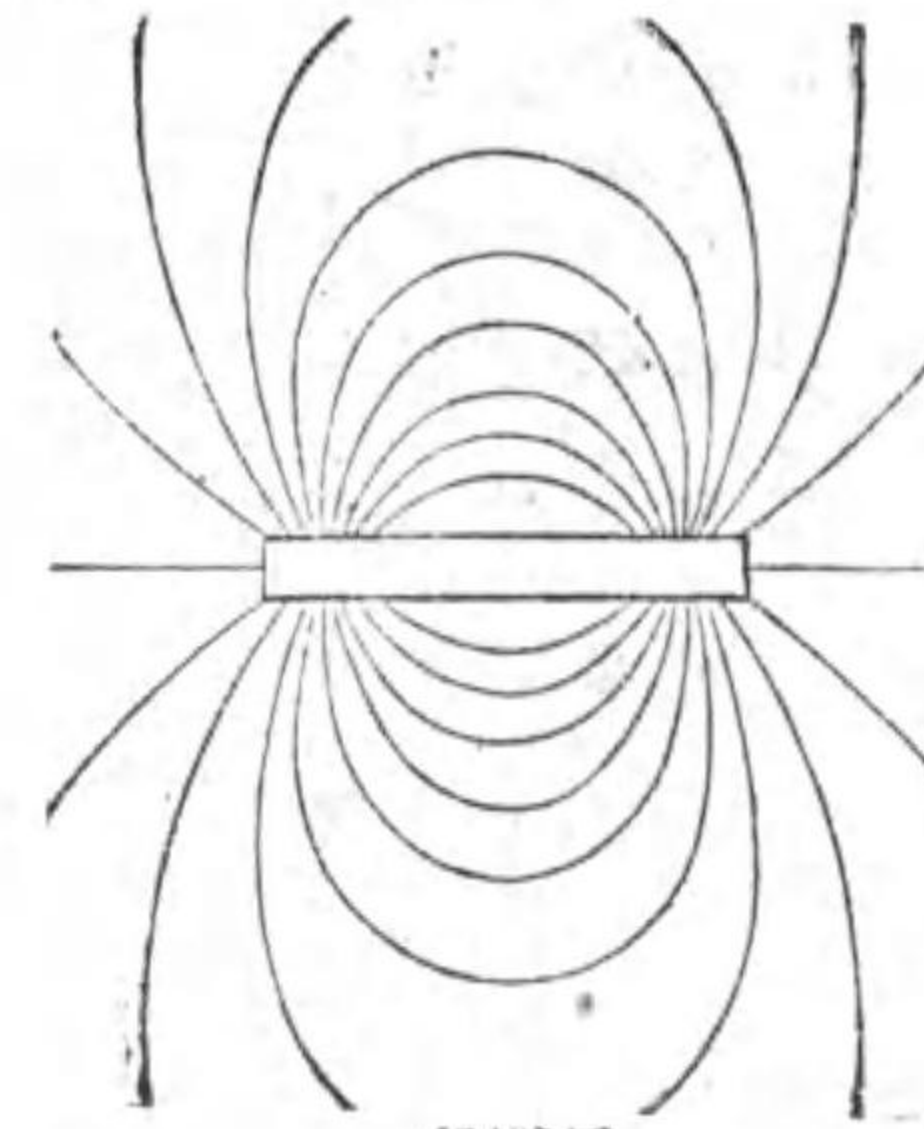
丁は同名の極相對したる場合、

戊は蹄鐵磁石の指力線の圖、

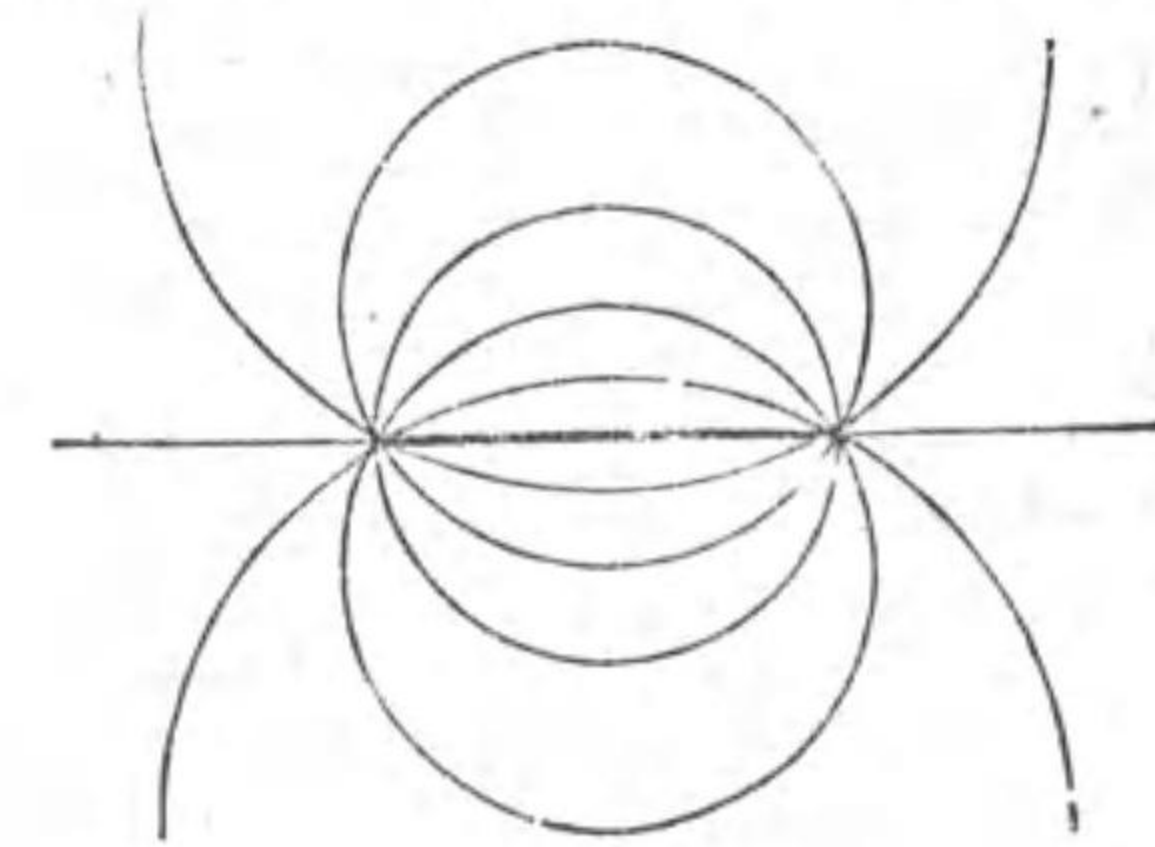
己は蹄鐵磁石に補子を附せる場合。

丙及び戊に於て異名の極相向へる所は磁場が略ぼ一樣なることに注意すべし、又己に於ては指力線が軟鐵片の爲めに吸引せらるゝ模様に注意すべし、かく軟鐵片の存在のために磁場の強さは著しく増加す、磁石の保存に於て補子を附するときは磁氣の衰弱を防ぐは是が爲めなり。

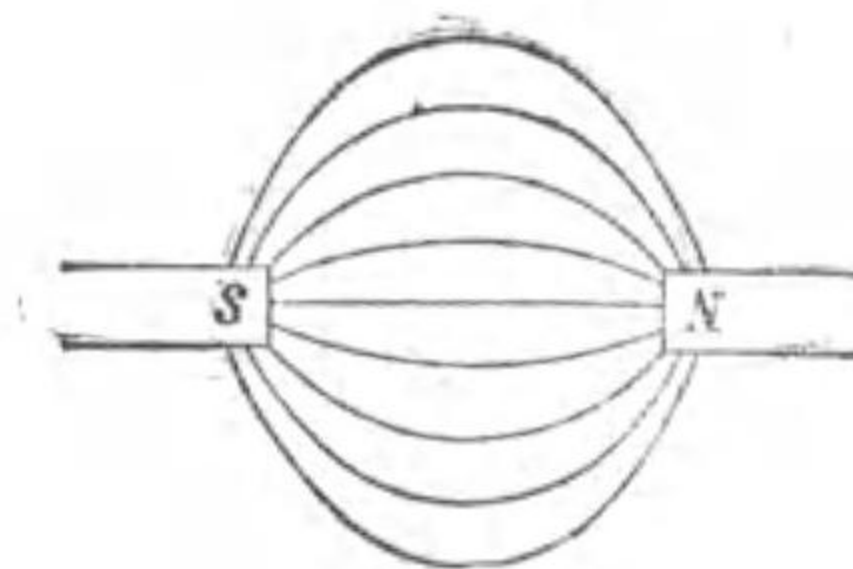
磁力が磁石の兩端にのみ存在すといふことは乙の如き線磁石の場合に限るなり、通常の磁石に於ては磁力が



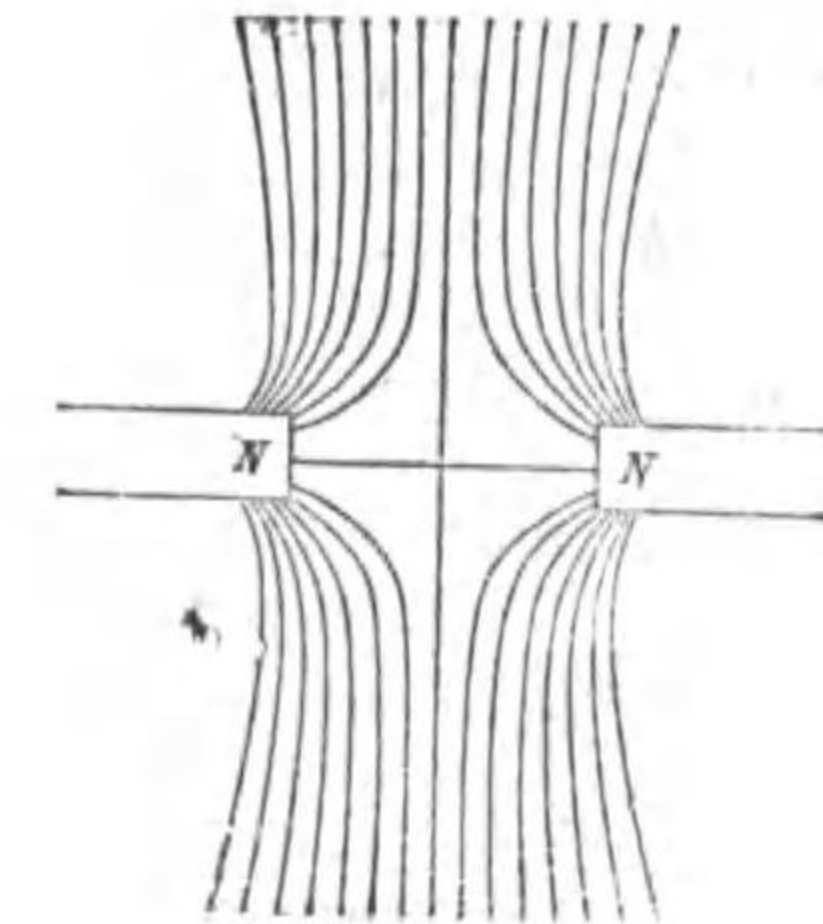
(343)甲



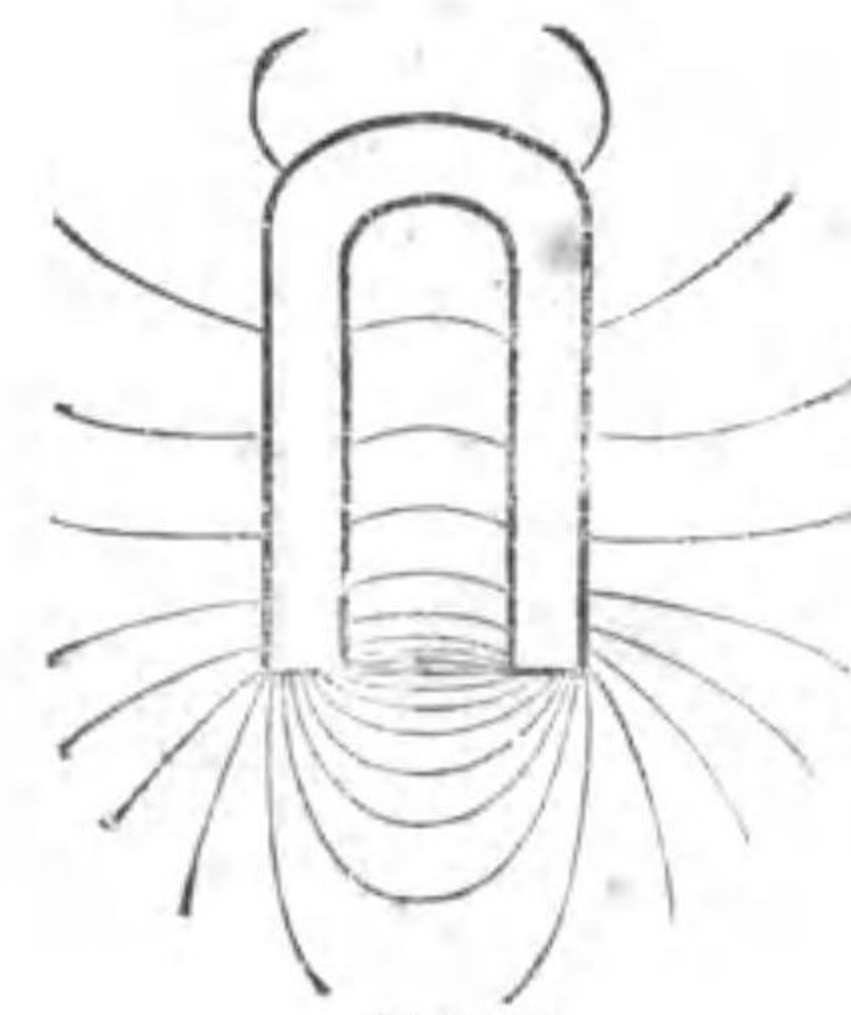
(344)乙



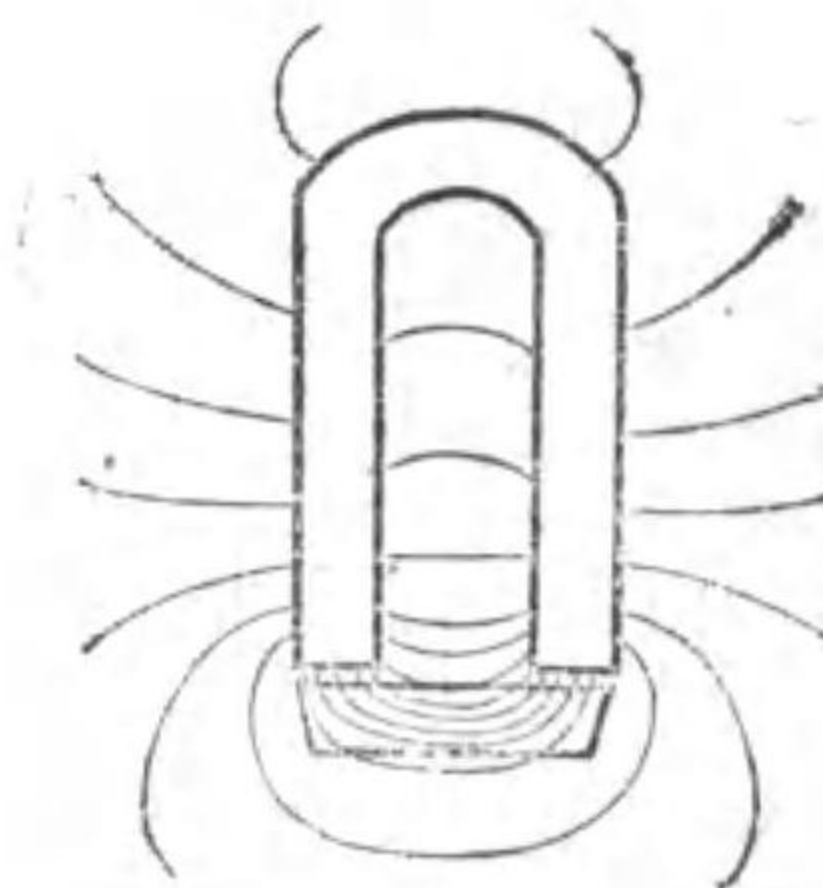
(345)丙



(346)丁



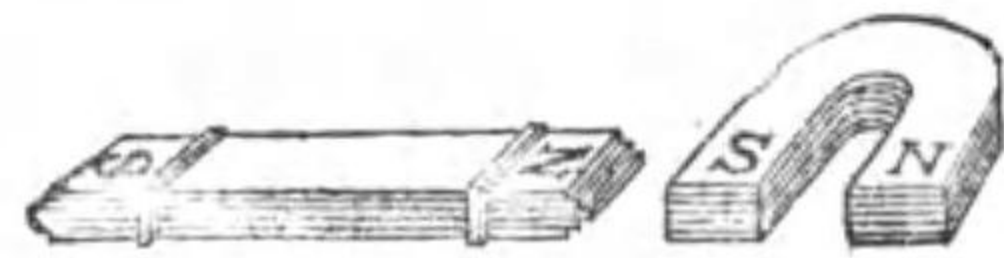
(347)戊



(348)己

兩端に於て比較的強きに過ぎず、磁石の各部に於ける強弱の様は指力線の出入の有様を見て察すべし、即ち指力線の密集せる所は磁氣作用強く疎なる所は弱し。かく線磁石に於ては磁石の作用は兩端に集まるが故に強き磁石を得んには數條

の線磁石を集めて一束とするを宜しとす、同理



(349)

により 349 圖の如く數枚の薄き磁石を重ねて作りたるものあり。

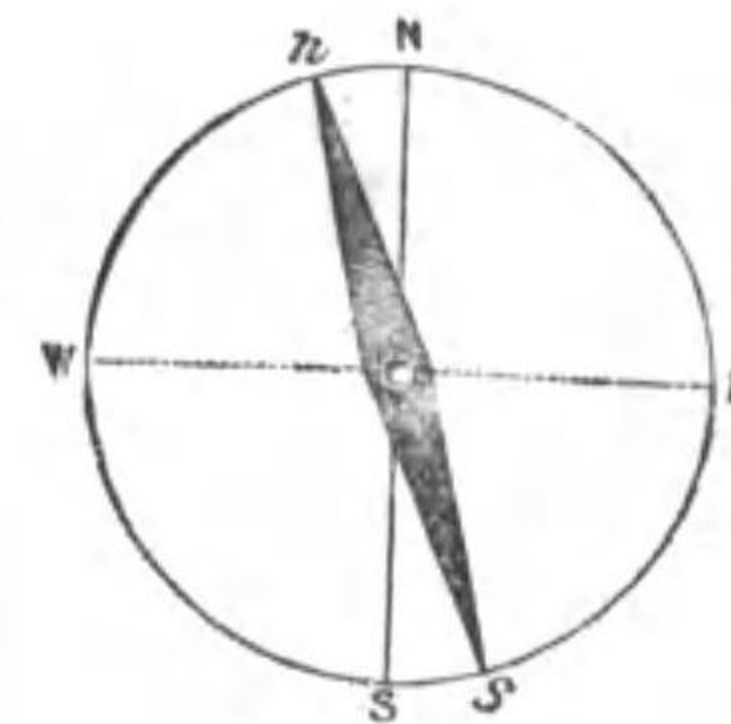
一の磁石を一様なる磁場内に置くときは磁石は唯だ磁場の方向に向けらるゝのみにして進行運動を爲さず、是れ磁石の兩極に働く磁力相等しきを以てなり(即ち兩極に働く磁力は一の偶力を形成す)然るに一様ならざる磁場内に磁石を置くときは磁石は磁場の方向に向けらるゝと同時に指力線の密集せる方に動かさる、是れ指力線密集せる側に在る極に働く磁力強ければなり、例へば 340 圖に於ては s 極に働く磁力 F' の方が n 極に働く磁力 F よりも強きを以て磁石 ns は F' の方向に動かさるべし。

第三章 地球磁氣

214. 地球磁氣 Earth magnetism.

地球は一大磁石にして地球の表面は地球磁氣の磁場なり、かの磁針が南北の方向を指すは地球磁氣の働きのを受けて其磁場の方向を取りて靜止するが爲めなり、然れども地球磁場の方向は多少南北の方向より偏し又水平に對して或傾きを爲すものなり。今一の磁針 ns を水平に吊すときは磁針の方向は眞

の南北 NS の方向と一致せざるを見るべし、此二つの方向の爲す角を其地に於ける地磁氣の偏角 Declination と云ふ、 NS の方向は所謂子午線にして之を含める鉛直面は子午面なり、又 ns を含める鉛直面は之を



(350)

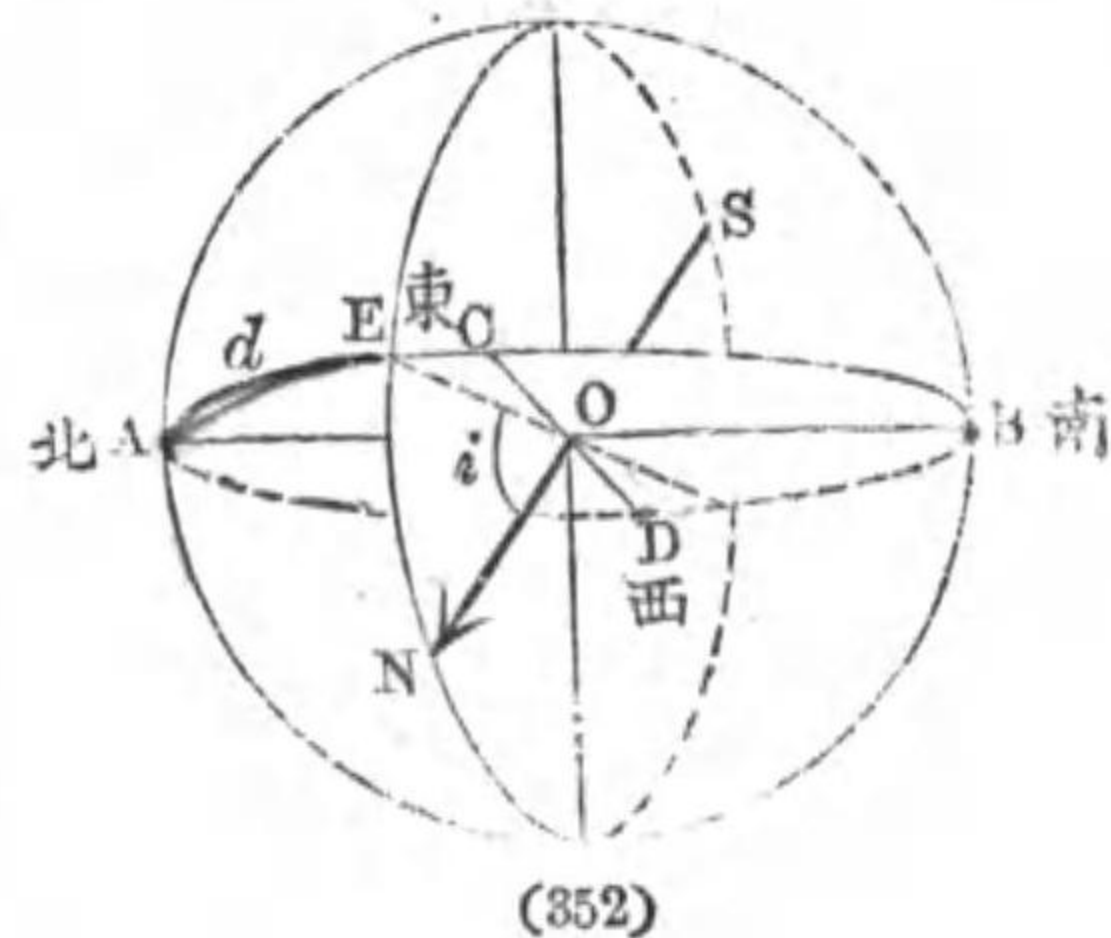
地磁氣の子午面と云ふ、故に偏角は眞の子午面と地磁子午面との間の角なり。次に磁針を其重心に於て吊すときは磁針は地磁子午面内に於て水平に對し或傾きを爲して靜止すべし、此傾きの角を伏角 Dip と云ふ、偏角及び伏角は通常磁針の n 極に付て云ふ、例へば n 極が西に偏するときは偏角西に何度と



(351)

稱す、又伏角は n 極が下に傾くときは之を+とし、上に傾くときは之を-とす。次圖は球面を用ひて偏角及び伏角を表はしたるものなり、

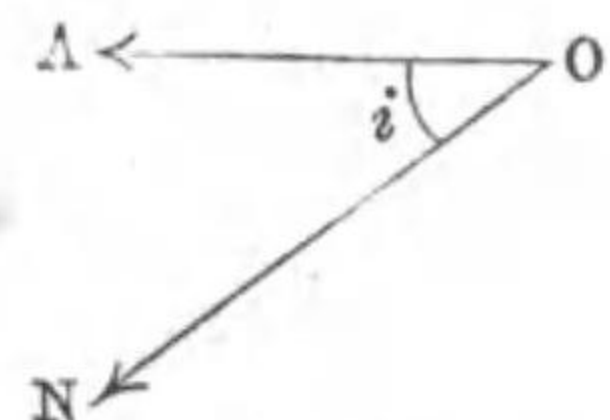
AB を北南の方向、 CD を東西の方向とし、 $ACBD$ を水平面とす、磁針 NS を其重心 O に於て吊したりとせば NS を含む鉛直面 NES は地磁子午面にして



$d = \angle AOE$ は偏角、 $i = \angle EON$ は伏角なり。

偏角と伏角とにて地球磁場の方向定まる、其上に磁場の強さを知れば地球磁場の有様は全く定めらる、地球磁場の強さは便宜上其水平分力を測る、水平分力を知れば其と伏角とによりて磁場の強さを知ること固より容易なり、即ち圖に於て ON を地球磁場の強さとし OA を其水平分力とし、 i を伏角とすれば

$$ON = OA \sec i$$



(353)

偏角、伏角及び水平磁力を地球磁氣の三要素と云ふ、當時本邦に於ては偏角は西に 5° 、伏角は $+50^\circ$ 、水平磁力は C. G. S. 單位にて 0.3 なり。

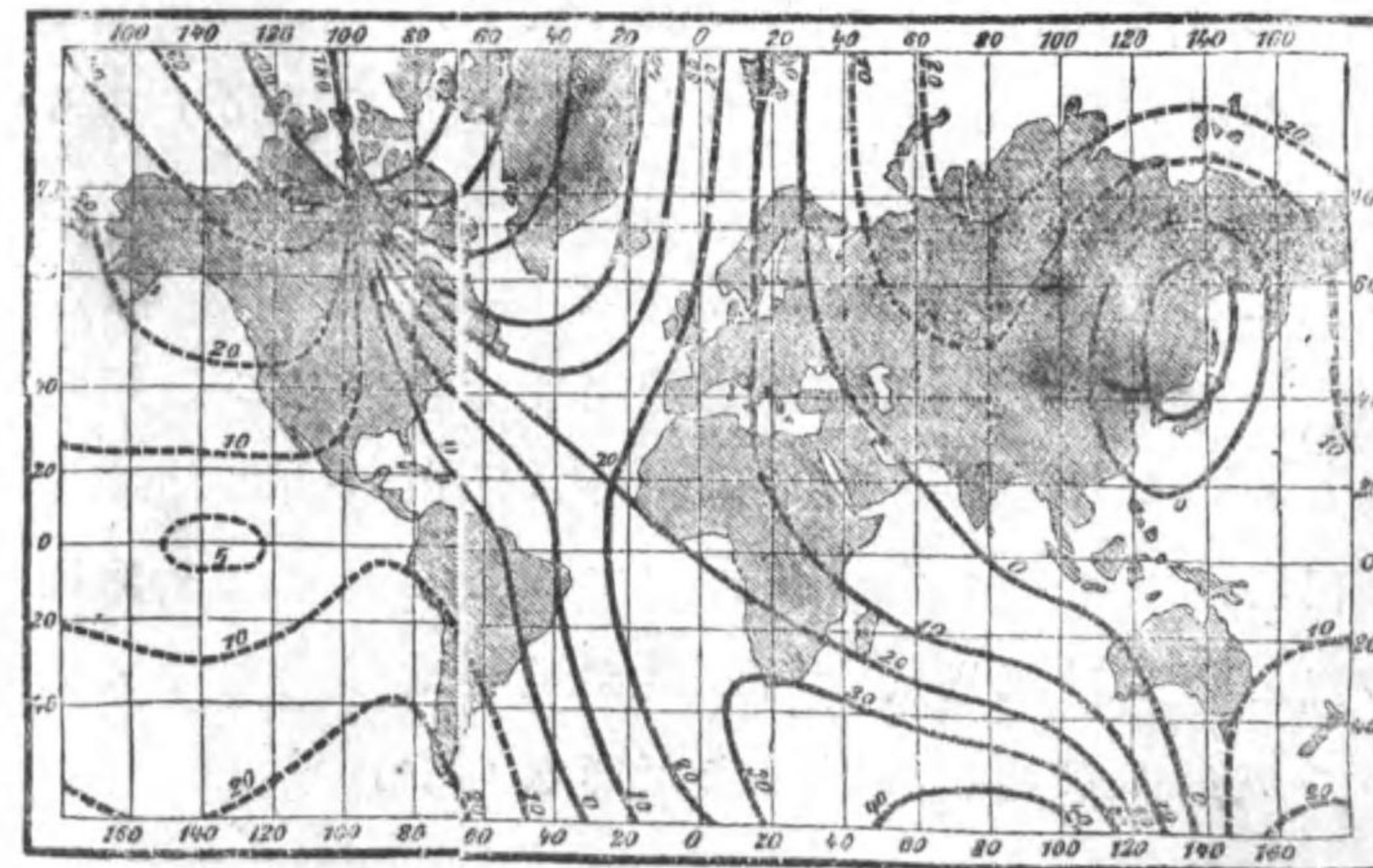
註 方位を示すに用ふる磁針が略ぼ水平の方向を取るは其支點を磁針の

重心より少しく N 極に偏して設けたるが爲めなり。

地磁力の強さを測らずして水平分力を測るは測定の便宜に依る。

215. 等磁線

地球磁場は一地方に於ては略ぼ一樣なれど地球上場處によりて固より一定ならず、地球上諸處に於て地球磁氣の三要素を測りて之を地圖上に記入し其偏角の等しき地點を連結したる線を等偏角線 Isogonic lines といひ伏角の等しき地點を連結したる線を等伏角線 Isoclinic lines といひ、磁場の強さ等しき地點を連結したる線を等磁力線 Isodynamic lines といふ、又伏角 0° に等しき等伏角線を地磁赤道といふ、略ぼ地球の赤道と一致す、此等の地點に於ては重心にて吊されたる磁針は水平の位置を取りて静



(354)

止す、伏角 90° に等しき處を地磁極といふ地球の兩極より各 10° 餘距りたる處にありて、北極に近きを地磁北極といひ、南極に近きを地磁南極といふ、地磁極に於ては重心にて吊されたる磁針は鉛直の方向を取りて靜止す。

354 圖は 1885 年の等偏角線を示す、實線は西への偏角にして虚線は東への偏角を表はす。

*216. 地球磁氣の變化

地球磁氣は場處によりて異なるのみならず又時に從つて變ずるものなり、其變化に三様の別あり。

1. 日々の變化。一日を週期として稍規則正しく變化するものなり、例へば本邦に於ては偏角は曉に於て最小にして其より次第に増し午後に至りて最大となり其より又減じて曉に至りて初の値に復す。
2. 永年の變化。永き年月を一期として變化するものなり、例へば本邦に於ては偏角は百年前は 0° にして今日に於ては西に偏すること約 5° なり。
3. 一時の變化。以上の二變化は徐々に且つ週期的に起るものなれど時としては一時に急激の變化を爲し數日間持續して再び初の値に復することあり之を地磁氣の嵐といふ、磁氣嵐は太陽の黒點、空中電氣、地震等に関係あるが如くなれど其原因未だ詳ならず。

問(1) コルクの上に小磁針を載せ之を靜止せる水上に浮ばずにコルクは廻轉して磁針が南北の方向を取るに至りて靜止す、されど少しも進行運動を爲さざるは何故なるか。

解 地球磁場は一地點に於ては一様なる磁場と見るを得故に小磁針の南北兩極に働く地球磁力は互に等しくして其方向反對なればなり。

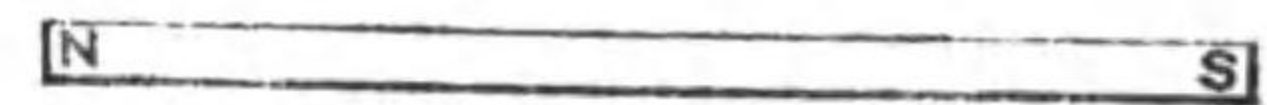
(2) 351 圖の如き重心を貫ける軸を有する磁針を地磁子午面に直角なる面内に置くときは磁針は如何なる方向を取りて靜止するか。

解 磁針は鉛直の方向を取る、是れ此場合には地磁方の鉛直分力のみ作用するを以てなり。

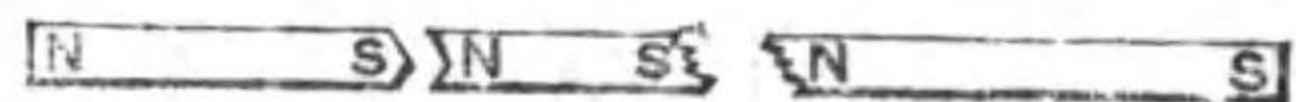
第四章 磁氣分子説

217. ギルバートの説

既に述べたるが如く磁石が鐵片を吸片する作用は其兩端に於て著しく中央に於ては殆ど其作用なし、又二個の等しき強さの磁石の異名の極を相接するときは其部分に於て磁石の作用を現はさず、今一の棒磁石を其中央に於て切斷して二個と爲すときは兩者は各、獨立の磁石となり切斷したる端



は兩者異名の極を帶ぶ、更に此等を切斷す

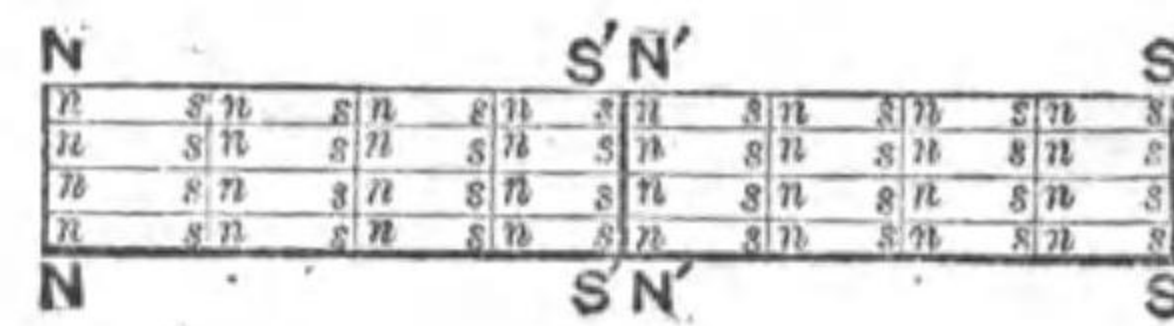


(355)

るに其端は亦異名の極を帶びて各、獨立の磁石となる、此手續を何回引續き行ふも各片は皆獨立の磁石となり二個の磁石片の相對する端は常に異名の極を帶ぶ、英人ギルバート Gilbert (1600年)は此事實に基づき磁石に關して次の如き説を立てたり。

磁石の各分子は皆一の磁石にして^{ns}兩極を一定の方向に向けて整列するものなり。

此假説は磁氣作用が重に磁石の兩端に現はれて中央部に現はれざる所以を説明することを



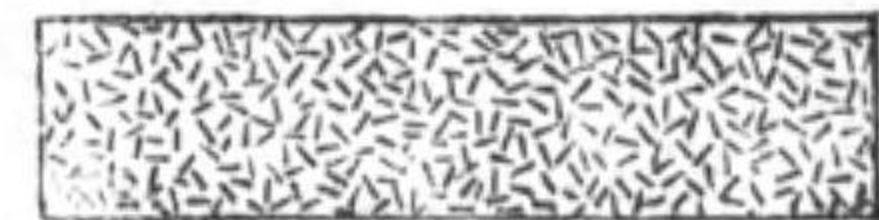
(356)

得、即ち磁石の中央部に於ては各分子の一極の作用は之に隣れる他分子の異名の極のために平均すと雖も兩端に於ては同名の極併列して其作用を増大するに依るなり、又此假説は切斷部に於て磁極が新に現はるゝことをも充分に説明す。

*218. ユーイングの説

英人ユーイング Ewing (1891年)の説はギルバートの説を改造したるものにして一層能く磁氣作用を説明す其説は次の如し。

1. 鐵ニッケル等總て磁性體と稱するものは磁氣を帶ぶると帶びざるとを論せず其分子は總て皆小磁石なり。
2. 磁氣を帶びざる磁性體にありては其分子の兩極の方向錯雜して一定ならず故に分子個々としては磁性を帶ぶれども全體としては各分子の作用互に平均して磁性を現はさず。



(357)

3. 磁氣を帶びざる磁性體の分子は此の如く錯雜したる方向を取りて釣合を保てども之を磁場内に持來すときは各分子は磁場の作用を受けて皆多少磁場の方向に向けられ磁性體全體として磁石の性を現はすに至る(感應作用)
4. 磁場の強さ大なれば大なる程分子磁石は以前の釣合

の有様を破りて磁場の方向に向けらるゝなり、従つて磁性體の磁力は磁場の強さと共に増加すべし、されど各分子磁石が殆んど皆磁場の方面に向ふときは以後磁場の強さを増すも磁性體の磁力を増すこと甚だ少なかるべし(飽和磁氣の現象)

5. 磁性體は一旦磁氣を帶ぶるときは之を磁場外に出すも分子磁石の相互の作用のために初めの磁氣を帶びざりし時の状態に全く復すること能はずして幾分か磁氣を存すべきなり、而して鋼鐵の如きは分子磁石を磁場の方向に向けるに困難なる代りに磁場外に出すも分子が初めの状態に復すること難し(磁氣保存性)
- 是等の推論は鐵、ニッケル等に付て已に知られたる事實と能く一致す。

- 問 (1) 鋼鐵磁石を赤熱するとき磁氣を失ふは何故なるか。
 解 分子の運動激烈となりて一定の方向を取りて静止すること能はざるがためなり。
- (2) 磁石を激しく撃つときは幾分か磁氣を失ふは何故なるか。
 (3) 軟鐵棒を略ぼ南北に向けて之を撃つときは鐵は磁氣を帶ぶるは何故なるか。
 解 南北に置くは地磁場の方向に置きたるなり故に之を撃つときは分子は震動して多少地磁場の方向を取りて併ぶ故に南にS極北にN極を生ず。鐵棒を地磁場の方向に置くときは其結果一層有効なり、家屋の鐵柱が多少磁氣を帶ぶるも亦同様に依る。

第七篇の複習

重要な事項

磁石相互の作用
 磁氣量、極の強さ
 クーロンの法則
 磁氣感應
 磁場、磁場の強さ、磁場の方向、指力線
 地球磁氣の三要素、偏角、伏角、水平磁力
 磁氣分子説

問題

- (1) 一の磁石の極の強さを定むる方法を問ふ。
- (2) 磁石が鐵片を吸引する作用を磁氣感應によりて説明せよ。
- (3) 人造磁石の製法及び保存法を問ふ。
- (4) 磁場の強さ、方向を定むる方法を問ふ。
- (5) 指力線の定義として二通りの述べ方を記せ。
- (6) 地球磁氣の三要素の定義を問ふ。
- (7) 磁石を折りて數片と爲すも各片に各々南北極を備ふることを磁氣分子説によりて説明せよ。
- (8) 強き磁石の一極の附近に磁針の一極を持來すとき兩極が相吸引するときは兩極は異名の極なりと云ふを得るか。

解 否、兩極が同名の場合にても磁針の極の強さ弱きときは磁石の感應作用の爲めに吸引せらるゝことあり、但し磁針を遠方より徐々に磁石に近づくるとき吸引せらるゝならば兩者は異名の極なり、是れ距離遠きときは感應作用強からざるに依る。

第八篇 電氣學 Electricity.

第一章 基本の電氣現象

219. 帶電 Electrification, 驗電器 Electroscope.

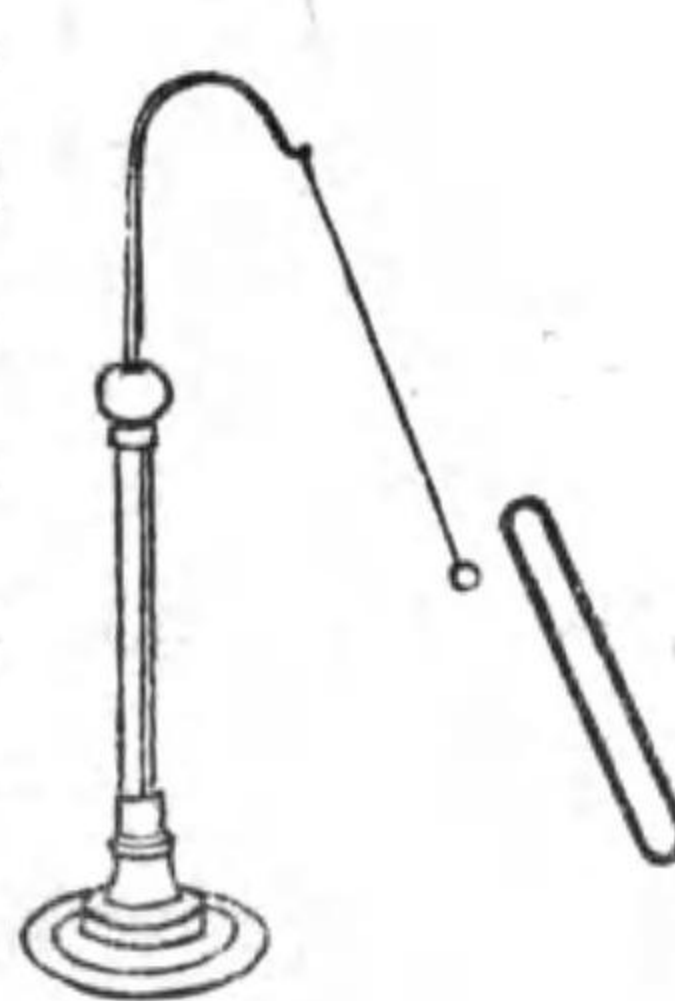
封蠟の棒を乾燥したる毛布にて摩擦し或は燥かしたる硝子棒を絹布にて摩擦して是等の封蠟又は硝子棒を塵埃紙片の如き輕體に近づくとときは忽ち之を吸引し一旦接觸して後直に反撥す、又此等を指頭に近づくとときは微音を發すると同時に棒と指との間に微小なる火花の發するを見るべし、封蠟或は硝子棒の代りに摩擦するに用ひたる毛布或は絹布を以てするも亦同様なり、是等の現象を電氣の現象といひ、封蠟等は電氣を帶べりといひ或は帶電の状態に在りと云ふ。

ゴム櫛にて毛髪を梳るときは微音を發して毛髪と櫛とは相吸引するを見る、毛織のシャツを脱ぐときは頭髪とシャツとが摩擦する際微音を發し暗室にては火花を認め得べし、紙片を火に炙りて後爪にて擦るときは紙片は能く柱壁等に附着し、又木箸の先端を火に焦し頭髪にて擦るときは能く體を吸引するを見るべし、此等の現象は總て電氣の現象に屬するなり。

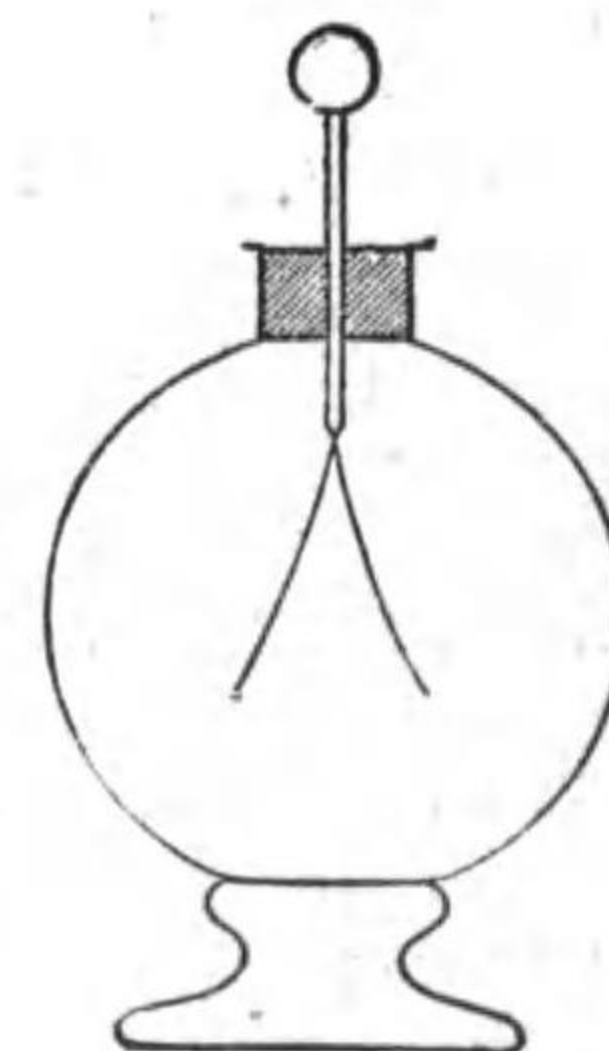
物體が帶電の状態に在りや否やを檢せんには驗電器と稱するものを用ふ、其最も簡單なるものは 358 圖に示すが如く一の木髓球例へば燈心を絹糸にて吊したるも

のにして之を電氣振子といふ、若し帶電の状態に在る物

體(帶電體)を木髓球に近づくとときは木髓は一旦吸引せられ帶電體に接觸して後反撥せらる。帶電せざる物體を近づくと此現象なし。又簡單にして可なり鋭敏な



(358)



(359)

るものを金箔驗電器 Gold-leaf electroscope (359圖)とす、金屬棒の下端に二枚の極めて薄き金箔を吊し之を硝子器にて包みたるものなり、帶電體を金屬棒の上端に近づくとときは金箔は開く。

220. 導體 Conductor, 不導體 Nonconductor.

封蠟、硝子等に於ては帶電の状態は摩擦せられたる部分にのみ存在するものなれど、金屬等は其一部を摩擦して帶電せしむるときは帶電の状態は金屬の全面に擴散す、此事を電氣が物體を沿ふて傳はるといふ、此の如く帶電の状態が其全面に擴散する物體を電氣の導體といひ、帶電の状態が其一部分にのみ止るものを不導體といふ、金屬、木炭、酸類、鹽類、水、木綿、麻、身體等は導體にして、樹脂、琥珀、封蠟、石蠟、硝子、絹、毛布、陶器、乾きたる紙、油、ゴム、空氣等は

不導體なり。

かく導體及び不導體を區別すれども其境界判然たるにあらず、中間に位する不充分なる導體を時として半導體と呼ぶことありアルコール、エーテル、乾きたる木材、紙、蒿等之に屬す。瓦斯は一般に不導體なれど極めて稀薄なる瓦斯或は熱せられたる瓦斯は導體なり。

金屬の如き導體を手にかけて之を摩擦するも帯電の現象を認むること能はず、是れ電氣が身體を傳はりて地球に擴散するがためなり、故に金屬に不導體の柄を附して摩擦するときは帯電の現象を認め得べし、總て導體に帯電の状態を保たしめんには不導體を以て其擴散を防ぐこと必要なり、此故に不導體を一に絶縁體 Insulator といひ、導體が絶縁體に圍まれて他の導體特に地球に連絡せざることを絶縁せられて在りといふ。

221. 二種の電氣

毛布にて摩擦したる封蠟を吊るし、更に他の封蠟を毛布にて摩擦して之れに近づくとときは互に反撥し、絹布にて摩擦したる硝子を近づくとときは互に吸引す、又別に絹布にて摩擦したる硝子を吊るし、之れに前記の封蠟を近づくとときは互に吸引し、硝子を近づくとときは互に反撥す、約言すれば封蠟と硝子とは互に吸引すれども封蠟と封蠟或は硝子と硝子は互に反撥す、之れによつて

毛布にて摩擦したる封蠟と絹布にて摩擦したる硝子とは其帯電の状態を異にすることを知る、如何なる物體を如何なる方法にて帯電せしむるも前記の封蠟と反撥して硝子と吸引するか、或は硝子と反撥して封蠟と吸引するかの何れか一なり、かく絹布にて摩擦せられたる硝子と相反撥し毛布にて摩擦せられたる封蠟と相吸引する物體は硝子様の電氣を帯ぶといひ、硝子と相吸引し封蠟と相反撥する物體は封蠟様の電氣を帯ぶといふ、便宜上硝子様の電氣を陽電氣又は正電氣 Positive electricity といひ封蠟様の電氣を陰電氣又は負電氣 Negative electricity といふ。封蠟を摩擦したる毛布は陽電氣、硝子を摩擦したる絹布は陰電氣を帯ぶ。

次に列舉せるもの、内二つのものを取りて互に摩擦するときは上位に在るものは陽電氣、下位に在るものは陰電氣を得、例へば毛布と樹脂とを互に摩擦するときは毛布は陽電氣、樹脂は陰電氣を帯ぶ。

硝子、毛布、絹、木、金屬、琥珀、ゴム、硫黃、樹脂、封蠟。

但し物體の表面の精粗、摩擦の度合等によりて此順序に従はざることありと知るべし。

帯電體の間の反撥吸引に關して次の規則あり。

同種の電氣を帯べる物體は互に反撥し、異種の電氣を帯べる物體は互に吸引す。

一物體が陽電氣を帯べるか陰電氣を帯べるかを知らんには其物體に酸化鉛(赤色)と硫黄(黄色)との粉末を混合したるものを撒布すべし然るときは兩粉末の相互の摩擦によりて酸化鉛は陽電氣、硫黄は陰電氣を帯ぶるが故に物體に酸化鉛が附着するときは陰電氣、硫黄が附着するときは陽電氣なることを知る。

222. 電氣量

電氣の現象を説明するため電氣量なる一種の量を想像するを便なりとす、即ち正の帯電の状態にあるものは若干の正電氣量を有し負の帯電の状態に在るものは若干の負電氣量を有するものとす。

電氣量が相等しといふことは次の如くして定めらる、二個の帯電體甲及び乙を夫々同一の距離に於て第三の帯電體丙に作用せしめて甲丙間の力と乙丙間の力とが相等しきとは甲及び乙の有する電氣量は相等しとす而して其等の力が共に引力或は斥力なるときは甲及び乙は同種の電氣を有し一方の力が引力にして他方が斥力なるときは異種の電氣を有す。

電氣量の單位は理論上次の如く定めらる、

單位 相等しき電氣量を有する二個の質點を空氣中に於て1厘の距離に置いて兩者を作用せしむるに其力が1ダインなるときは兩者の有する各電氣

量を以て電氣量の單位とす。

實用上にては上記の單位の 3×10^9 倍を以て單位とし之を1クーロン Coulomb といふ。

223. クーロンの法則

クーロンは實驗の結果として磁氣の場合と同様に次の法則を得たり、

法則 電氣を帯ぶる二物體の引力或は斥力は兩者の電氣量の相乗積に正比例し距離の二乗に逆比例す、之をクーロンの法則といふ。前記電氣量の單位を用ふれば Q 及 Q' なる電氣量を有する二個の質點が空氣中に於て r 厘の距離に在るとき互に作用する力 f は

$$f = \frac{QQ'}{r^2} \text{ ダイン。}$$

金箔驗電器に電氣を與ふるときは兩金箔は同種の電氣を帯びて反撥す、故に金箔の開きの度を見て金箔に與へられたる電氣量の多少を知ることが得。

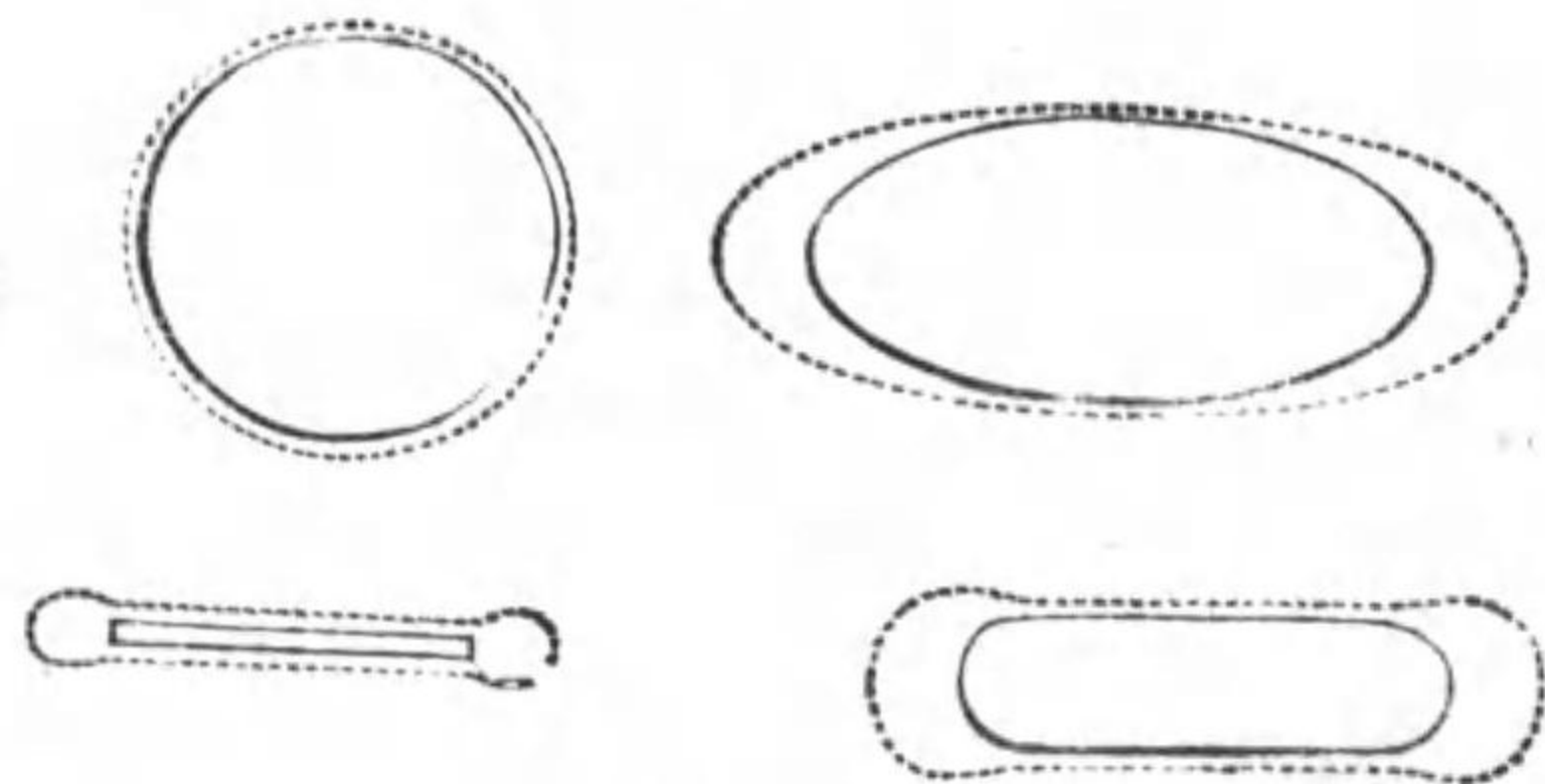
問 甲體の電氣量は5クーロン、乙體の電氣量は2クーロンにして甲乙間の距離25厘なるときは兩體は幾何の力を働かし合ふか。

答 1.44×10^{17} ダイン。

224. 電氣の配布

導體に電氣を與ふるときは電氣の状態は直ちに導體の全體に擴散す、今内空の導體に電氣を與へ硝子の柄を有する小なる金屬板を導體の内部に觸れしめたる後金

箔驗電器にて驗するに金屬板は少しも電氣を帯びざるを見る、之によつて電氣を與へられたる導體の内部は少しも帶電の状態を有せず即ち電氣は導體の表面に於てのみ宿ることを知る、上記の實驗に用ひたる小金屬板を「驗し板」Proof plane といふ。



(360)

一の導體の表面に於て彎曲せる部分には電氣は多量に集まり扁平なる部分には集まること少なし、此事も亦驗し板を以て驗することを得、即ち電氣を帶べる導體の一部に驗し板を以て觸るゝときは板は其部分の電氣量の多少に應じて電氣を得べし、依つて板を驗電器に觸れしめ金箔の開きを見て驗し板の電氣量の多少に従つて導體各部の電氣量の多少を知るなり。

定義 電氣を帶べる導體の表面單位面積上にある電氣の量を其部分に於ける電氣の表面密度といふ。

360 圖は球、楕圓體、圓板及び圓柱形の導體に於ける表面密度の大小を示せるものにして導體の表面より點線ま

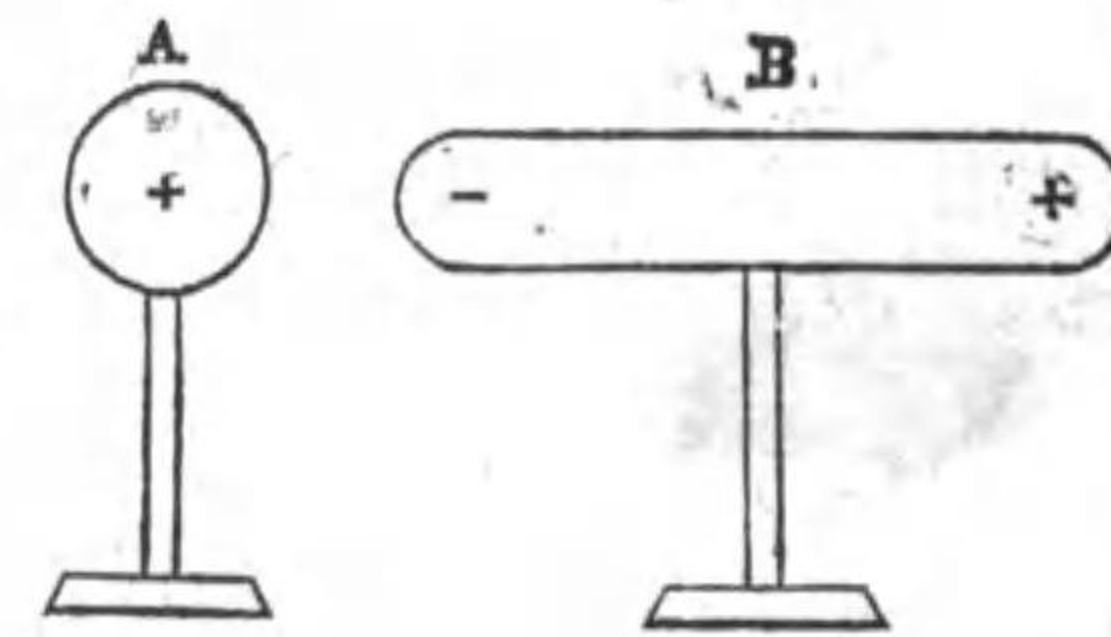
ての垂線距離は其部分に於ける表面密度を表はす。

225. 電氣感應 Electric induction.

帶電體 A の近傍に絶縁したる導體 B を持來すときは導體の帶電體に近き部分には異種の電氣、遠き部分には同種の電氣を生ず此現象を電氣の感應といふ、酸化鉛と硫黄との混合粉末を導體にふり掛くるときは一端には酸化鉛、他端には硫黄が附着し中央部には兩者ともに附着せざるを見るべし。

感應に隨伴する著しき諸現象は次の如し。

1. A を遠ざくるときは B は帶電の現象を失ふ、
2. A, B を接觸せしめて後、離すときは B は陽電氣



(361)

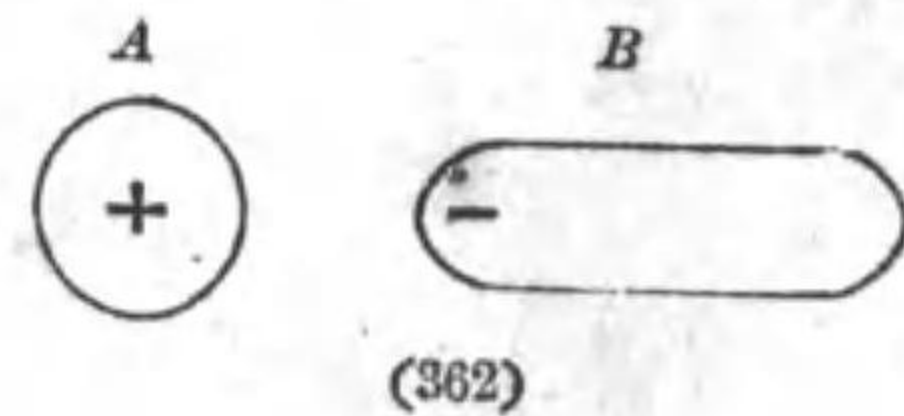
- を帶び A は同量の陽電氣を失ふ、かく導體を帶電體に接觸せしめて電氣を與ふことを「傳導授電」といふ、
3. B を A の近傍に置きながら他の導場を以て B を一時地球に連絡し次に連絡を絶ちて A を遠ざくるときは B は陰電氣を帶ぶ、此法によりて導體に電氣を與ふことを「感應授電」といふ、

以上の事實によりて次の如き性質を有する電氣流體なるものを假想するを便とす、

1. 正電氣流體と負電氣流體との二種ありて同種の流體は互に反撥し異種の流體は互に吸引す、
2. 導體内にては電氣流體は自由に流動することを得、不導體内にては流動することを得ず、
3. 電氣を帯びざる物體は等量の正負の流體を有す、
4. 正負の流體の量等しからざるときは物體は其過剰の量に相當する正或は負の電氣を帯ぶ、
5. 物體中より過剰の流體を取り去るか、或は其に相當せる反對の符號の流體を入るゝときは物體は帯電の状態を失ふ、

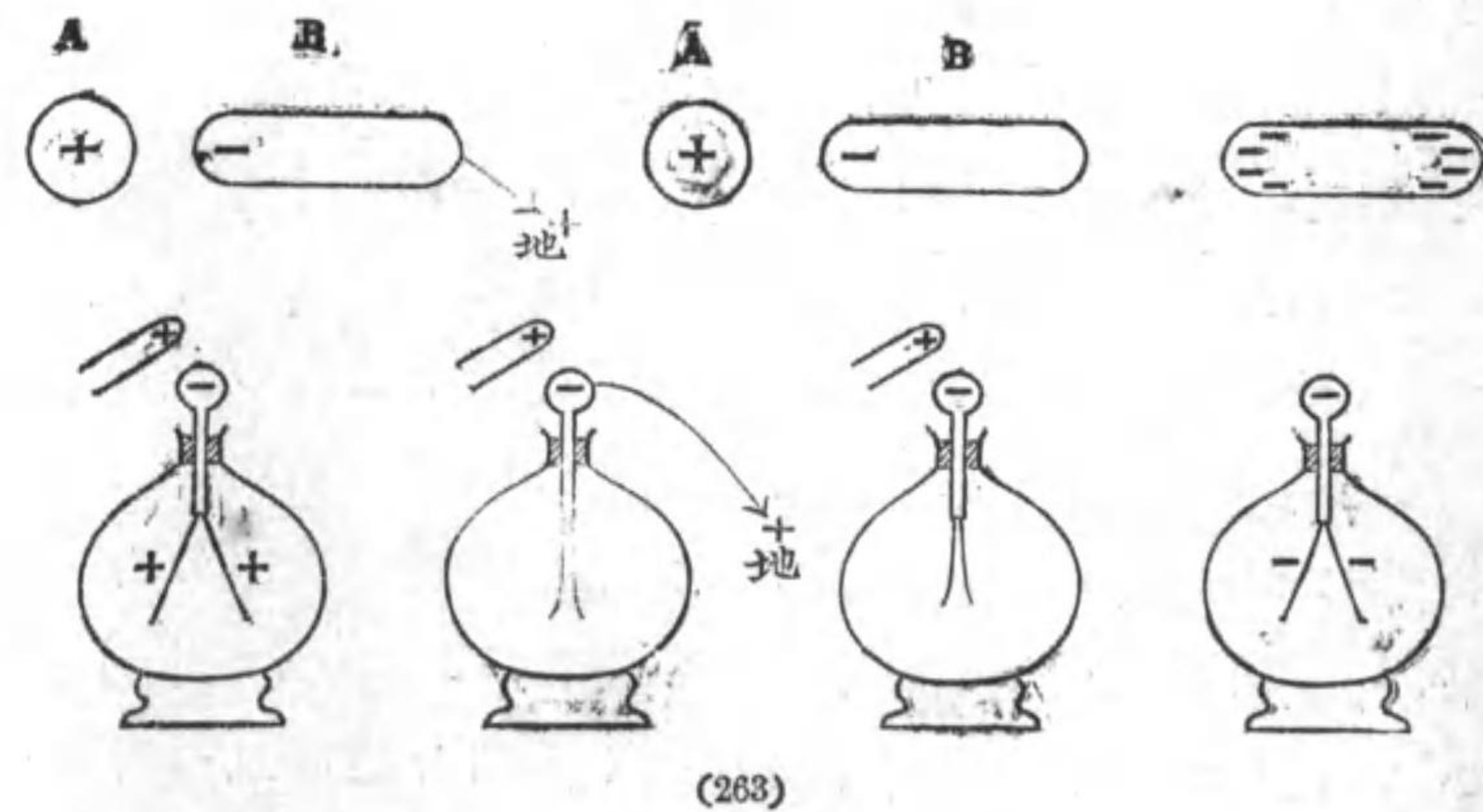
かく假定すれば感應作用は正負電氣流體の分離と見るとを得、即ち *B* を *A* に近づくときは *B* 内の正流體は *A* の正流體に斥けられて *A* より遠き端に集まり、負流體は引かれて *A* に近き端に集まる、而して (1) *A* を遠ざくるときは *B* の正負流體は中和す、(2) *A*, *B* を接觸するときは *B* の負流體と *A* の正流體の一部とは互に中和して *B* には正流體のみ残る、(3) *B* を地球に連絡するときは *B* の正流體は *A* の正流體のために斥けられて地球に逃れ去る、故に *B* には負流體のみ残る此

負流體は *A* の正流體に吸引せらるゝが故に *B* に他の導體を觸るゝも電氣の逃れ去るとなし、此有様に於ける帶



電の状態を「束縛帶電」といふ。

帶電體が輕體を吸引することは感應作用によりて説明することを得べし、即ち輕體の帶電體に近き端には異種の電氣生じて吸引し、遠き端には同種の電氣生じて反撥す、而して引力は斥力に勝るが故に輕體は帶電體に引き付けらるゝなり、又一旦接觸するときは傳導授電によりて輕體は帶電體と同種の電氣を得るが故に反撥せらるるなり。



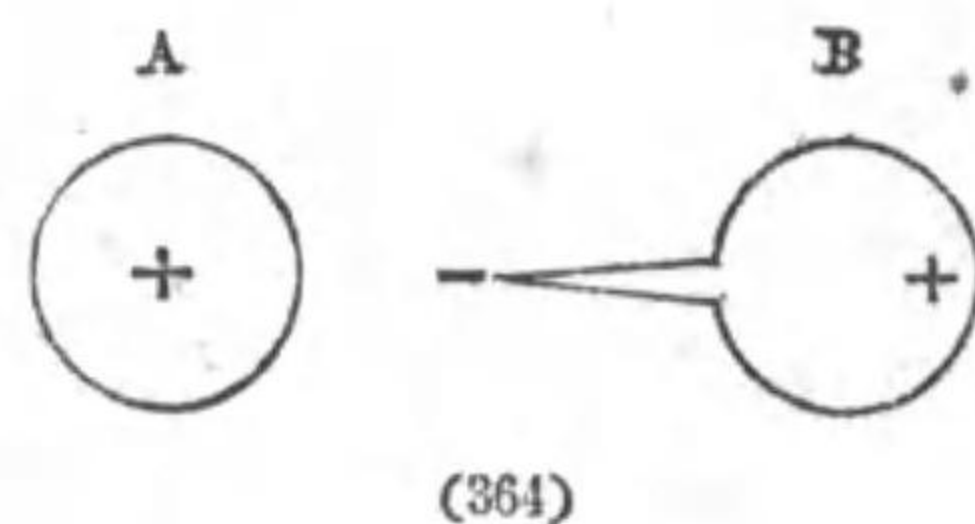
次に感應授電を行ふ手續を示す、上方に圖せるは導體 *B* に電氣を與ふる法、下方に圖せるは金箔驗電器に電氣を與ふる法なり、導體を地球に連絡せんには指頭を之に觸るればよし、然るときは斥けらるべき電氣は身體、床等を経て地球に逃れ去る。

金箔が陰電氣を帯びて開けるとき之に陰電氣を帯べる帯電體を近づけるときは金箔は益々開き、陽電氣を帯べる物體を近づけるときは金箔は開きの度を減するか、全く閉づるか、或は一旦閉ぢて後再び開くべし、之によつて豫め陽或は陰の知れたる電氣を金箔に與へ置くときは一帶電體の電氣の種類を判ずることを得べし。

226. 尖點の作用

電氣は導體の表面中彎曲の度甚しき處に多く集まるものなるが故に、導體が若し尖りたる端を有するときは其部分に多量の電氣集まり近傍に在る物體に感應作用を及ぼすこと大なり、故に空氣中に浮游する塵埃等は尖端に吸引せられ一旦接觸して尖端の電氣の一部を荷ひて反撥せらる、かくして導體の電氣は漸々塵埃のために搬び去られて導體は遂に電氣を失ふに至る、塵埃が新陳代謝して導體の電氣を搬び去ることは熱の對流の有様に似寄るにより此現象を「電氣の對流」Electric convection といふ、此故に導體の表面は成るべく尖端を避け且つ滑かに作るを通例とす。

次に圖の如く尖點を有する導體 *B* を帶電體 *A* の附近に置き尖點を *A* に向はしむるときは *A* の電氣を陽とす



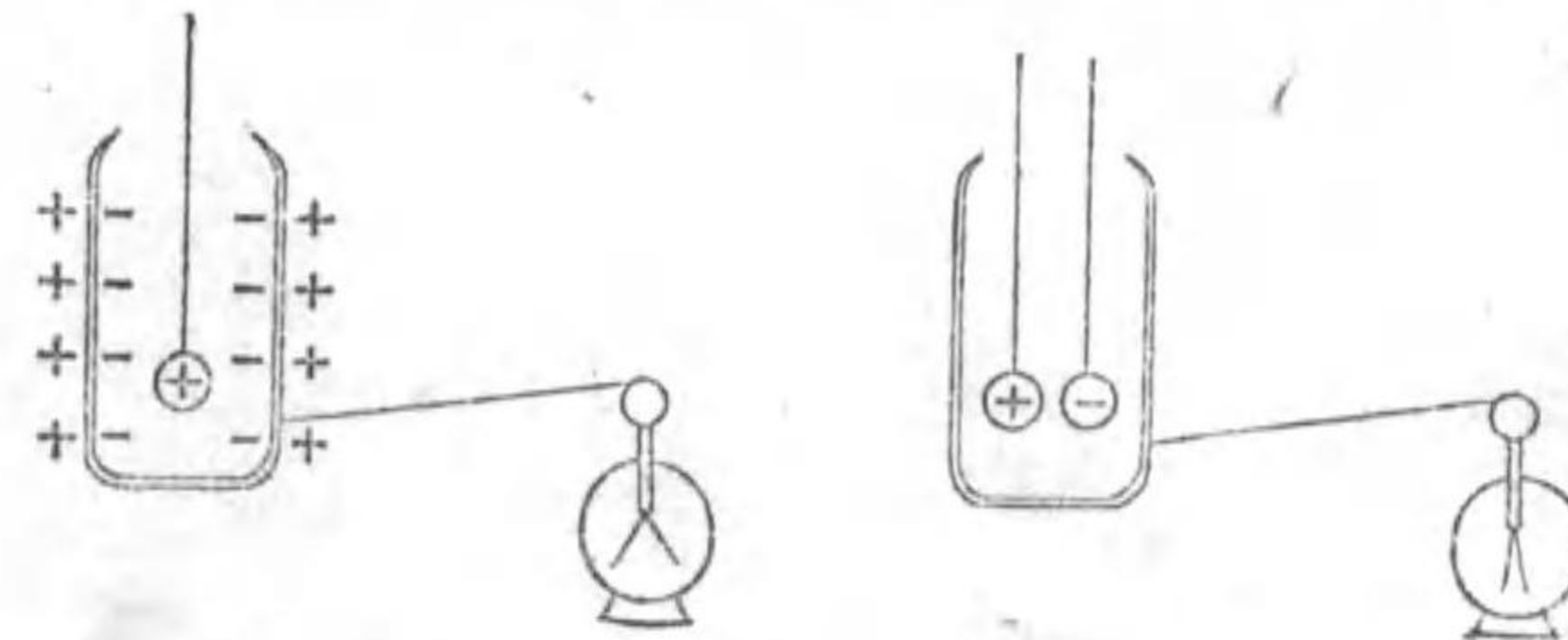
(364)

れば *B* の尖點に感應誘起せる陰電氣は對流作用に依り *A* の陽電氣と中和し(即ち塵埃が *B* の尖點より其陰電氣を奪ひて之を *A* に搬ぶなり)、或は尖點が *A* に近きときは空氣を押し破りて直接に中和す、故に *A* は電氣の一部を失ひ *B* には其と等しき量の陽電氣が残留することゝなる、其狀恰も *B* が *A* の電氣を吸收せるが如し依つて之を尖點導體の「吸電作用」と云ふ。故に帶電體の電氣を保たんに其近傍に尖點導體を置かざるを宜しとす。

若し *B* の尖點を帶電體 *A* に背けて置くときは尖點に誘起せる陽電氣は對流作用によりて漸次搬び去られて *B* には陰電氣のみ残るべし。此の如く總て導體が尖點を有するときは其の絶縁不完全なる場合と同じ結果を生ず。

227. 陰陽兩電氣の量

上端少しく開ける金屬製の箱を導體にて金箔驗電氣の金屬棒に連絡し其内に帶電したる物體を絶縁體にて



(365)

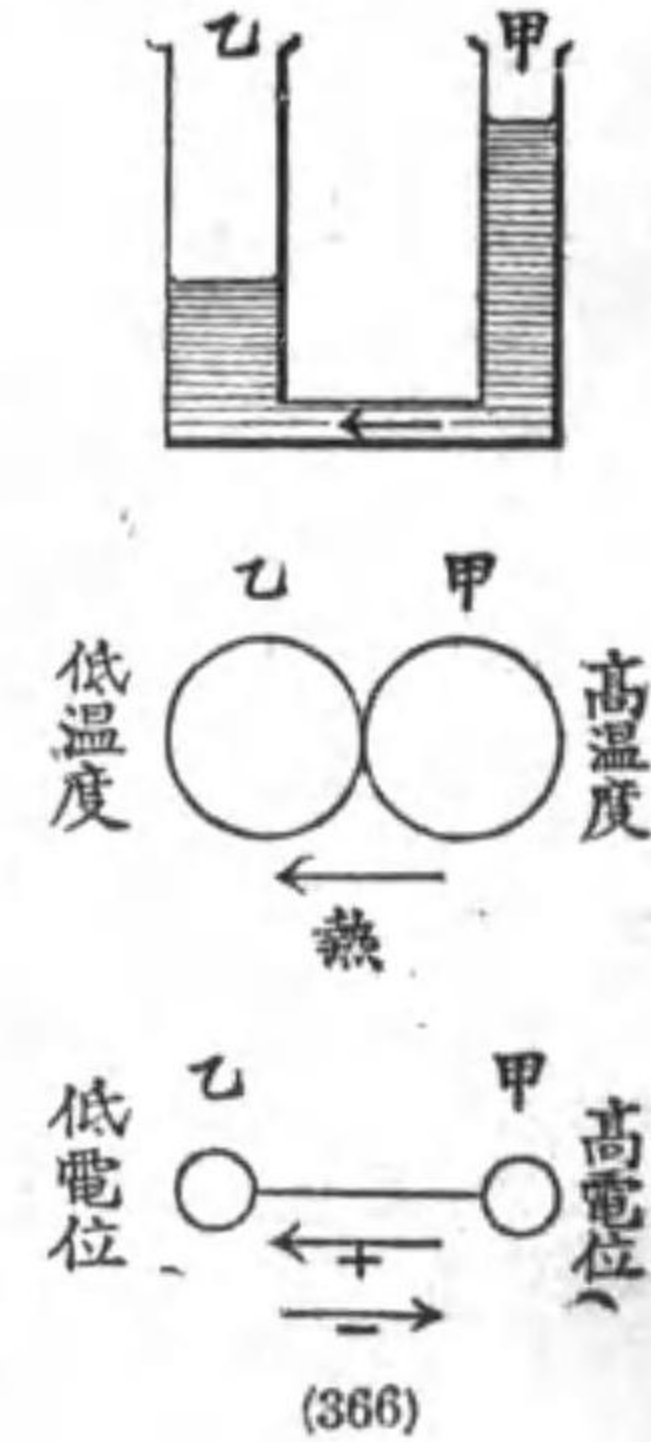
吊して入るゝときは感應によりて箱の内部には帯電體のと異種の電氣、外部及び金箔には同種の電氣を生じて金箔は開く、内に入れたる帯電體を箱の内にて動かすも金箔の開きに變化なし、即ち帯電體の金箔に及ぼす作用は箱内に於ける帯電の位置に無關係なるを知る、次に同量の陰陽の電氣を帯べる二個の帯電體を入るゝに金箔は少しも開かず。今毛布にて摩擦したる封蠟及び用ひたる毛布を上記の如く箱内に吊し見るに金箔は開くことなし、之によつて封蠟及び毛布には等量反對の電氣の生じたるを知る、摩擦帯電に限らず總て如何なる方法を以て電氣を起すも必ず等量の陽陰の電氣が相伴ふて生ずるものなり。故に如何なる方法を以てするも吾人は新に電氣を製造するとを得ず、單に此迄中和し居れる陰陽兩電氣を分離せしめ得るに過ぎざるなり。

第二章 電位

228. 電位 Electric potential.

導體が電氣を帯べる状態を表はすに電位(又は電氣のポテンシャル)なる一の量を考ふるときは大なる便利を得、次に電位の定義を與ふるに當り水位及び溫度を引き合ひに出して説明すべし、

水位 水を入れたる甲乙二器を管にて連絡するとき、水の流動なきときは兩器の水位は相等しいといひ、若し水が甲より乙に向つて流るゝときは甲の水位は乙の水位よりも高しいといふ。されば兩器の水位の差なきに至り水の流動止む。



溫度 甲乙二物體を接觸するとき、其間に熱の移動なきときは兩體は同

溫度に在りといひ、若し熱が甲より乙に移るときは甲の溫度は乙の溫度よりも高しいといふ。されば兩體の溫度同一となりて熱の移動止む。

電位 電氣を帯べる甲乙二個の導體を針金にて連絡するとき、其間に電氣の移動なきときは兩體は同電位に在りといひ、若し陽電氣が甲より乙に移り或は陰電氣

が乙より甲に移るときは甲の電位は乙の電位よりも高しといふ。されば兩體の電位同一となりて電氣の移動止む。

此の如く電氣量と電位との關係は恰も水量と水位との關係の如く又熱量と溫度との關係の如し、されば

1. 水量多ければとて水位は必しも高からず、但し同一の器にありては水量多き程水位高し、
2. 熱量多ければとて溫度は必しも高からず、但し同一物體にありては熱量多き程溫度高し、
3. 電氣量多ければとて電位は必しも高からず、但し同一の導體にありては陽電氣量多き程電位高し、

註 兩水槽を連絡するには理論上極めて細き管を以てすることを要す、何となれば管若し太きときは管を充たすための水量を要するを以て水の流動の様不明となればなり、同様に二個の導體を連絡するには極めて細くして單に電氣を導くに足る導體を以てすることを要す、然らざれば電氣の一部は連絡する所の導體に移るが故に電氣の移動不明となり従つて電位の高低も亦不明となる。

陽電氣が甲より乙に移ることは等量の陰電氣が乙より甲に移ること、全く同一なり、即ち乙に陽電氣が増すときは其電氣は甲より來れるものと見るを得べく、又等量の陰電氣が乙より去れるものと見るを得べし、此故に以後は陽電氣の一方に付てのみ述ぶること、すべし、陰電氣に付ては總て其逆なりと知るべし。

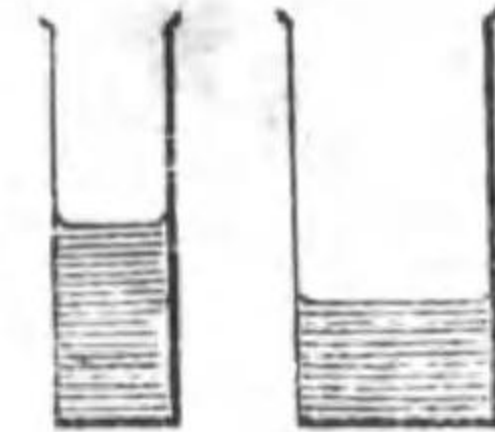
甲乙何れか一方が電氣を帯びざる場合に於ても電位の高低といふことを云ひ得るなり例へば甲が陽電氣を帯び乙が電氣を帯びざる場合には兩者を連絡すれば陽電氣は甲より乙に移るが故に甲は乙より

も高電位に在るべし、又甲は電氣を帯びずして乙が陰電氣を帯ぶる場合には是亦甲は乙よりも高電位に在るなり。

229. 電氣容量 Electric capacity.

導體に陽電氣を與ふるときは其電位昇る(陰電氣ならば降る以下陰電氣の方は略す)水量及び熱量を比較に取りて説明すれば

1. 容器に水を入れるときは其水位は昇る、而して容器の大小(側壁が鉛直ならば其底面の大小)によりて等しき水量を入れるも其水位の昇ること等しからず、之を容器によりて其「容量」を異



(367)

にすといふ。容器の水位を單位の高さだけ昇すに要する水量を以て其容量を表はすことを得例へば水位を一尺だけ昇すに甲器は一升の水を要し乙器は二升の水を要すとせば、乙器の容量は甲器の二倍なり。

2. 物體に熱を與ふるときは其溫度は昇る、而して物體によりて等しき熱量を與ふるも其溫度の昇ること等しからず、之を物體によりて其「熱容量」を異にすといふ。物體の溫度を 1° だけ昇すに要する熱量を以て其熱容量を表はす。
3. 導體に陽電氣を與ふるときは其電位は昇る、而して物體によりて等しき電氣量を與ふるも其電位の昇る

こと等しからず、之を物體によりて其「電氣容量」を異にすといふ。導體の電位を單位だけ昇すに要する陽電氣量を以て其導體の電氣容量を表はす。

此の如く電氣容量は熱容量と同様に水の容量に因んで作りたる語にして導體の形狀大小によりて其値を異にすれども導體の品質には關係なし。

230. 電位の單位、容量の單位

地球は一大導體にして其容量大なるが故に之に多少の電氣を與ふるも其電位は一定不變と見做すことを得べし、依つて地球の電位を零電位として之を導體の電位を測る基準とす、恰も水準を測るには海面を以て其基準とし、溫度を測るには氷の融解點を以て其基準とするが如し。電氣を帶べる導體を地球に連絡すれば其電氣は陽にても陰にても地球に移動して其導體の電位は零となる、故に陽電氣を帶べる導體の電位は地球の電位よりも高し之を陽電位といふ、又陰電氣を帶べる導體の電位は地球の電位よりも低し之を陰電位と云ふ、陽電位は之を海面よりも高き水準或は氷點よりも高き溫度に比すべく、陰電位は海面よりも低き水準或は氷點よりも低き溫度に比すべし。

理論上半徑 1 浬の球面導體に單位の陽電氣を與ふる

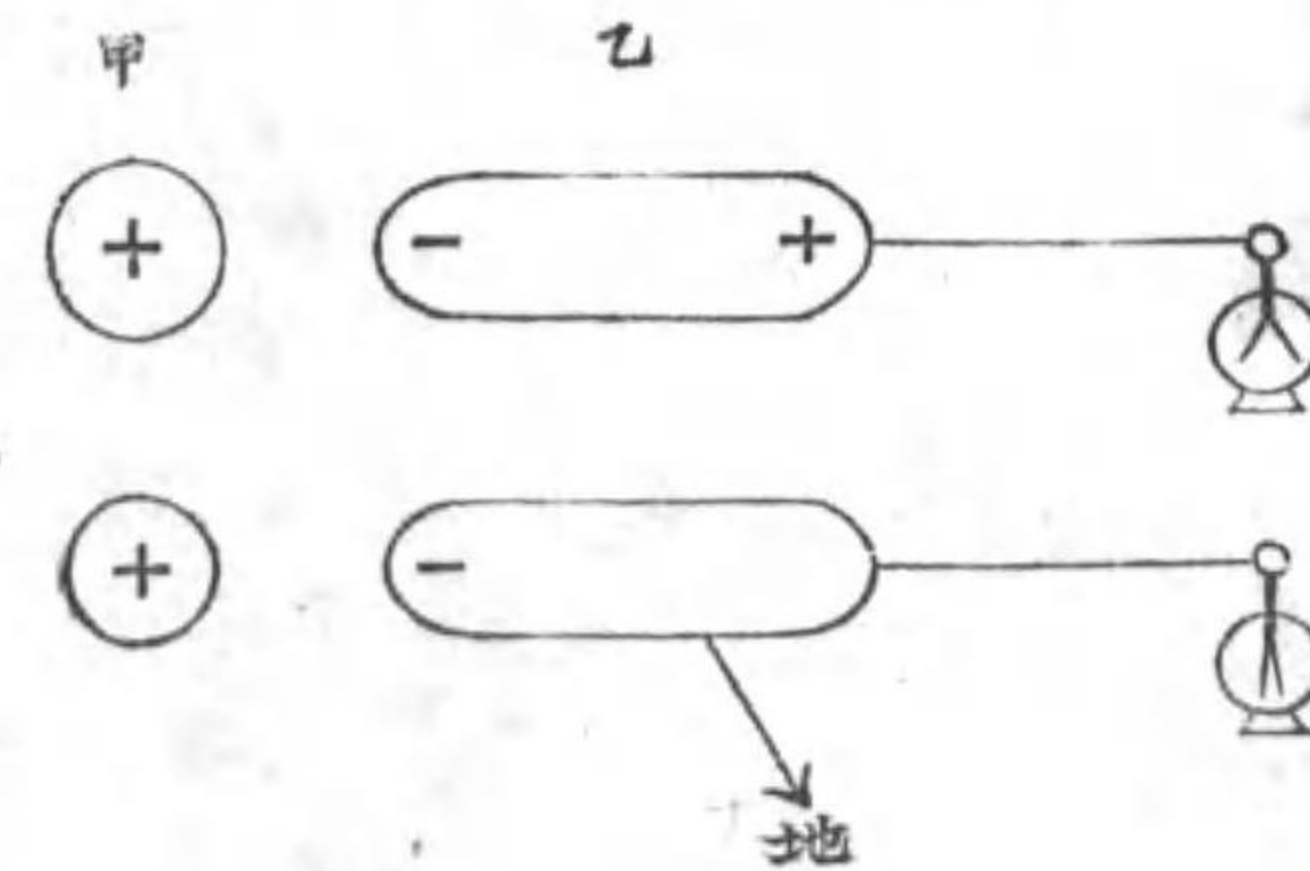
ときは其電位は單位だけ昇りたりとす、此單位の $\frac{1}{300}$ を以て實用上電位の單位とし之を 1 ボルト Volt といふ。

電氣容量の定義によるに或導體に Q 單位の陽電氣を與ふるとき電位が V 單位だけ昇りたりとせば其容量 C は次の式にて與へらる。

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{或は} \quad Q = CV$$

導體に電氣を與ふるときは其表面は總て同一の電位となりて電氣の移動止む、故に其表面密度は處によりて異なるも其電位は各處皆同一なり、又感應によりて帶電するときは表面上處によりて陰陽を異にするも其導體の電位は各處同一なり。金箔驗電器に電氣を與ふれば金箔は開く而して驗電器の容量は一定なるを以て之に多量の陽電氣を與ふるときは金箔の開くこと大にして従つて其電位の高きことを示す、此故に金箔の開きの大小によりて其電位

の高低を知ることを得べし、又驗電器を導體に連絡すれば驗電器と導體とは同一の電位となる故に驗電器を導



體に連絡することによりて導體の電位の高低を知ること

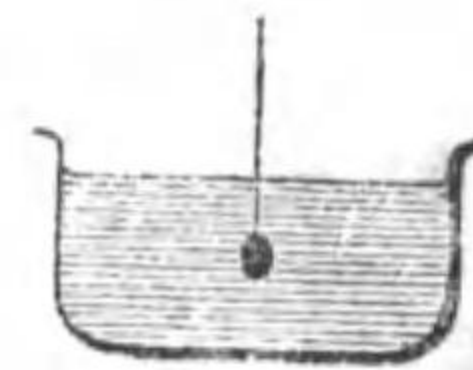
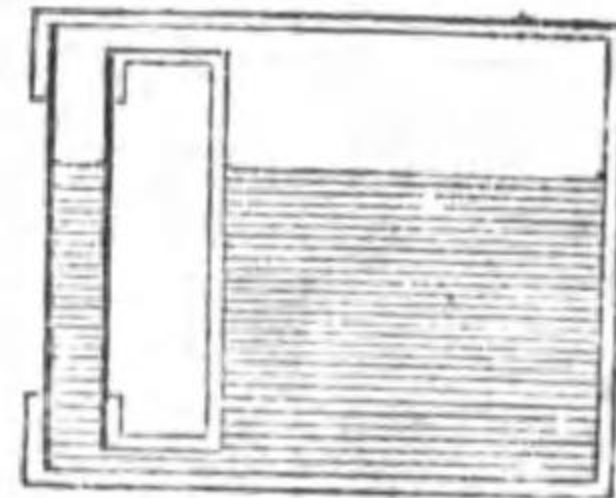
とる得べし、368 圖は感應によりて帶電したる導體を地球に連絡することによりて其電位が0となれるを示す。

231. 電位の測法

總て量を測るには或方法によりて量の大小が眼に見ゆる様にするを要す、水準、溫度、電位等を測るにも亦此等の量の大小が眼に見ゆる様に工夫するなり、

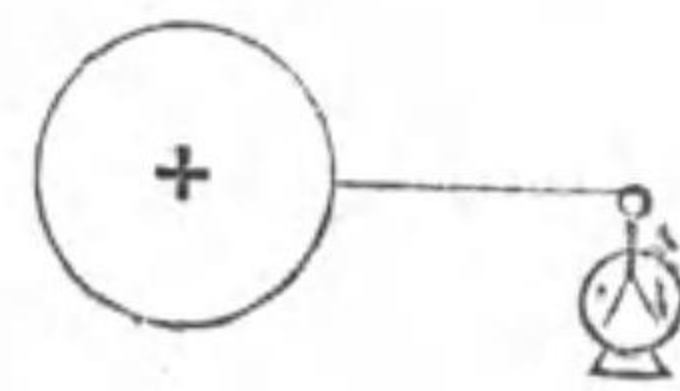
1. 水準は眼に見ることを得るも

のなれど例へば蒸氣罐の如く密閉せる不透明體の容器中の水準は見るを得ず、かゝる場合には硝子にて作りたる水準器を附するなり、内外の水準は相等しきが故に硝子管の水準を見て罐内の水準を知るなり。



2. 水の溫度を測るには其内に寒暖計を挿入す然るときは寒暖計(従つて水銀)は水の熱の一部を得

て水と同溫度となる、依つて水銀糸の長さを測りて水銀の溫度従つて水の溫度を知るなり。



(369)

3. 導體の電位を測るには之を金箔驗電器に連絡す然るときは金箔は導體の電氣の一部を得て導體と同電

位となる、金箔は電位の高低によりて開きの度を異にするが故に金箔の開きの度を見て驗電器の電位従つて導體の電位の高低を知ることが得。

以上三つの場合に於て孰れも二個の共通の主義あり、(1)測らるべき物體と測る所の器とは接觸或は連絡によりて同一の状態(即ち同一の水準、溫度、或は電位)となる、(2)測器の容量は測らるべき物體の容量に比して極めて小なるものとす、例へば寒暖計の熱容量は槽中の水の熱容量に比して極めて小なるものとせざるべからず、若し然らずして寒暖計の熱容量が比較的大なるときは水の有する熱の多量が寒暖計に移るがため水の溫度は大に下降するの恐あり、同様に驗電器の電氣容量は導體の容量に比して極めて小なるものとす然るときは導體の電氣は多少金箔に移るも導體の有する電氣量には増減なきものと見做すことを得若し然らずして驗電器の容量が比較的大なるときは導體は電氣を失ふこと多くして爲めに驗電器を連絡せざる以前と連絡したる後とは其電位に變化を來すの不都合を生ず。

總て電位を測る器械を「電氣計」Electrometer といふ、驗電器は一の簡單なる電氣計なり。

232. 蓄電器 Condenser.

一の水槽甲に水を入れ之を他の水槽乙に連絡して連

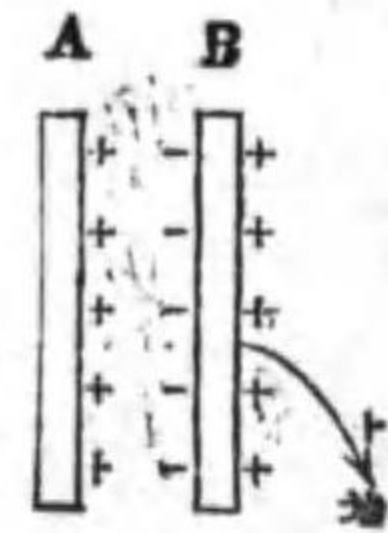
通器の形と爲すきは甲内の水の一部は乙内に流入し甲乙兩水槽内の水位同一となるに至りて水の流動止む、此場合に乙内に流入する水の量は固より乙の容量如何によりて差異ありて乙の容量大なれば従つて流入する水の量多し。又一物體甲を高温度に熱し之を他物體乙に接觸せしむるときは、熱の或量は甲より乙に移動し、甲乙兩體の温度同一となるに至り熱の移動止む、而して乙の熱容量大なる程乙に移動する熱量多し。同様に電氣の場合に於ても亦

一の帶電導體甲を他の導體乙と連絡するときは甲の電氣の一部は乙に流動して甲乙兩體の電位同一となりて電氣の流動止む、而して乙に流動する電氣量は乙の電氣容量如何によりて差異あり、乙の容量大なる程乙に流動する電氣量多し。

容量大なるときは其電位を昇すに多量の電氣量を要す故に乙體の容量大なれば甲體より多量の電氣之に流動して後初めて甲乙の電位は同一となるなり。故に容量大なる導體は多量の電氣を受取るに適す、地球の容量は既説の如く極めて大なるを以て殆ど限り無く多量の電氣を受取ることを得、是れ總ての帶電體は之を地球に連絡するときは、其電氣は常に地球に流動する所以なり。

蓄電器は上記の理により容量を大にして多量の電氣

を聚積するに用ふる装置なり。今一の導體 A に陽電氣を與へて之を或電位と爲し、電氣を帶びざる導體 B を之に近づくるときは A の電位は降るを見る、次に B を地球に連絡して之を零電位と爲すときは A の電位は更に降る、若し B を一層 A に接近せし



(370)

むるときは A の電位は益、降るを見るべし (A の電位の昇降は A に金箔驗電器を連絡し其金箔の開きの度によりて知ることを得るなり)。之に依りて見れば A が單獨に在るときと其附近に地球に連絡せられたる他の導體あるときは縦令 A に同一電氣量を與ふるも其電位は同一ならず、即ち A, B 兩體が上記の如き一組を爲すときは A の電位は昇ること少なく従つて其電氣容量は A が單獨に在るときよりも大なり。實驗によるにかゝる一組を爲すときの A の容量は

1. 兩體の相對する面の面積に正比例し、
2. 兩體間の距離に逆比例し、
3. 兩體の品質には無關係にして(但し導體なるを要す)
4. 兩體間に在る絶縁體の種類に關す。

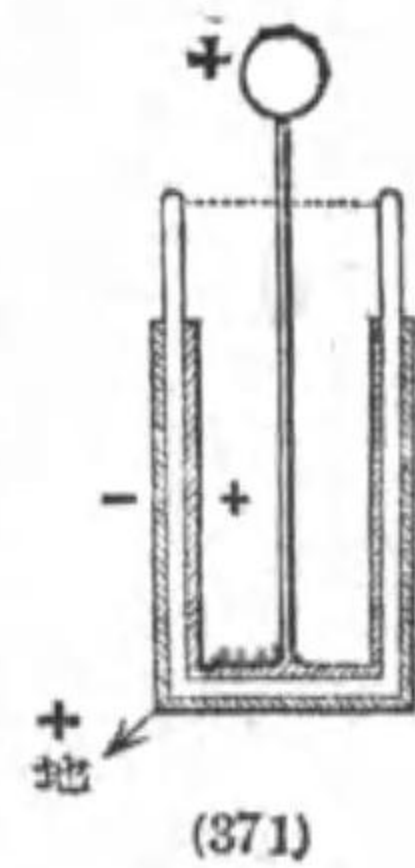
かく電氣容量が中間に在る絶縁體の種類に關するを以て見れば電氣の現象は單に導體にのみ存するにあらずして導體の周圍に在る絶縁體にも關係あるを知るべし。

兩體間の絶縁體が空氣の時其容量を1とせば石蠟の時は2, 硫黄の時は4, フリント硝子のときは7なり、此等の數を其物質の感應率と云ふ。

蓄電器は上記の理により廣き二枚の金屬板を相對せしめたるものより成り、通常其間を感應率大なる絶縁體を以て隔つ。二枚の金屬板の内地球に連絡せざる板の容量を以て蓄電器の容量と名づく。次に蓄電器の二三の種類を述べし。

1. ライデン瓶 Leyden jar. 硝子瓶の内外兩面に錫箔を

貼りたるものなり、口栓に挿せる金屬棒の下端には鎖を吊して内面の錫箔に連絡す、外面の錫箔を地に絡ぎながら金屬棒の上端より電氣を與ふるときは電氣は内面の錫箔に移りて蓄電せらる。ライデン瓶の電氣を放電せしめんには放電叉を用ふ、放電叉は絶縁體の柄に叉狀を爲せる金屬棒を附せるものに

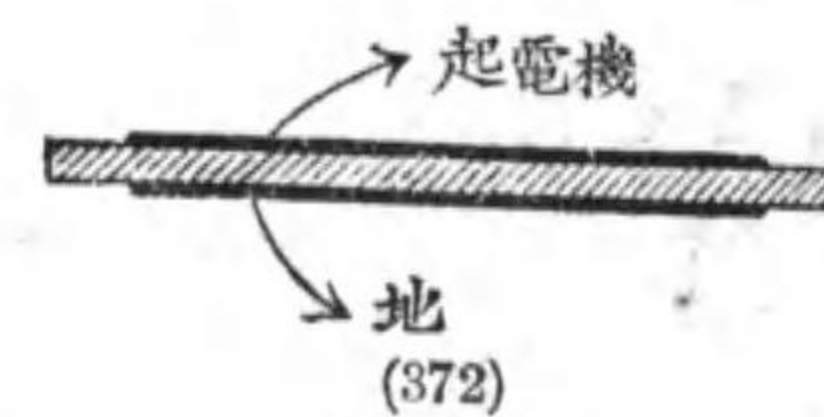


して、其一端を外箔に觸れしめ他端を瓶の口栓に挿せる金屬棒に觸れしむるときは内外の錫箔に宿れる異種の電氣は放電叉を通りて中和するなり。

此蓄電器は偶然の事實によりて發見せられたるものなり。和蘭のライデン府に於て一學者(Cunneus 1746年)が水に授電せんと欲し水を充たせる瓶を一の手にて持ち起電機より針金を以て電氣を水中に導きたる後、他の手を以て針金を除かんとせしに激烈なる電撃を感じたり、是れ實に瓶内の水

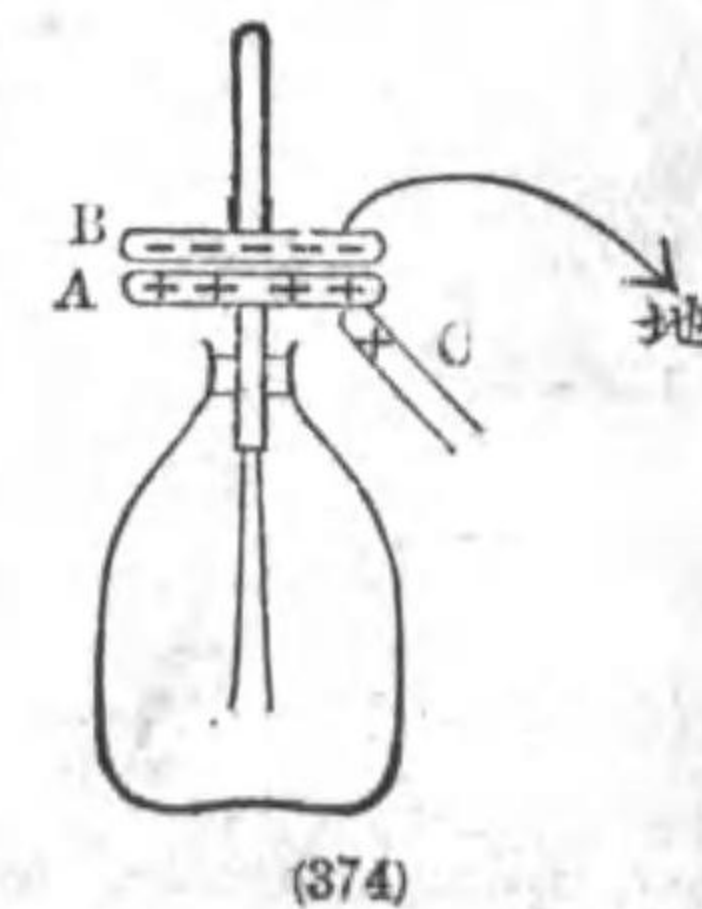
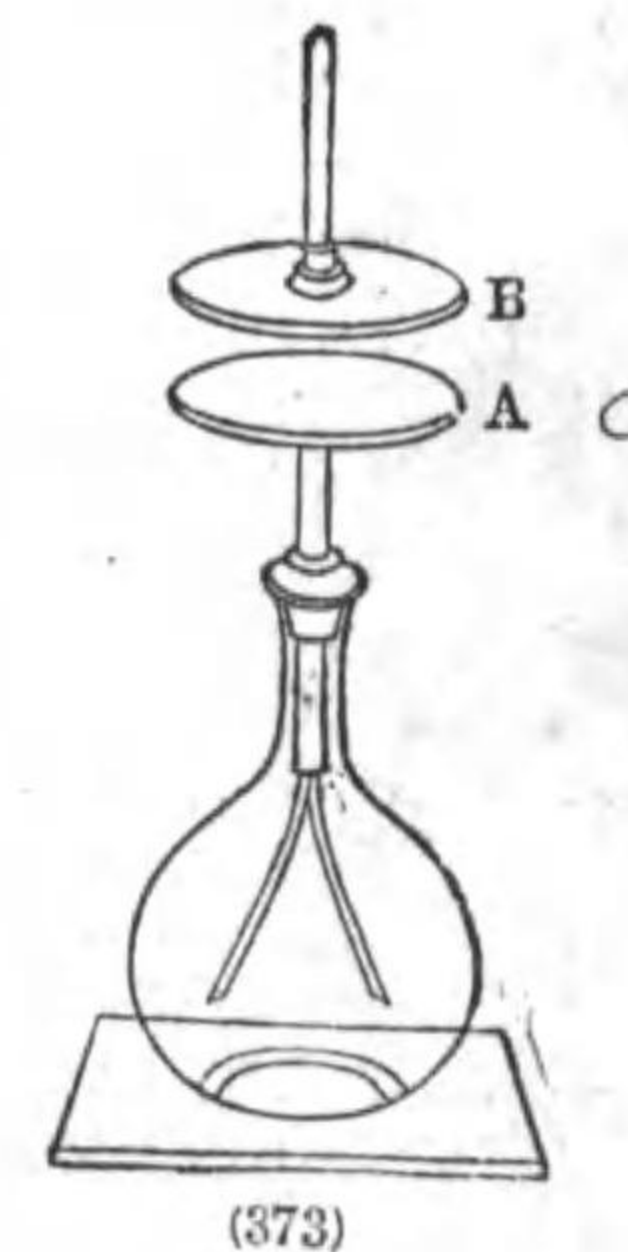
と瓶を保持せる手とは内外の錫箔の役目を爲すものにして他の手を以て針金に觸れたるは放電叉を以て内外の錫箔を連絡したることに當るなり。上の事實によりて所謂ライデン瓶なるものが製作せられたるなり。

2. 石蠟蓄電器。二枚の錫箔の間に石蠟を含みたる紙を置ける蓄電器なり、通常數板の錫箔及び紙を交互に重ね一つ置き



の錫箔を連絡して二組となし其一を地に連絡し一を起電機に連絡す、此蓄電器は主に感應電流器に用ひらる。

3. 蓄積驗電器。普通の驗電器の金屬棒の上端にニスを塗りたる金屬板Aを附したるものなり、別に硝子の柄を有する金屬板Bあり之をAの上に載ずるときは兩金屬板と中間のニスの薄層とは一の蓄電器を作る。今A板に帶電體Cを觸るゝときはAはCと同電位となる、此時BをAの上に載せ手をBに觸れて地と連絡するときはAの電位は常にCの電位と等しくして變ぜざれども其容量増すが故に前よりも多量の電氣集まるべし、若しCの電氣量極めて小なるときはAに



接続せる金箔は殆ど開かざるべし、然るに C を A より離し B を A より遠ざくるときは、遠ざくるに従ひ蓄電器の容量は減じ其電位は昇りて金箔は開くに至るべし、かくして此驗電器にて極めて少量の電氣の存在をも驗することを得。

233. 電氣のエネルギー

或質量の物體を重力に抗して或高さに揚ぐるときは此物體は位置のエネルギーを得、落下の際種々の仕事を爲すことを得。之と同様に導體に電氣を與へて之を或電位に昇すときは導體はエネルギーを得、放電の際音光熱を發し或は其他種々の仕事を爲すことを得。

今側壁の鉛直なる水槽ありて其水位を h とし之に m なる水量を注入するときは此水槽中の水のエネルギーは mh (重力單位) だけ増加す、但し m なる水量を増せるも水槽の水位は殆ど變化なきものとす、若し初の水槽の水位が零なりとし m なる水を注入せる爲め水位が h だけ昇りたりとせば全部の水量 m は恰も平均の高さ $\frac{1}{2}h$ だけ昇りたると等しきが故に此水槽の得たるエネルギーは $\frac{1}{2}mh$ なり。

同様に電位 V なる導體に Q なる電氣量を與ふるときは其エネルギーは QV だけ増加するものなり(但し Q なる電氣を得たる爲め此導體の電位は變化することなし

とす) 若し Q なる電氣を與へたる爲め導體の電位が零より V まで昇りたりとせば此導體の得たるエネルギーは $\frac{1}{2}QV$ なり。

234. 電場 Electric field.

是迄吾人は重に比喻によりて電位の説明を爲せり、次に稍々數學的に之を論ぜんとす。

電場 一の帶電體甲の近傍に他の帶電體乙を持來すときは甲は乙を吸引或は反撥すべし、即ち甲は乙に或力を働かすべし、此力の及ぶ場處を電力の場或は電場と云ふ。

今 $+Q$ なる電氣を帶べる質點甲より r の距離に於ける一點 A に $+1$ の電氣を帶べる質點乙を持來すときはクーロンの法則によりて此二つの質點間には $\frac{Q}{r^2}$ なる斥力が作用すべし、此力を A 點に於ける電場の強さと稱す。 $r=\infty$ なるときは $\frac{Q}{r^2}=0$ なるを以て甲より無限の遠距離に於ては電場の強さは 0 となる。

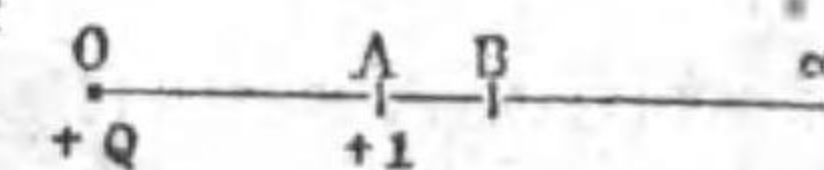
電力線 磁場に於ける磁力線(212節)と同様に電場に於て電力線を引くことを得、電力線とは電場の各點に於て電力の方向を示す線なり。

電位 一の電場内に於て帶電體を動かすときは運動の方向が電力の方向と一致する場合には電力が仕事を爲し、兩方向が反對なるときは電力に抗して仕事が爲さるべし。

定義 $+1$ の電氣を無限の遠距離より電場内の一點 A まで搬ぶとき電力に抗して爲さるべき仕事の量を A 點に於ける電位と名づく。

此電位の定義は前に述べたる「帶電導體の電位」の定義と稍々其趣を異にする如くなれども追つて同一に歸着することを知り得べし。

次に電位の計算を爲すべし。 O 點に $+Q$ を帶電せる質點ありとし $+1$ の電氣を ∞ より A 點 ($OA=r$) まで搬ぶに要する仕事を求めんとす。仕事は力と運搬の道程との相乗積にて測らる、然るに電力の強さは道



程の各點に於て異なるを以て平均の電力を求むることを要す、今道程中に於て A に極めて接近せる點 $B(OB=r)$ を取りて考ふるに A 點に於ける電力の強さは $\frac{Q}{r^2}$ 、 B 點に於ては $\frac{Q}{r_1^2}$ なり、此二點は極めて相近きが故に AB 間には此二力の幾何學的平均の力即ち

$$\sqrt{\frac{Q}{r^2} \times \frac{Q}{r_1^2}} = \frac{Q}{rr_1}$$

なる力が働くものと見做すことを得、 $AB=r_1-r$ なるを以て $+1$ の電氣を B より A まで搬ぶに要する仕事の量は

$$\frac{Q}{rr_1} \times (r_1-r) = \frac{Q}{r} - \frac{Q}{r_1}$$

なり、同様に次の諸式を作ることを得

$$r_2 \text{ より } r_1 \text{ に搬ぶに要する仕事} = \frac{Q}{r_1} - \frac{Q}{r_2}$$

$$r_3 \text{ より } r_2 \text{ に搬ぶに要する仕事} = \frac{Q}{r_2} - \frac{Q}{r_3}$$

$$\dots \text{ より } r_3 \text{ に搬ぶに要する仕事} = \frac{Q}{r_3} - \dots$$

$$\infty \text{ より } \dots \text{ に搬ぶに要する仕事} = \dots - \frac{Q}{\infty}$$

$\frac{Q}{\infty}=0$ なるを以て以上諸式を加ふれば

$$\infty \text{ より } r \text{ に搬ぶに要する仕事} = \frac{Q}{r} - \frac{Q}{\infty} = \frac{Q}{r}$$

是れ即ち A 點に於ける電位の値なり。若し O 點に於て $-Q$ の電氣あるときは A 點に於ける電位は明に $-\frac{Q}{r}$ なり。

等電位面 前圖に於て O 點を中心とし半徑 r の球面を畫くときは此球上の諸點の電位は皆同一にして $\frac{Q}{r}$ なり、依つて此面を等電位面と名づく、同様に半徑 r_1, r_2, \dots の同心球面は孰れも等電位面にして其電位は夫々 $\frac{Q}{r_1}, \frac{Q}{r_2}, \dots$ なり、而して電力は此等の等電位面に直角なる方向に働く、故に電場内に在る陽電氣は等電位面に直角の方向に高電位の場處より低電位の場處に動かさるべし、又電氣を等電位面に沿うて動かすには運動の方向は電力の方向に直角なるを以て仕事を要せざるなり。是等は能く重力と水平との關係に類似す、即ち物體は重力の爲めに水平に直角に(即ち鉛直の方向に)高處より低處に動かさる、又同一水平面上に於て物體を動かすには重力に抗して仕事を爲すことを要せざるなり。重力に関しては物體を一つの水平

より他の水平まで動かすに要する仕事は道程の如何を問はず同一なり、同様に電場に於ても亦一の等電位面より他の等電位面まで動かすに要する仕事は道程に無關係なり。

帶電導體の電位 導體の表面は一の等電位面なり、何となれば若し電位を異にせる部分ありとせば電氣は直に流動して電位を均一にすべきを以てなり。同様に導體内部に於ても亦電位は均一なり。此電位の値を以て導體の電位と爲す、換言すれば

導體の電位とは $+1$ の電氣を無限の遠距離より導體の表面まで運搬するに要する仕事の量なり。

球形導體 重力に関しては一物體の全質量は其重心に集合せるものと見做すを得ると同様に、球形導體の電氣が球面外に及ぼす作用は恰も其有する電氣の全量が球の中心に集合せるものと見做すことを得、故に Q なる電氣量を有する半徑 R の球體(中心を O 點とす)の電位は O 點に於て Q なる電氣量あるとき O 點より R の距離に於ける一點の電位に等し、故に此球の電位は

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

なり。次に此球の容量を C とせば $Q = CV$ なるにより

$$C = R$$

なり即ち球形導體の容量は其半徑に等し。

容量の單位 球形導體の容量は其半徑に等しきが故に C. G. S. 單位を用ふれば半徑 1 種の球形導體の容量は 1 なり、實用上 1 クーロンの電氣を與ふるに電位が 1 ボルト昇る所の導體の容量を單位とし之をファラッド Farad と稱す、 1 ファラッドは 9×10^{11} 理論單位に等し何となれば

$$1 \text{ ファラッド} = \frac{1 \text{ クーロン}}{1 \text{ ボルト}}$$

$$1 \text{ クーロン} = 3 \times 10^9 \text{ 理論單位}$$

$$1 \text{ ボルト} = \frac{1}{300} \text{ 理論單位}$$

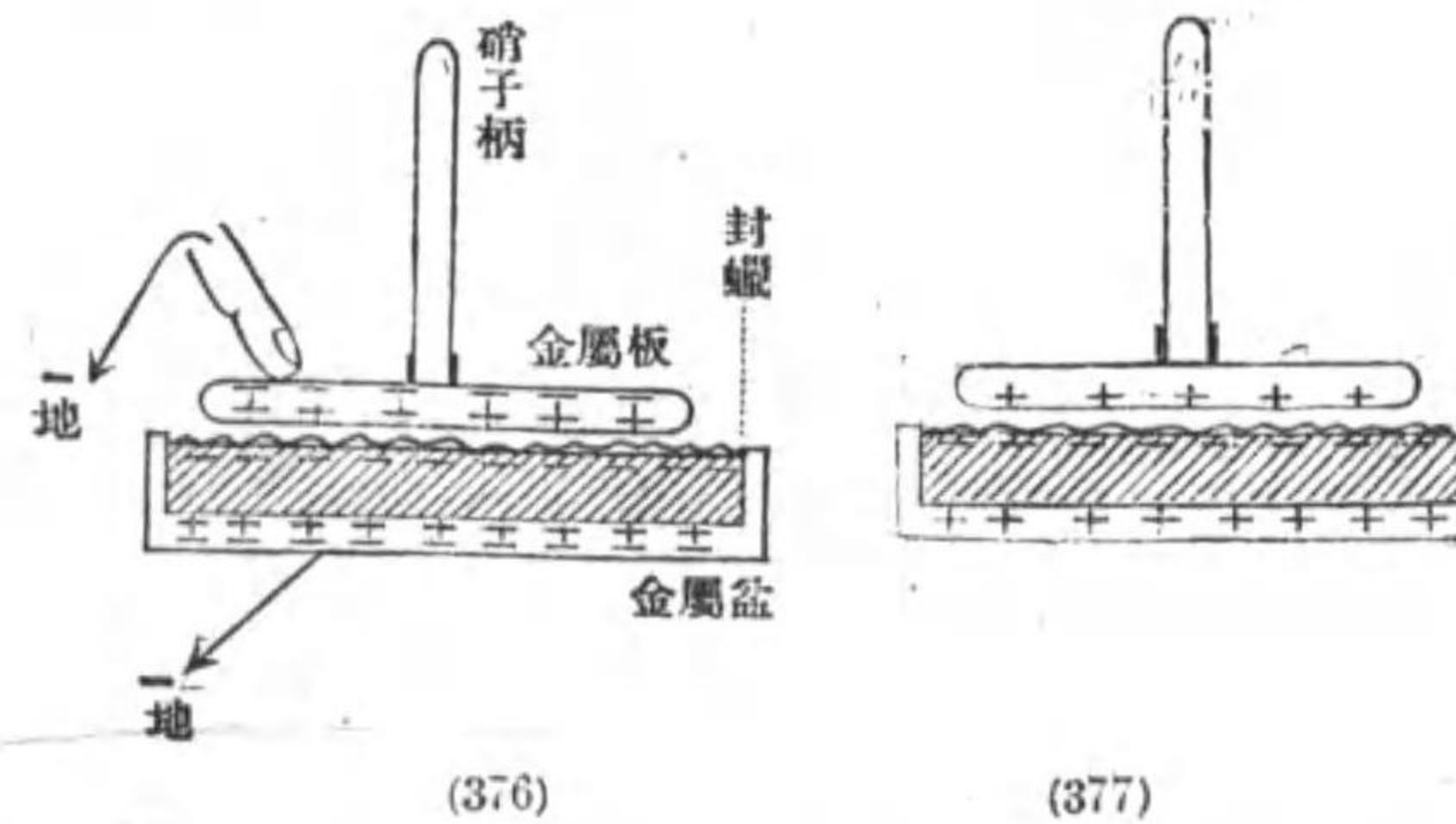
なればなり。地球の半徑は 6.4×10^8 種なるを以て其容量は 6.4×10^8 理論單位にして $\frac{7}{10000}$ ファラッドに當る、かくファラッドなる單位は大に過ぐるを以て通常其百萬分の一を取り之をマイクロファラッド Microfarad と云ふ。

帶電體のエネルギー 帶電體の電位を V とすれば $+1$ の電氣を零電位の點より導體の表面まで運搬するに要する仕事は V にして $+q$ の電氣を運搬する仕事は qV にして、従つて此導體のエネルギーの増加は qV なり、然るに導體は電氣を得るに従ひ其電位を變ずるを以て仕事を計算するに當りては電位は平均の値を取るを要す、此値は電氣を與ふる前の値と電氣を與へ終りたる後の値との算術平均を取りて可なり、今或導體に $+Q$ の電氣を與へたる爲め其電位が 0 より V に昇りたりとせば平均の電位は $\frac{1}{2}(0+V)=\frac{1}{2}V$ なり、故に此導體に加へられたる仕事即ち其エネルギーは $\frac{1}{2}QV$ なり。

第三章 電 氣 器 械

235. 電氣盆 Electrophorus.

電氣盆は金屬製の盆に樹脂を充たしたるものと絶縁體の柄を有する金屬板とより成る。電氣を起す法は次の順序による、



1. 樹脂面を毛布にて數回摩擦或は打撃す、然るときは樹脂面に陰電氣起り、金屬盆は感應によりて内面には陽電氣、外面には陰電氣生ず、其陰電氣は地球に遁れ去り陽電氣は樹脂の陰電氣を束縛して其が塵埃等のために荷ひ去らるゝことを防ぐ、
2. 金屬板を絶縁體の柄を持ちて樹脂に近づくとときは感應によりて板の下面に+上面に-を生ず、
3. 手を金屬板に觸るゝときは-は地球に遁れ去り+のみ束縛帶電として下面に残る、

4. 金屬板を樹脂より遠ざくるときは+は板の全面に擴がる、

実際には(2)の場合に金屬板を樹脂の上に載す、樹脂面には凹凸あるを以て樹脂と金屬板とは唯二三點に於て相接觸するのみ故にかくすれば接觸によりて電氣量の幾分を失ふの不利益あるも樹脂と金屬板との接近によりて感應作用を増す利益大なりとす。樹脂面の電氣は直に之を用ふるにあらずして金屬板に感應を起さしむる役目を爲すものなれば一回發電せしむるときは數回之を使用することを得。電氣盆を用ふれば電氣を無代價にて得る如く見ゆれども實は然らずしてエネルギーの供給を要すること勿論なり、若し金屬板が帶電せざるときは之を引き上げるには重力に抗せる仕事だけを爲せば可なれども、若し金屬板が帶電せるときは金屬板の陽電氣と樹脂の陰電氣との吸引力に抗しても亦仕事が爲されざるべからず、此餘分の仕事が即ち電氣的エネルギーに變態するなり。

問 金屬板を盆上に置いて之に指頭を觸れて地球に連絡するも金屬板の陽電氣は地球に逃げず、されど金屬板を盆より引き上げて後之に指頭を觸るれば其電氣は直に地球に通る、は何故なるか。

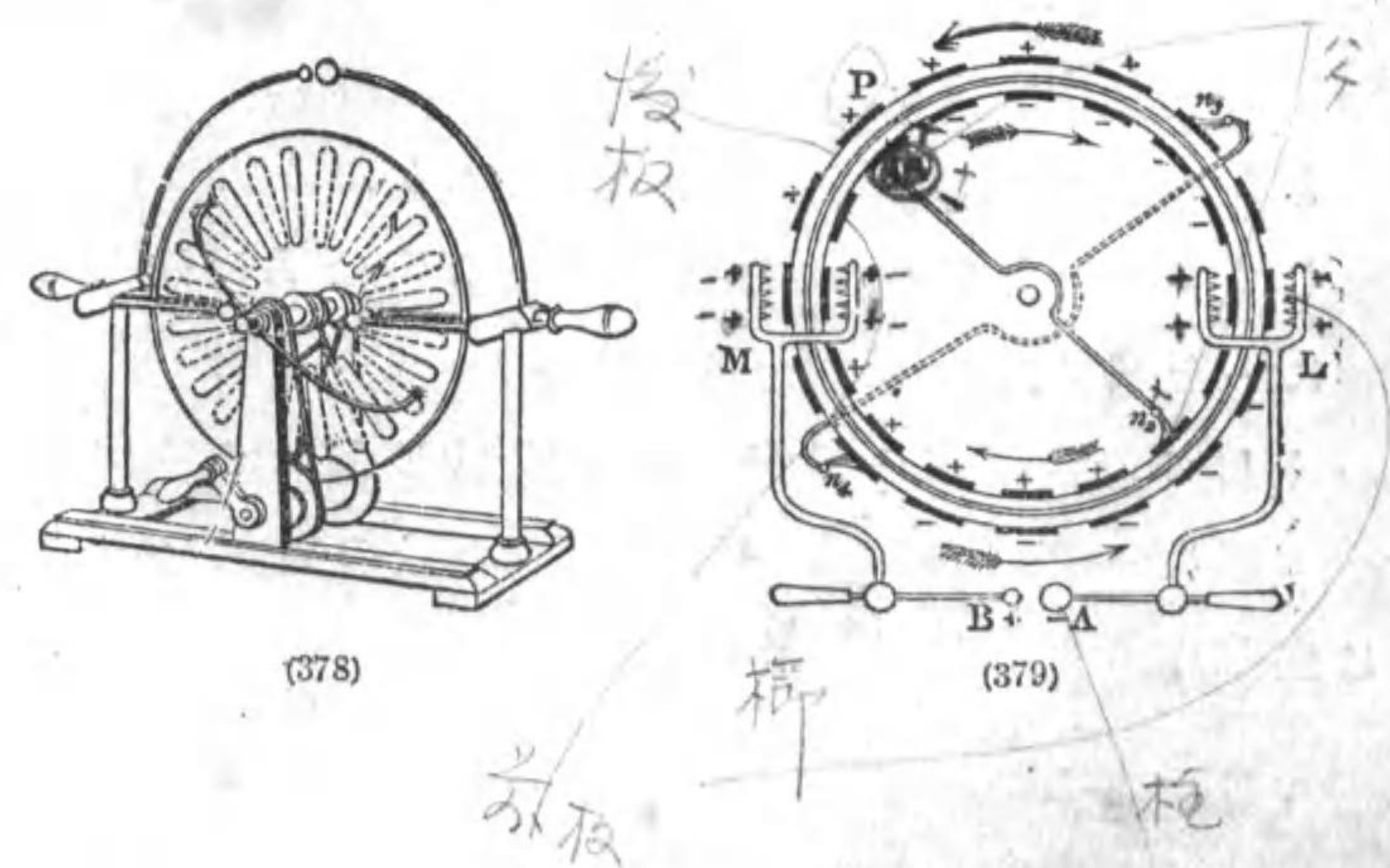
註 樹脂と金屬板とが二三點に於て接觸するに當り全部の電氣の中和せざるは樹脂が不導體なるがためにして接觸部に於ける電氣は中和するも他の部分に於ける電氣は依然其まゝに存在するなり。

236. ウィムシャーストの起電機

Wimshurst's electric machine.

此起電機の構造は次の如し

1. 二枚の平行せる硝子圓板は中心を軸として互に反對の向きに廻轉す、
2. 兩硝子板の外面には十數枚の扇形錫箔が等距離に貼付けらる、
3. 硝子板の中心を過ぎりて水平に對し互に反對に 45° 許の傾きを爲す二本の金屬棒あり其先端には金屬の刷毛ありて軽く硝子板面を壓す、
4. 左右兩側に於て數多の尖端を有する金屬あり尖端は前後の硝子板に向ふ、此金屬を櫛と稱す、
5. 櫛より長き金屬棒を出し其端に金屬の小球を附す之を起電機の兩極といふ。



此機械の作用を説明せんには379圖の如き錐形を用ふるを便とす、圖に於ては前後兩硝子板を表はすに内外二圓を以てし内圓を前面外圓を後面の硝子とす。

1. 始め刷毛 n_1 は對する後板の錫箔 P に少量の+電氣ありとす、然るときは感應によりて n_1 は-を帶び n_2 は+を帶ぶ、
2. 假りに後板は靜止し前板のみ矢の方向に動くものとすれば n_1 に觸れたる錫箔は-を得て右に廻はり n_2 に觸れたる錫箔は+を得て左に廻はる、
3. -を帶びたる箔が齒 M に近づくときは感應によりて齒の齒は+、 A 極は-を帶ぶ、尖端の作用によりて箔の-と齒の+とは中和す(即ち尖點の吸電作用)、 n_2 に觸れたる+の箔は同様に齒 M に達して齒の-と中和し B 極に+を與ふ、
4. 後板も廻轉するものとすれば前板の-を帶びたる箔が L に達する前に後板の刷毛 n_3 に對する所に來るとき n_3 に+、 n_4 に-を生ず、 n_3 を過ぎりたる箔は M に達して B に+を與へ、 n_4 を過ぎりたる箔は L に達して A に-を與ふ、

かくして前後兩板の錫箔は互に感應し合ひて各、 A 極に-、 B 極に+を與ふ。初め錫箔 P が少量の電氣を帶ぶるは空氣中の電氣に基づく。

齒の齒が錫箔の電氣を吸電するは齒の電位が箔の電位よりも低き間に限る、故に齒に連絡する導體に蓄電器を附して其容量を大にす、若し充分蓄電して其電位が錫箔の電位と同一となるときは以後硝子板を廻轉するも蓄電器の電氣量を増すことなし。電氣を起すに當りエネルギーの供給を要することは電氣盆の場合と同一なり、即ち前後兩板の錫箔に起れる異種の電氣は互に吸引するを以て此電氣力に抗して硝子板を廻轉する所の仕事を爲すを要す、此仕事が電氣のエネルギーに變態するなり、故に若し器械の工合悪くして電氣起らざるときは電氣力に抗して仕事を爲すを要せざるを以て器械は極めて軽く廻りて所謂空廻(カラマワリ)を爲すべし。

237. 放電 Discharge, 電光 Lightning.

起電機の兩極の電位差が充分大となるときは陰陽電氣は中間の空氣を押し破りて放電す、此際火花と音とを發す、放電の路に當れる空氣は非常の高溫度に熱せらるるものにして分光器を以て驗するに放電に伴ふ火花は此熱せられたる空氣及び兩極を作る金屬の蒸氣の發する光なるを知る、又放電に伴ふ音は熱せられたる空氣が急激に膨脹するによりて起る爆鳴なり。兩極の電位差大にして兩極の間隔小なるときは火花は直線狀を取る然らざるときは火花は彎曲し且つ岐路を有す、蓋し電氣

は空氣中の塵埃を傳はりて中和せんとするを以てなり。若し極に尖點を附して放電せしむるときは陽電氣ならば尖點より刷毛狀の光を發し、陰電氣の放電に當りては尖點に光點を生ず、是等の現象は暗室中に於て起電機を廻轉するとき其櫛の齒に於て認むるを得べし。

兩極の電位差大なる程長き火花を得るものにして、通常の起電機にありては長さ1厘の火花を生ずる場合には兩極の電位差約數萬ボルトを算す。

電光は電氣を帶べる雲と雲との間の放電に際して起る火花にして、雷鳴は即ち放電に伴ふ音なり、若し電氣を帶べる雲が地面に近づくときは地面に生ぜる感應電氣は雲の電氣を中和して所謂落雷の現象を生ず。雷が放電の現象なることはフランクリン(1752年)が紙鳶の實驗によりて確めたる事實にして、氏は雷雨の際紙鳶を高く空中に飛揚せしめて雲の電氣を地上に導くを得たり。避雷柱も亦フランクリンの考案に成るものにして、尖點を有する金屬棒を屋上に建て、太き銅線にて之を地中に連絡す、尖點は放電の際融解せざる爲め及び風雨の爲め腐蝕せざる爲め、金或は白金を用ふ、避雷柱の作用は尖點の吸電作用によりて雲の電氣を漸次地球に放電せしめ、以て激烈なる一時の放電を避くるにあり。

第一、二、三章の復習

重要なる事項

帶電、導體、不導體、陽電氣、陰電氣、電氣量

クローンの法則、電氣の配布、電氣感應、尖點の作用

電位、電氣容量

驗電器、蓄電器

電氣盆、ワイムシャルストの起電機

重要なる公式

クローンの法則 $f = \frac{QQ'}{r^2}$

電位、容量、電氣量の關係 $Q = VC$, $C = \frac{Q}{V}$, $V = \frac{Q}{C}$

問題

- (1) 帶電體が輕體を吸引する所以を感應作用によりて説明せよ。
- (2) 電氣器械に於ては表面を滑かにし、且つ成るべく角殺らざる様に製るは何の爲めなるか。
- (3) 絶縁不完全なる金箔驗電器に帶電體を近づくときは、實際金箔は開けども暫時にして閉づ、次に帶電體を遠ざくるときは金箔は又一時開きて後閉づ、其理を説明せよ。
初め金箔の閉づるは金箔に誘起せる電氣が絶縁不完全なる爲め地球に通れ去るによる、次に帶電體を遠ざくるときは金箔の開くは上部に束縛せられたる感應電氣が一時金箔に接がるに依る。
- (4) 容量大なる導體は多量の電氣を聚積するに適するは何故なるか。
- (5) 硝子を絶縁體として用ふるときは空氣を特に充分乾燥するを要するは何故なるか。

解 硝子は多少潮解性を有するを以てなり。

第四章 電 流

238. 電 流 Electric current.

電位を異にせる二個の導體を針金にて連絡するときは陽電氣は針金を傳はりて高電位體より低電位體に移り陰電氣は反對の向きに移動す此事を「電流が針金を傳はりて流ると云ふ、電流を流すに用ひたる針金を導線と云ふ。電流の流るゝことは兩導體の電位に高低の差ある間に限るものにして、通常二個の帶電體を導線にて連絡するときは兩體の電位は一瞬時の後同一となるが故に電流は極めて短時間持續するに過ぎず、然れども若し適當の装置を用ひて兩體の電位をして常に或差を保たしむる様に爲すときは電流は引き續き導線を流れ従つて電流の効果を研究するに便なり、引き續き電流を流さしむべき装置を「電源」と云ふ。

「電流が導線を傳はりて流る」と云ふ語は電氣を一種の流體なりと假想して云へる所の便宜上の述べ方にして決して電氣と稱する物質が導線を傳はり行くにあらず、導線を傳はり行くものは即ち電氣のエネルギーなり、故に電流を引き續き流さしめんには電氣のエネルギーを絶えず供給するを要す、電源とは電氣エネルギーの供給者にして他の種々のエネルギーを電氣エネルギーに變

態せしむる装置なり。次に電源の種類を擧ぐ。

1. 電池 化學的エネルギーを利用す
 2. 熱電堆 熱のエネルギーを利用す
 3. 磁生電流器
 4. ダイナモ
- } 器械的及び磁氣のエネルギーを利用す。

電流が導線を流るゝときは次の効果を生ず。

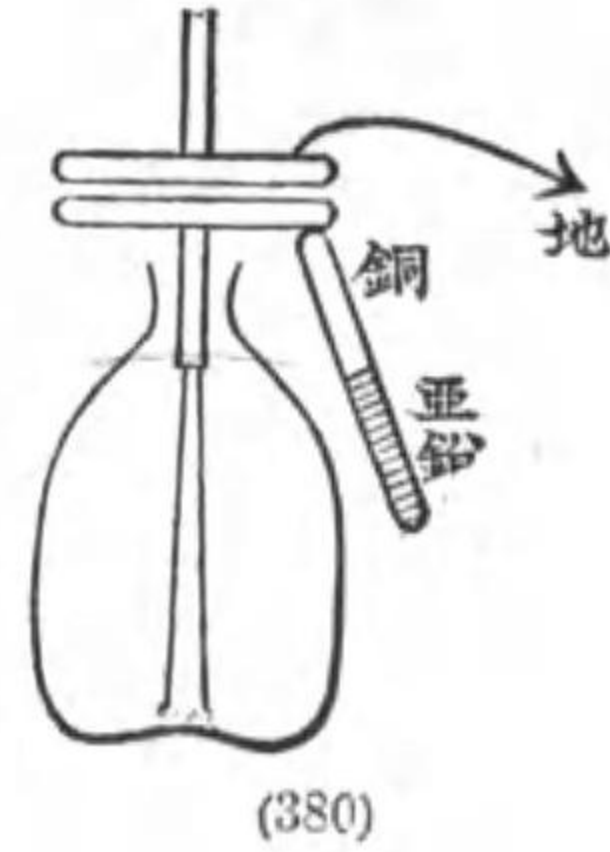
1. 熱作用 電流を通ぜる導線は熱せらる
 2. 光作用 熱激しきときは光を發す
 3. 磁氣作用 電流を通ぜる導線の周圍は磁場となる
 4. 器械的作用 電流を通せる導線は互に吸引反撥す
 5. 化學的作用 電解質に電流を通すれば分解を起す。
- 此等は孰れも電流のエネルギーが熱、光等の他の種のエネルギーに變態する現象なり、而して吾人は此等の作用を利用して導線に電流が通ぜるや否やを知り又は其強弱を比較するなり。

239. 接觸電氣 Contact electricity.

異質の二個の導體を接觸せしむるときは導體の一方は陽電氣を帶び他方は陰電氣を帶びて兩體の電位に差異を生ず之を接觸電氣の現象といふ。實驗によるに兩體の電位の差は二種の導體に付ては一定にして兩者の形狀、大さ、接觸面の廣狹に關せず。前に二個の導體を連絡

するとき兩者の電位は同一となるといひしは各導體が總て同一の物質より成るときに限るものにして若し異なる物質より成るときは其等の物體の品質に従ひ一定の電位の差常に存在するものなり。接觸電氣によりて起る電位の差は極めて僅小なるものなれば之を驗するには蓄積驗電器を用ふるを宜しとす。其法は

1. 驗電器の金屬板を銅にて作り、
2. 銅と亞鉛とを接觸せしめたる棒を作り、
3. 亞鉛を手に持ち其電位を零となし銅を驗電器の下板に接す、
4. 上板を手にて觸れ、
5. 銅亞鉛棒を下板より離して後上板を遠ざく、然るときは箔は開くべし之を驗するに陰電氣なり、之によつて銅と亞鉛との接觸によりて亞鉛は高電位銅は低電位となれることを知る。



(380)

次の表はボルタの接觸電氣列と稱するものにして表中二個の金屬を取りて相接觸せしむれば左方に在る者は陽電氣を得て高電位となり右方に在るものは陰電氣を得て低電位となる。

+ 亞鉛、鉛、錫、鐵、銅、銀、金、白金、石墨 -

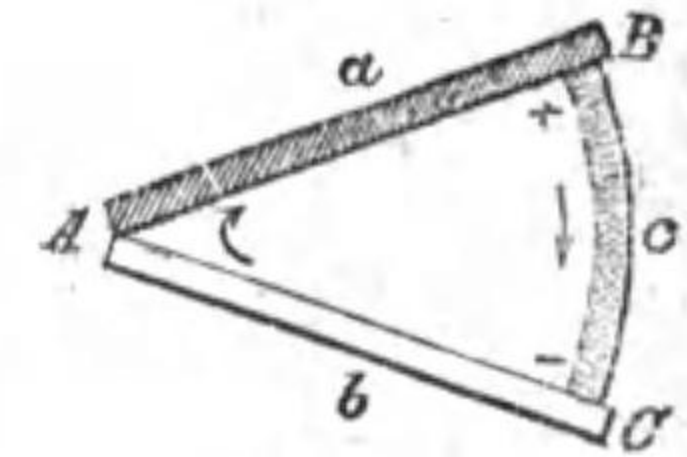
例へば亞鉛と銅とを接觸せしむれば亞鉛は高電位、銅は低電位となる。

次に數個の金屬例へば a, b, c を次圖の如く順次に連絡して一の輪道を作るに各金屬の間に電位の差を生ず

ること勿論なりと雖も電流の流ることなし是によりて a, b 間の電位差と b, c 間の電位差との和は丁度 a, c 間の電位差に等しきを知る、即ち

$$(a,b) + (b,c) = (a,c)$$

但し (a,b) は二金屬 a, b 間の電位差を表はす。

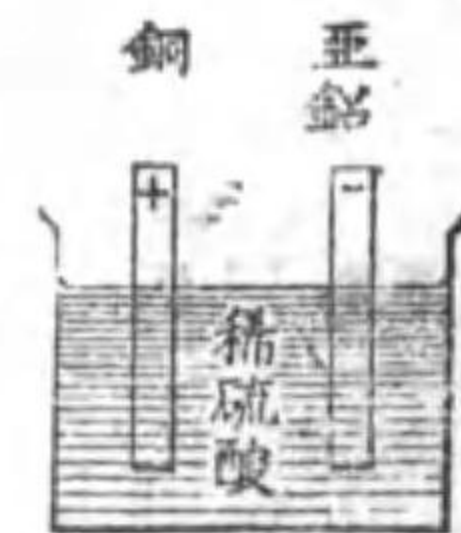


(381)

若し金屬を酸類若くば鹽類等の液體に接觸せしむるときは金屬のみの接觸とは大に其模様を異にし其電位差は可なり大にして且つ上圖の如く二個の金屬 a, b と一個の液體 c とにて輪道を作るときは $(a,b) + (b,c) = (a,c)$ の如き電位の平衡の關係は成立せず従つて電流は輪道中を循環して此電位の不平衡を正さんと勉め之と同時に液中に化學變化を生ず此裝置は即ち電池なり。

240. 電池 Electric cell.

最も簡單なる電池は硝子又は磁器の容器に稀硫酸を盛り其内に銅板及び亞鉛板を對立せしめたるものなり。然るときは銅は陽電氣、亞鉛は陰電氣を帶び兩者の電位の差約1ボルトとなる、銅板及び亞鉛板を電池の極と云ひ其電位の高き方即ち銅板を陽極 Positive pole と云ひ、電位の低き方即ち亞鉛板を陰極 Negative pole



(382)

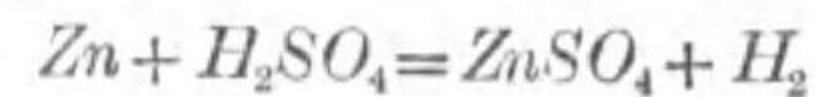
と云ふ。此電池をボルタの電池と稱す。

兩極の電位差に關しては次の法則あり。

法則 兩極の電位差は銅稀硫酸亞鉛の品質によりて一定し、接觸面の廣狹に關せず。

此一定の電位差を電池の動電力 Electromotive force 若くは電動力又は起電力と云ふ。

兩極を導線にて連絡するときは陽電氣は導線を沿うて陽極より陰極に向つて流れ、陰電氣は反對の方向に流れて兩極の電位を同一ならしめんとす、然れども之と同時に電池内に化學變化起りて兩極の電位の同一となるを防ぐ(但し兩極の電位差は連絡前に比すれば減少す。第六章參照)。化學變化は次の如し



即ち亞鉛と硫酸と作用して硫酸亞鉛を作り銅板面より水素瓦斯を發生す。

陽電氣の流るゝ方向と陰電氣の流るゝ方向とは正反對なるを以て便宜上陽電氣の流るゝ方向を以て「電流の方向」と名づく、故に電流は電池外にありては導線を傳はりて陽極より陰極に向つて流る、而して電池内にありては液を傳はりて陰極より陽極に向つて流るゝものなり(即ち陽電氣は亞鉛より銅に移り陰電氣は銅より亞鉛に移る)故に電池の内外を併せ考ふれば電流は陽極、導線、陰極、液を経て再び陽極に復し一廻りを爲す此の如く一

廻りを爲して電流の流るゝ道を「輪道」又は「電路」Circuit と云ふ、電池の兩極を連絡することを「輪道を閉づ」と云ひ、兩極の連絡を切ることを「輪道を開く」と云ふ。

註 電池内に於て陽電氣が低電位なる亞鉛板より高電位なる銅板に向つて流るゝは不合理の如くなれども、實は電池の液即ち稀硫酸の亞鉛に接觸する部分は高電位となり銅と接觸する部分は低電位となるが爲め陽電氣が亞鉛と接觸する部分より銅に接觸する部分に向つて流るゝなり。

241. 電流の強さ Intensity of current.

輪道を沿うて $-e$ なる陰電氣が一方の方向に流るゝことは $+e$ なる陽電氣が反對の方向に流るゝことと全く同一なり、故に電流學に於ては混雜を避くる爲め互に反對の方向に流るゝ陰陽電氣の和に等しき電氣量 Q が陽電氣の流るゝ方向即ち電流の方向に流るゝものとして論ず、固より Q の一部は電流の方向に流るゝ陽電氣にして一部は反方向に流るゝ陰電氣なれども、其幾何部分が陽電氣にして幾部分が陰電氣なるかは之を區別することを要せず又實際之を區別すること能はざるなり。

定義 輪道中に一の斷面を想像し此斷面を通りて單位時間に流るゝ電氣量を電流の強さと稱す。

單位 1 秒間に 1 クーロンの電氣量が流るゝときの電流の強さを單位とし之を 1 アンペア Ampère の電流と稱す。

故に t 秒間に Q クーロンの電氣量が流るゝときは電流の強さ i アンペアは次式にて與へらる。

$$i = \frac{Q}{t}$$

電流の強さは始め輪道を閉づるときは各部に於て多少異なれども暫時にして各部皆同一となる、此時の電流を一樣なる電流 Stationary current と云ふ。

242. 電池の衰弱

電池の兩極の電位差の一定なることは電池を構成する各物質の品質の變化せざる間に限るものにして若し兩極を連絡するときには化學變化によりて漸次其品質を變じ動電力は減少して電流は次第に微弱となるものなり、電池衰弱の原因として次の三項あり。

1. 液の變質。化學變化の爲め硫酸は漸次硫酸亞鉛となる硫酸亞鉛が濃厚となるに従ひ動電力は減少す。故に電池の液は時々之を新にするを要す。
2. 局部電流。純粹なる亞鉛は單獨に硫酸と作用することなしと雖も普通の亞鉛は硫酸と作用す、其所以は例へば亞鉛に鐵が雜ざるものとすれば (383 圖) 亞鉛、鐵及び硫酸は一の閉輪道を作るが故に其部分に於て電流が流れて硫酸亞鉛及び水素を發生す、かゝる電流を局部電流といふ、普通の亞鉛は不純にして多くは鐵を雜ゆるが故に之を電



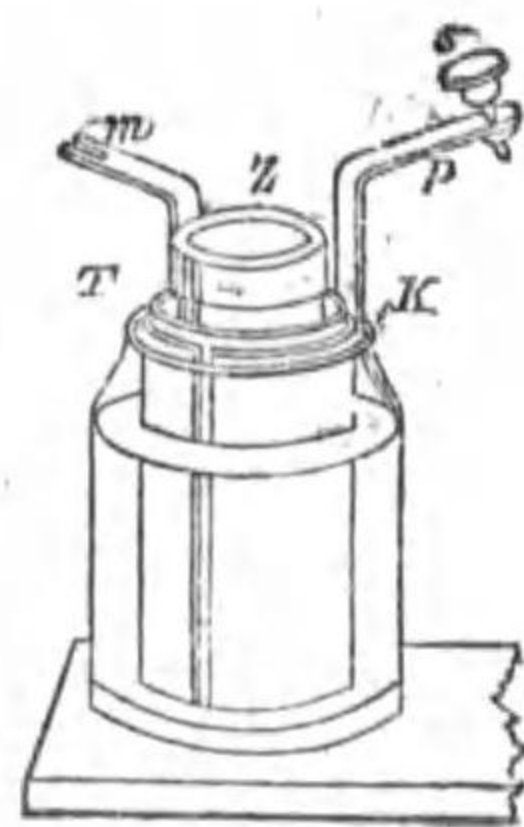
(383)

池の陰極と爲すときは輪道を閉ぢざる時と雖も局部電流の爲めに亞鉛は無益に消耗せられ、又輪道を閉ぢて電流を流れしむるときは水素が亞鉛板面よりも發して電流の流れを妨ぐるの害あり。局部電流の生ずるを防ぐには純粹なる亞鉛を用ふるにあり、されど純粹なるものは得難きにより通常亞鉛の表面に水銀を塗りにて用ふ、之を亞鉛の水銀漬といふ、亞鉛と水銀とはアマルガムを作りて鐵を分離す、鐵は水銀に溶解せざるが故に表面に出でて硫酸鐵となりて溶解す、水銀は硫酸と作用せざるが故に水銀の存在は電池の動電力に影響を及ぼすことなし。

3. 分極作用。輪道を閉づるとき銅板面より發生したる水素の一部は銅板に附着す、之がため電流の流通を害するのみならず電池の作用に反對して電流を逆に流さんと勉むる所の反方向の動電力を生ずるものなり、此現象を電池の分極 Polarization といふ、分極作用に付ては後に述ふる所あるべし。此故に輪道を閉ぢて暫時にして電流衰弱す、此害を徐かんには電池の液を攪拌して水素の銅板に附着するを防ぐか或は他の液を用ひて發生したる水素と結合せしむべし、此液を電池の防衰劑 Depolariser といふ、防衰劑を用ひたる電池は電流の衰弱すること緩慢なるを以て之を不變電池と稱す。

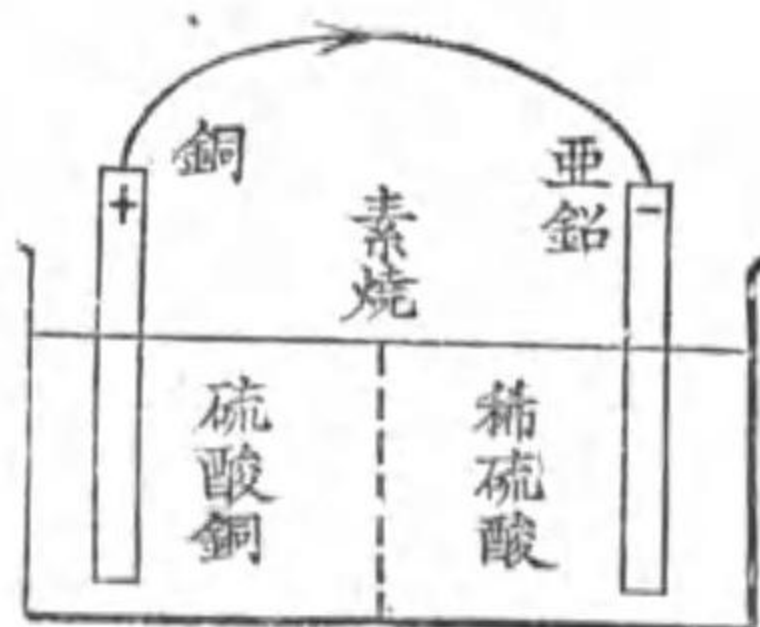
243. 不變電池 Constant cell.

1. ダニエルの電池 Daniell's cell. 防衰劑として硫酸銅を用ふ、硝子又は陶器製の圓筒の内に素焼の土器を入れて内外に區分す、土器内に稀硫酸と亞鉛棒 (Z)、土器外には硫酸銅の濃溶液と銅板 (K) とを入る、銅板は陽極、亞鉛板は陰極にして動電力は 1.07 ボルトあり。



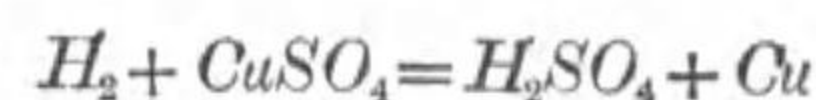
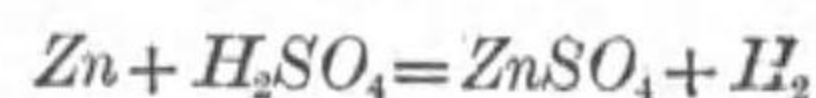
(384)

輪道を閉づるときは硫酸と亞鉛との作用によりて硫酸亞鉛及び水素を生ず、稀硫酸と硫酸銅とは土器の壁中に於て相接觸するが故に發生したる水素は硫酸銅に



(385)

作用して硫酸及び銅を生ず、硫酸は土器内に復して稀硫酸と混じり銅は陽極の銅板に附着す、化學變化は次の如し



故に土器内に於ては亞鉛は蝕せられて硫酸亞鉛と成ると同時に發生したる水素は硫酸を作るが故に硫酸の量には増減なし土器外に於ては硫酸銅は分解して銅を遊離するにより其溶液は漸々稀薄となる、故に外器中には豫め硫酸銅の結晶塊を入れ置くを宜しとす、又内器中に

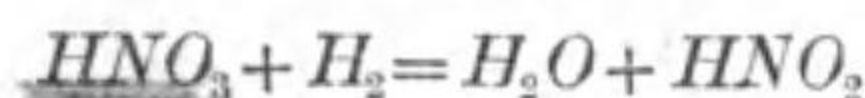
は時々水を注入して硫酸亞鉛の濃厚となるを防ぐ。

2. 重力電池 Gravitation cell. ダニエル電池と全く同一なり但し重力を利用して素焼の土器を省く、硫酸銅の溶液は稀硫酸よりも重きが故に先づ器中に硫酸銅の溶液及び結晶を入れて其中に銅板を浸し、其上に靜に稀硫酸を注ぎて其中に亞鉛板を浸したるものなり。

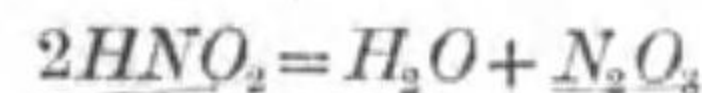


(356)

3. ブンゼンの電池 Bunsen's cell. 防衰劑として濃硝酸を用ひ陽極には銅の代りに炭素棒を用ふ、動電力 1.9 ボルトあり、硫酸と亞鉛との作用によりて發生したる水素は硝酸に作用して水と亞硝酸とを生ず、



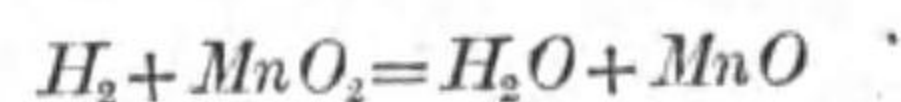
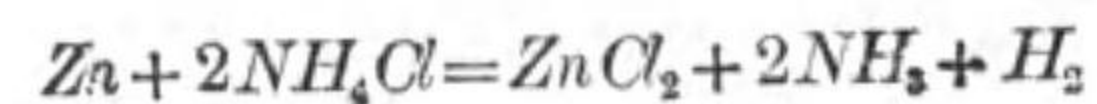
亞硝酸の一部は硝酸中に溶解し一部は分解して亞硝酸瓦斯となりて空氣中に飛散す、



此電池は動電力強大なれども惡臭ある酸化窒素を放つの不利あり。

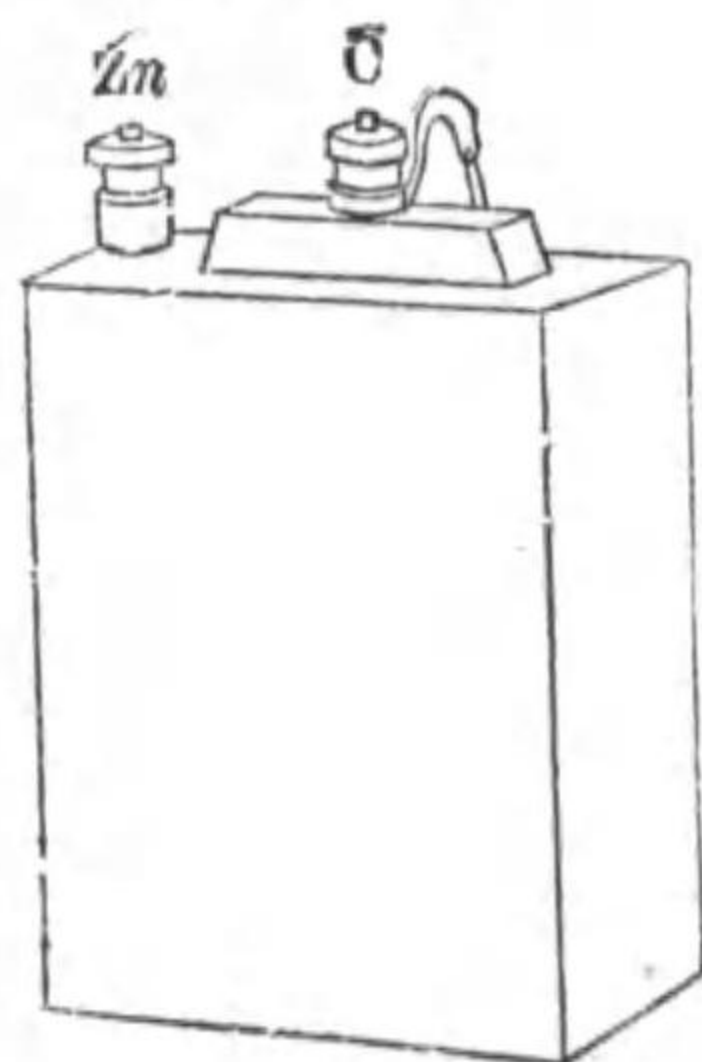
4. ルクランシェの電池 Leclanché's cell. 礫砂 NH_4Cl の濃溶液中に亞鉛棒を漬けたるものを陰極とし、素焼の土器中に過酸化マンガンと炭素の粉末とを混じたるものを入れ其中に炭素棒を挿入して之を陽極とす、動電力 1.5 ボ

ルトあり。亞鉛と礪砂と作用して鹽化亞鉛、アンモニア及び水素を生ず、此水素は過酸化マンガンを觸れ酸化して水となる。



過酸化マンガんに混ぜる炭粉は電氣を傳導する用を爲す。此電池は分極作用を起すこと急なれど暫時輪道を開くときは動電力を恢復する性あり、又輪道を閉ぢざる間は電池内に於ては少しも化學變化を起さず且つ防衰劑は固體なるが故に發生液中に滲散することなし(他の電池は多少此二個の缺點を有す)故に此電池は電流を斷續的に要する場合(例へば電鈴)に於て使用せらる。

5. 乾電池 Dry cell. ルクランシエの電池に於て礪砂の溶液を紙、木髓又は石膏等に浸させて詰め込みたるものなり、液體のこぼるゝ憂なきが故に取扱ひに便なり、此電池の外箱は陰極なる亞鉛を以て作らる。

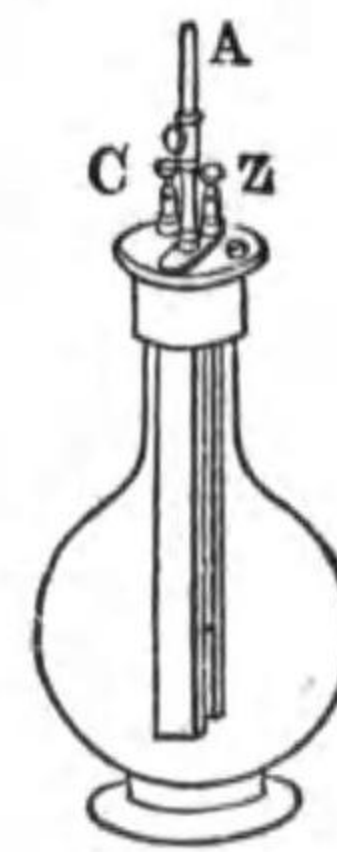


(387)

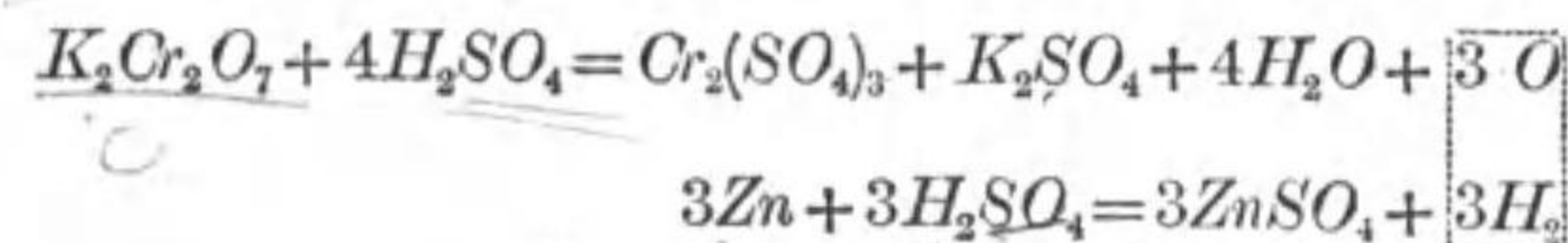
6. 重クロム酸電池 Richromate

此電池も亦ブンゼンの作る所なり、ブンゼン電池の硝酸の代りに重クロム酸カリの溶液を用ふ、素焼の隔壁

を用ひずして重クロム酸カリと稀硫酸との混合液を瓶形容器に入れ其内に亞鉛及び炭素棒を漬けて電池の兩極と爲す、通常炭素棒を二枚用ひ其間に亞鉛棒を挿入す、電池を使用せざる時は亞鉛を液より引き上げ置く装置となす、動電力は2.1ボルトあり。兩極を連絡するときは重クロム酸カリと硫酸と作用して深綠色なる硫酸クロムを生じ酸素を發生す、此酸素は陰極の亞鉛と硫酸との作用によりて生ずる水素を中和す、其化學變化は次の如し、



(388)

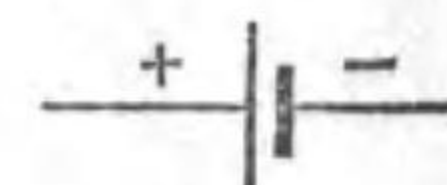


此電池に於て素焼の隔壁を用ひざるは亞鉛と重クロム酸カリと接觸するも動電力及び化學變化に差異を呈せざるを以てなり。

以上數種の電池を表にして示せば

	-	發生液	防 衰 劑	+	動電力
ダニエル	亞鉛	稀硫酸	硫酸銅	銅	ボルト 1.07
ブンゼン	"	"	濃硝酸	炭素	1.9
ルクランシエ	"	濃礪砂液	過酸化マンガ	"	2.1
重クロム酸	"	稀硫酸	重クロム酸カリ	"	2.1

電池を表はすに長短二本の線を以てす、長線は陽極、短線は陰極を表はす。



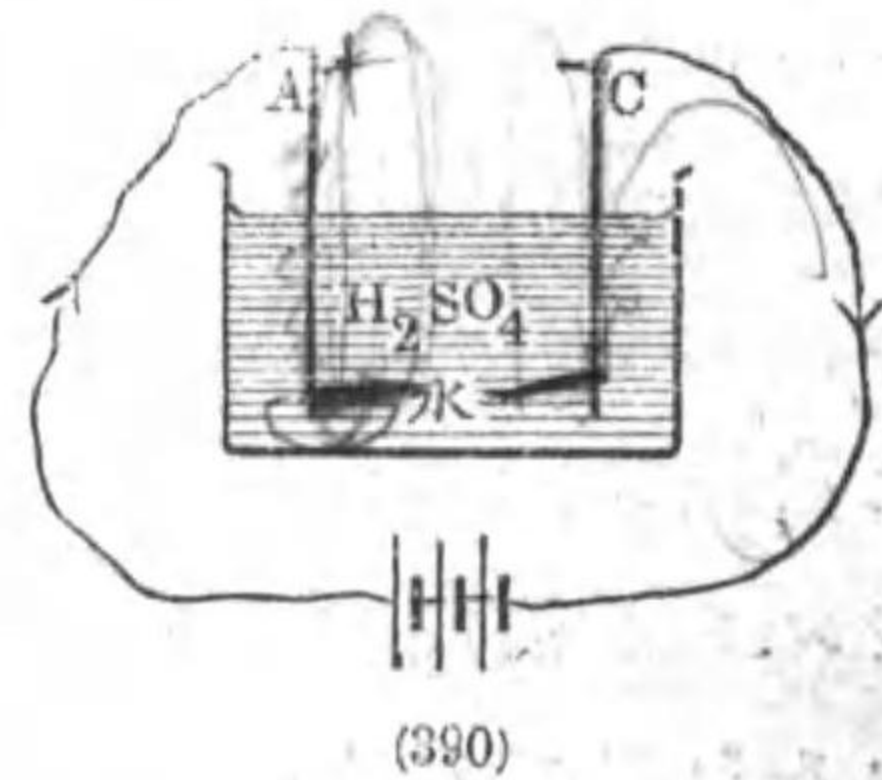
(389)

第五章 電 解

244. 電解 Electrolysis.

電氣を傳ふる物質に二種の別あり、一は之に電流を通ずるも其實質に變化を起さざるものにして金屬及び炭素等之に屬す、一は之に電流を通ずるときは化學變化を起して分解するものにして之を「電解質」Electrolyte といふ、加熱融解せる鹽類及び酸、アルカリ、鹽類の水溶液等之に屬す。此の如く電流を通じて物質を分解することを電解といふ。

今容器に水を充たし少量の硫酸を混じ二枚の金屬 A, C を漬けて之を電池の兩極に繋ぐに電流は矢の方向に流れて水は分解して A よりは酸素、C よりは水素を發生す、此装置を電解器と云ひ、電池の兩極に繋ぎたる金屬板を電極 Electrode といふ、電池の陽極に繋ぎたる電極を電解器の陽極或はアノード Anode (入口の義)、陰極に繋ぎたる電極を陰極或はカソード Cathode (出口の義) といふ、分解して兩電極より發生する物質を電解果生物といふ。



245. ファラデーの法則

英人ファラデー Faraday は實驗の結果によりて電解に關する次の二法則を發見せり、

法則 1. 電解果生物の量は電解質を通過せる電氣量に正比例す、

電流を或時間だけ流すときは通過せる電氣量は電流の強さと時間との相乗積に等しきが故に此法則は又次の如く述ぶることを得、

電流を或時間通じて得る所の果生物の量は電流の強さと時間との相乗積に正比例す。

今 i アンペアの電流を t 秒間通じて m 瓦の果生物を得たりとせば此電流が一秒間に分解して生ずる所の量は $\frac{m}{t}$ 瓦なり、故に 1 アンペアの電流を一秒間通じて得る所の量は $\frac{m}{it}$ 瓦なり、此量を果生物質の電氣化學當量 Electrochemical equivalent といふ、されば或物質の電氣化學當量を μ とすれば

$$\mu = \frac{m}{it}$$

逆に一秒間に或物質の μ 瓦だけを分解すべき電流を以て電流の強さの單位とすれば或電流を t 秒間通じて得たる量 (m 瓦) を測りて其電流の強さ (i アンペア) を測定することを得即ち

$$i = \frac{m}{\mu t}$$

法則 2. 同一の電流によりて分解して生ずるべき諸果生物の量は其物質の化學當量に正比例す。

化學當量とは果生物の原子量を原子價にて割りて得たる商なり。此法則によりて水素の電氣化學當量を豫め測り置くときは之に或物質の化學當量を乗ずれば其物質の電氣化學當量を得べし。

電氣化學當量の表

	原子量	原子價	化學當重	電氣化學當量 <small>1 グラムに付き</small>
水素	1.01	1	1.01	0.0001038
鐵(第二)	56	3	18.7	0.0001934
ナトリウム	23.05	1	23.05	0.0002387
鐵(第一)	56	2	28	0.00029
銅(第二)	63.6	2	31.8	0.0003279
亞鉛	65.4	2	32.7	0.0003367
銅(第一)	63.6	1	63.6	0.0006558
水銀(第二)	200.3	2	100.15	0.001039
銀	107.9	1	107.9	0.001118
水銀(第一)	200.3	1	200.3	0.002074
窒素	14.04	3	4.68	0.0004847
酸素	16	2	8	0.0008283
鹽素	35.45	1	35.45	0.0003671

分解して生じたる物質が氣體なるときは圖の如き電解器を用ひて其量を測ることを得、又果生物が固體なるときは極板に附着するが故に重さを測りて其量を知ることを得。果生物の量によりて逆に電流の強さを測ることを得るものにして此目的に作りたる電解器をボル

タメートル Voltmeter といふ、391 圖に示す電解器は一の簡單なるボルタメートルなり。

例 (1) 5 アンペアの電流を一時間通じて得る銀の量は

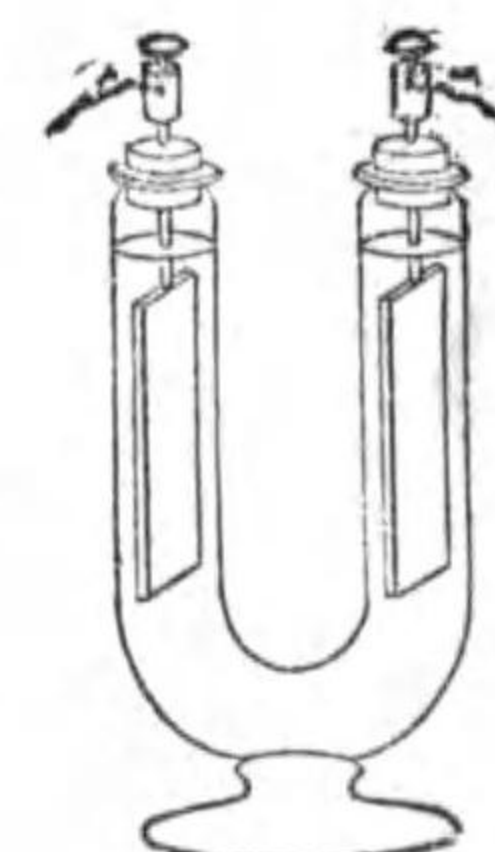
$$0.001118 \times 5 \times 60 \times 60 = 20.124 \text{ 瓦。}$$

(2) 8 アンペアの電流を 30 分間稀硫酸に通じて得る水素の量は 0.149 瓦、酸素の量は 1.194 瓦。

3) 硫酸銅の溶液に 2 時間通じて 23.602 瓦の銅を生ずべき電流の強さは

$$i = \frac{m}{\mu t} \text{ によりて}$$

$$\frac{23.602}{0.0003278 \times 2 \times 60 \times 60} = 10 \text{ アンペア。}$$



(391)

246. イオン説 Ionic theory.

現今學者の稱認する電解に関する學說をイオン説とす、此説に従へば電解質が加熱融解して液狀に在るか或は溶液となるときは其幾分かは分解してイオンの状態となるものとす、イオンとは電解質の一個分子が分解して電氣を帶ぶる所の二個或は數個の原子又は原子團となりて各、一個分子の如き働きを爲すものなり、總て一分子が分解して二個以上の分子となることを解離 Dissociation といふ、電解質がイオンに解離することを電氣解離或は電離 Electrolytic dissociation といふ。物質が解離せりや否やは滲透壓、沸騰點、凝固點の測定によりて知ることを得るものにして、電解質の電離せることも亦此等の測定によりて斷定することを得るなり。

電解質の溶液或は熔融液は全體としては電氣を帯びざるが故にイオンの或者は陽電氣他の者は陰電氣を帯び陰陽の電氣量は全體としては相等しきものとせざるべからず、又

イオンに関する假定は次の如し

1. 一の化合物にて陽電氣を帯ぶるイオンは總ての化合物に於て陽電氣を帯びたるイオンとなりて解離す、陰電氣を帯びたるイオンに付ても同様なり。陽電氣を帯べるイオンを陽イオン又はカチオン Cation と云ひ陰電氣を帯べるイオンを陰イオン又はアニオン Anion といふ。
2. 一分子が電離して二個或は數個のイオンとなるときは陽イオンの有する陽電氣量と陰イオンの有する陰電氣量とは相等しきものとす、例へば HCl が電離して H イオンと Cl イオンとなるときは H イオンの陽電氣と Cl イオンの陰電氣とは相等し、又 H_2SO_4 が電離するときは二個の H イオンと一個の SO_4 イオンとを生じ SO_4 イオンの陰電氣は二個の H イオンの陽電氣に匹敵す、 Cl イオンの如く H イオンと等量の電氣を有するイオンを一價イオンといひ、 SO_4 イオンの如く H イオンの電氣量の二倍を有するものを二價イオンといふ、總てイオンの價は其原素の原子價に等し。

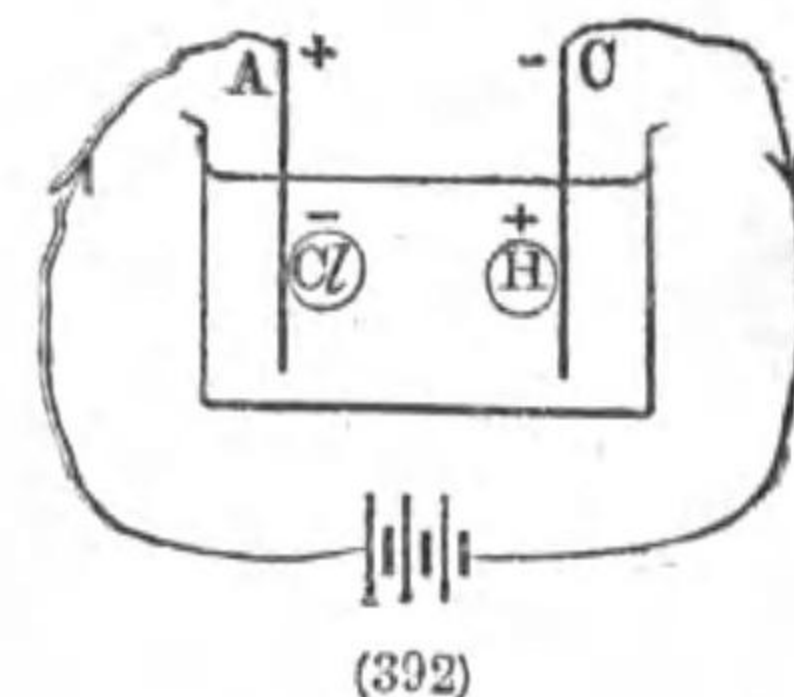
イオンを表はすには化學記號を用ふ、陽イオンならば其化學記號の右肩に (+) を附し陰イオンならば (-) を附す

一價陽イオン H^+ Ag^+ Hg^+ 一價陰イオン Cl^- NO_3^-

二價陽イオン Cu^{++} Fe^{++} Hg^{++} 二價陰イオン O^{--} SO_4^{--}

H^+ Cu^{++} 等を單イオン、 NO_3^- SO_4^{--} 等を複イオンといふ。

斯く電解質がイオンに解離せるものと想像するときは電解に関する諸現象を容易に説明することを得例へば鹽酸の水溶液に電流を通ずるときは鹽酸は H イオンと Cl イオンとに電離し、 Cl^- は電解器の陽極に吸引せられ其有する所の陰電氣は陽極の陽電氣の一部と中和



して單體鹽素となりて遊離す、同様に H^+ は陰極に吸引せられ其陰電氣と中和して單體水素となりて遊離す、故に

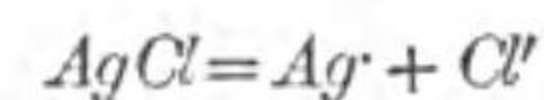
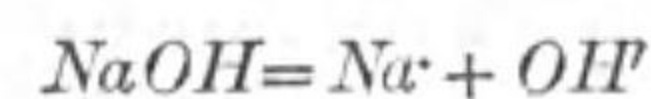
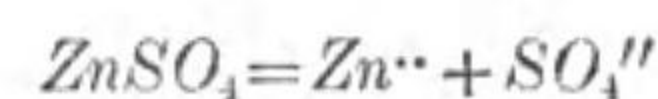
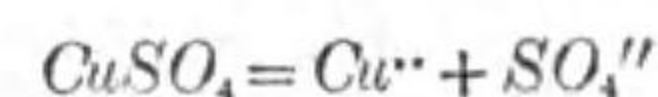
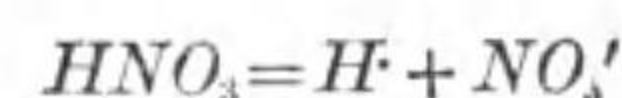
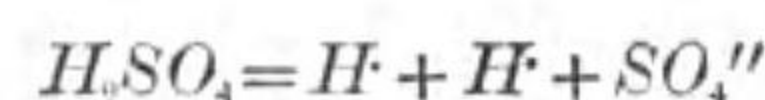
1. 電解果生物の量は通じたる電氣の總量に正比例す (ファラデーの第一則)

何となれば電極が電池より電氣を得るに従ひイオンを吸引し其帯べる電氣と中和す、故に通じたる電氣の量は之を中和せるイオンの電氣量と等しき譯なり従つて遊離せる物質の量に正比例すべし。

2. 電解果生物の量は其化學當量に正比例す(第二則)
何となればイオンの有する電氣量は其原子價に比例す

るが故に同一の電氣量によりて H が 1 瓦遊離する間に Cl は 35.5 瓦、第一鐵は $\frac{56}{2}=28$ 瓦、第二鐵は $\frac{56}{3}=18.7$ 瓦遊離すべき譯なり。

電離の例



水素及び諸金屬は陰極に集まるが故に陽イオンなるを知り、非金屬及び OH , SO_4 , NO_3 等は陽極に集まるが故に陰イオンなるを知る。

電解の例

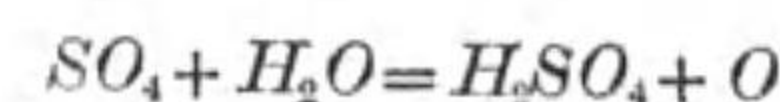
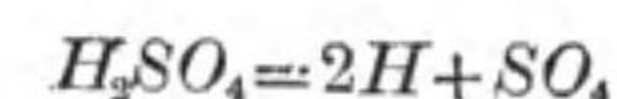
電解質に電流を通ずるに當り

1. イオンが單體となりて遊離することあり

電極に炭素を用ひて HCl を電解するときは H 及び Cl' イオンは電極に於て電氣を失ひ單體として遊離す。

2. イオンが電氣を失ひたる後水に作用することあり
 H_2SO_4 を電解するときは H は陰極に於て電氣を失ひ單

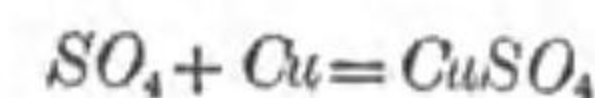
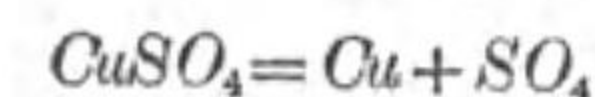
體水素として發生し、 SO_4'' は陽極に於て電氣を失ひ水に作用して硫酸を生じ單體酸素を發生す



前に水を電解して水素と酸素とを發生すといひたるは實は硫酸の電解なり、然れども其結果として硫酸には増減なくして水が分解さるゝことゝなれるなり。純粹なる水は殆ど電流を導かず。

3. イオンが電氣を失ひたる後電極の金屬に作用することあり、

電極に銅を用ひ硫酸銅を分解するときは



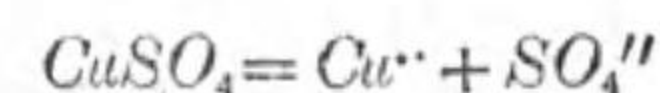
故に SO_4'' は陽極の銅に附着して漸々之を腐蝕して $CuSO_4$ を生じ同時に硫酸銅より分離したる Cu'' は陰極に附着す、故に若し陰極に銅以外の金屬を用ふれば其金屬は銅にて蔽はるべし是れ電鍍術の原理なり。

247. 電解の應用

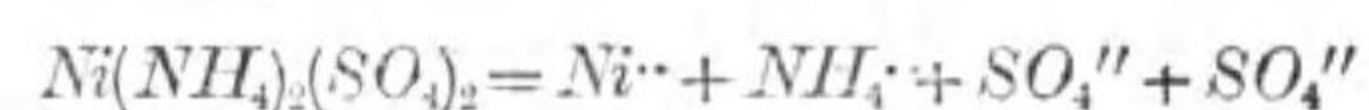
電解は工業上次の三術に應用せらる。

電鍍術 Electroplating. 上例(3)により鍍すべき金屬を陽極、鍍せらるべき金屬を陰極とし溶液には鍍すべき金屬の鹽類を用ふ

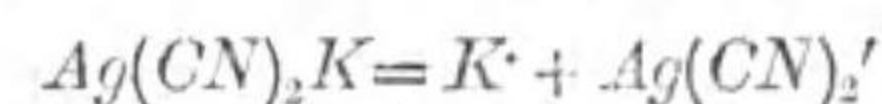
1. 鍍銅には硫酸銅の溶液を用ふ、



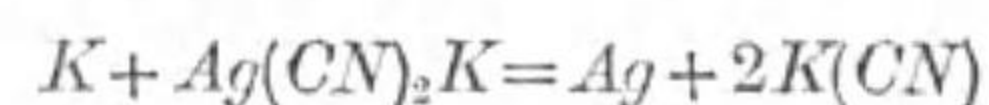
2. 鍍ニッケルには硫酸ニッケル、アンモニウム $\text{Ni}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ の溶液を用ふ



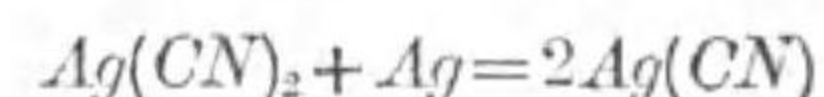
3. 鍍銀には青化銀カリ $\text{Ag}(\text{CN})_2\text{K}$ の溶液を用ふ



陰極に於て遊離すべき K^+ は $\text{Ag}(\text{CN})_2\text{K}$ に作用して銀を遊離す、此銀が陰極の金属を鍍銀す、

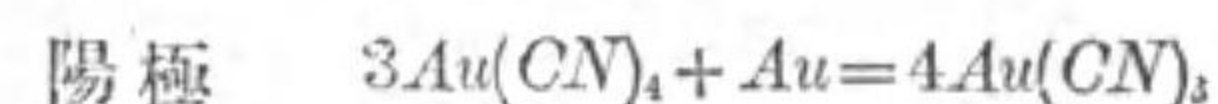
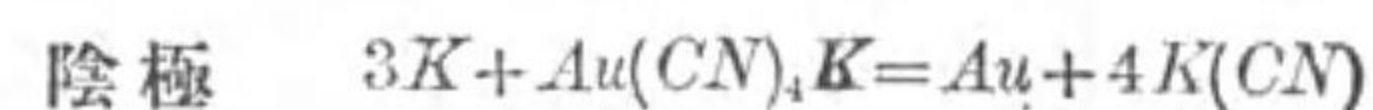
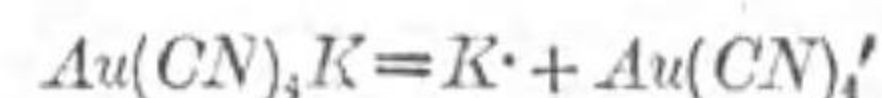


陽極に於ては $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ は Ag に作用して $\text{Ag}(\text{CN})$ を生ず



$\text{Ag}(\text{CN})$ と $\text{K}(\text{CN})$ とが結合して又 $\text{Ag}(\text{CN})_2\text{K}$ を生ず。

4. 鍍金には青化金カリ $\text{Au}(\text{CN})_4\text{K}$ を用ふ其化学變化は銀の場合と略ぼ同一なり、即ち



電鑄術 Electrotyping. 其原理は電鍍法と異なるとなし、木版より電氣版を得んには石膏を木版に押し當て、其模型を作り其表面に石墨を塗りにて傳導性を附與したる

ものを陰極とし銅の陽極と硫酸銅の溶液とを用ふれば電氣銅版を得べし。

電氣冶金術 Electrometallurgy. 金属化合物を熔融し之を電解して純粹なる金属を得、或は金属化合物を得るの法なり。

*248. 電池の理論

電池の兩極を連絡するときは電流が流るゝと同時に電池の液は電解を爲す是によつて見れば電池は電源たると同時に一の電解器にして、其陽極(高電位の極)は電流の出口なるを以て電解器として見れば陰極即ちカソードに當り、其陰極(低電位の極)は電流の入口なるを以て陽極即ちアノードに相當す。電池の作用は金属板がイオンとなりて液中に分解すること及び液中のイオンが金属板に附着することによりて充分説明するを得べし。

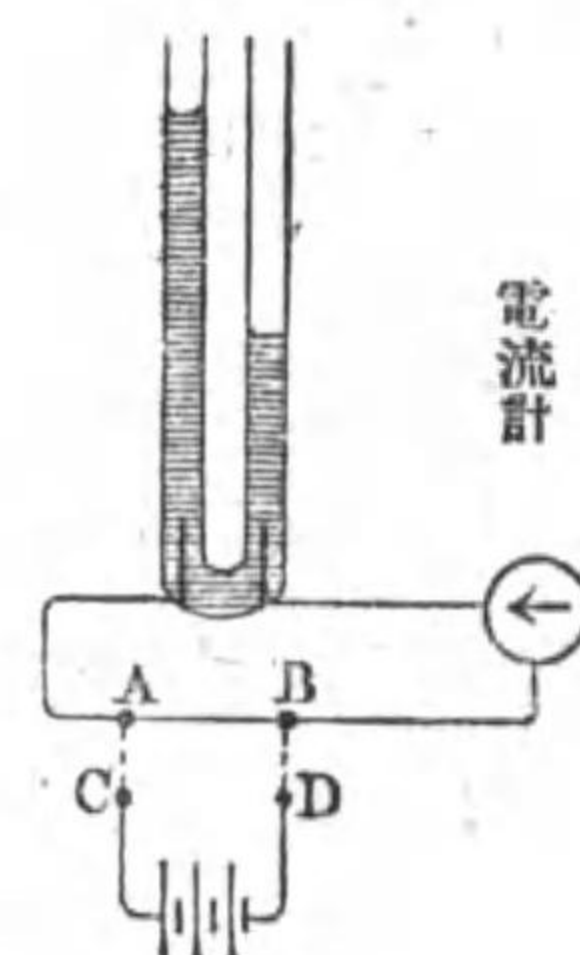
1. 電解質を電解するときは水素及び金属は常に陰極に集まる、之によりて總ての金属イオンは陽電氣を帶ぶる所の陽イオンなりと斷定することを得。
2. 金属板を液中に浸すときは金属の一部はイオンとなりて液中に溶解するものと想像す然るときは金属イオンは陽電氣を帶ぶるが故に液は陽電氣を得、之と同時にもと中性なりし金属板は陽電氣を失ふて陰電氣を帶ぶべし。

3. 金屬板のイオン化することは限りなく行はるゝものにあらざるべし、何となれば陰電氣を帯べる金屬板と陽電氣を帯べる金屬イオンとは互に引き合ふが故に此引力がイオン化の傾向と平均するに至りてイオン化することは止まるべし、
 4. イオン化の傾向は金屬の品質によりて異なる推論によるに輕金屬は其傾向大にして重金屬は其傾向小なり、又亞鉛のイオン化傾向は銅のイオン化傾向よりも大にして其比7:9に當る、
 5. イオン化傾向は又溶液の濃さ(即ち液中に存在する金屬イオンの量)に關係す、溶液が淡きときは金屬は盛にイオン化するため陰電氣を得れども、溶液が濃きときはイオンは反つて金屬板に附着して之に陽電氣を與ふ、
- 今ダニエルの電池に附て考ふるに亞鉛のイオン化傾向は銅のよりも大なるが故に亞鉛の一部はイオン化し其と當量の銅イオンは銅板に附着す、依つて亞鉛板は陰電氣、銅板は陽電氣を帶ぶべし、若し兩極板を連絡せざるときは電氣引力とイオン化傾向とは相平均してイオンの移動は一定の度に達して止まるべし、然れども兩極板を連絡するときは亞鉛板の陰電氣と銅板の陽電氣とは中和し従つてイオンの移動は引き續き行はるべし、即ち亞

鉛は溶解し銅は沈澱すると同時に電流は絶えず銅板より導線を沿うて亞鉛板に向つて流れ、電池内に於ては陽電氣はイオンによりて亞鉛板より銅板に搬ばるゝなり。ダニエル電池に於て硫酸亞鉛の溶液を稀薄に保つは亞鉛のイオン化を助くるが爲めにして硫酸銅溶液を濃厚に保つは銅イオンの還元を助くるが爲めなり。

249. 分極

電解器に稀硫酸を入れ電池を連絡するときは電流は電池の陽極を發し、C, Aを経て電解質を通り、B, Dを経て電池の陰極に復す、かくして電解の進むに従つて電流は或度まで衰弱す、次に電池を去りてA, B間を連絡するときは電流は前と反對の方向に流る、此等の事は輪道中に電流計を入れて驗することを得、或は又電解作用の衰弱によりて察することを得。



今其理由を考ふるに電解によりて水素イオンは陰極に吸引せられてこゝに陰電氣と中和して單體水素となりて遊離すべし、然れども水素瓦斯は一部分陰極に附着して離れざるがため再びイオンとなりて液中に復歸せんとして電池のと反對の動電力を生ず、されば電池の動

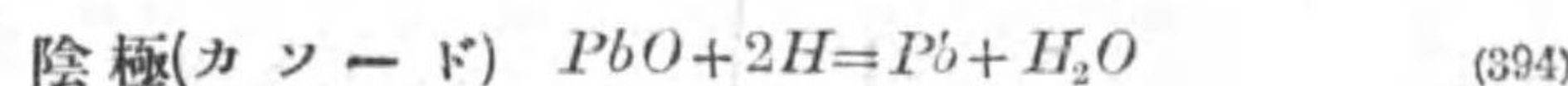
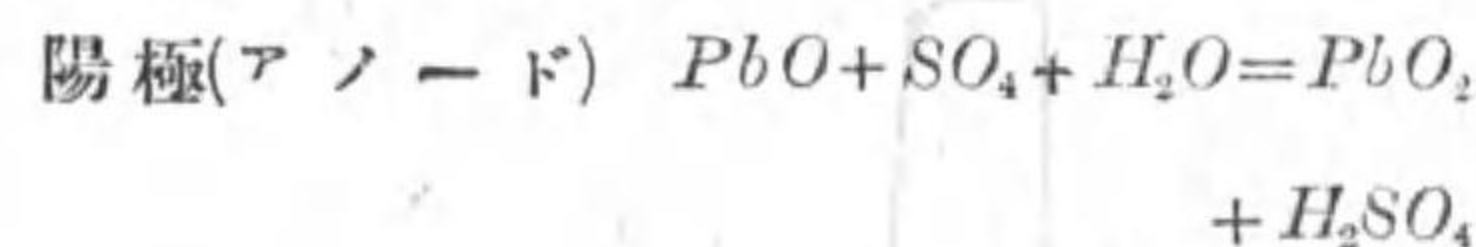
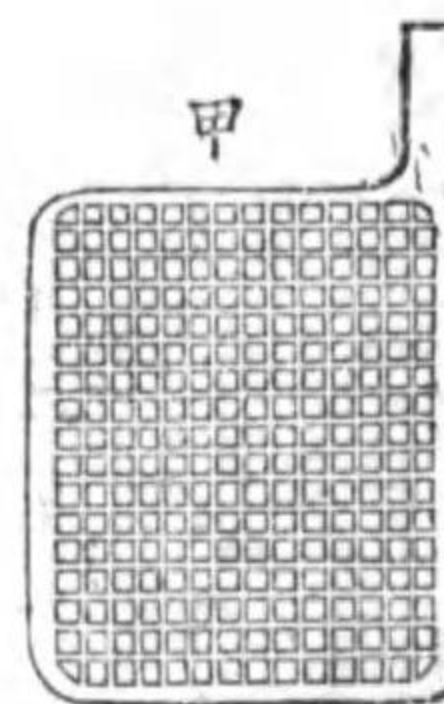
電力は一部分此水素のイオン化の傾向を止むるために使用せらるゝが故に分解進みて水素の蓄積増すに従つて電流衰弱するなり、次に電池を去りてA, Bを連絡するときは水素は陽イオンとなりて陰極を離れて溶液中に復するが故に陰極は陰電氣を帶ぶ、陽極に蓄積したる酸素も亦同様の働を爲して陽極に陽電氣を與ふ、故に電流は陽極より導線を沿うてA, Bを経て陰極に流れて兩電氣を中和せんとするなり、此の如くして電解器は一の電池となり、兩極に水素酸素の蓄積する間は前と反方向に電流を送るなり、かく電解によりて生ずる反對の動電力を分極動電力といふ、此故に電解を行ふには分極動電力に打ち勝つに足る動電力を要する譯にして、例へば水を電解せんに分極動電力は2ボルトなるによりてダニエル電池ならば二個以上を要す。電池に於ける分極作用が其動電力を弱むることは既に述べたり、例へばボルタの電池に於ては銅板に附着せる水素が再びイオン化せんとするため分極動電力を生ず。

○ 250. 蓄電池 Accumulator.

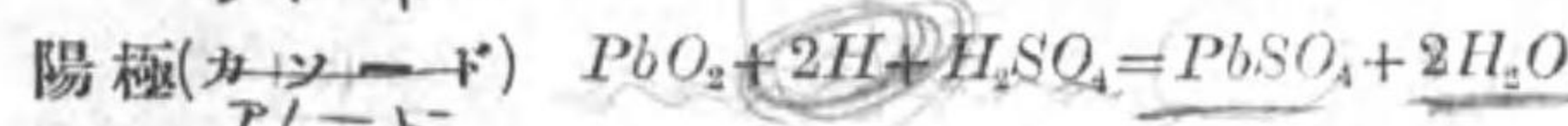
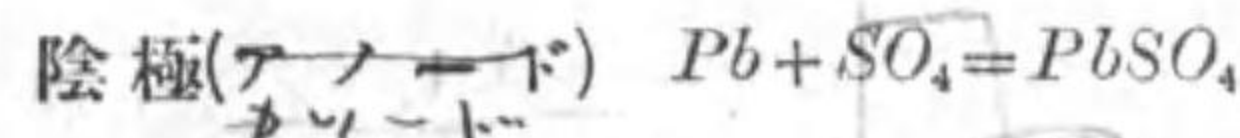
分極動電力を利用したる電池なり其原理は先づ電解質に電流を通じて電解を行はしめ然る後電流を供給せる電源を去りて蓄電池の極を連絡す、然るときは分極動電力の爲に電流流る。其の構造は甲圖に示すが如き格

子形の鉛板に一酸化鉛(PbO)を詰めたるもの數板を乙圖の如く對立せしめて之を稀硫酸液中に漬けたるものなり、其作用は

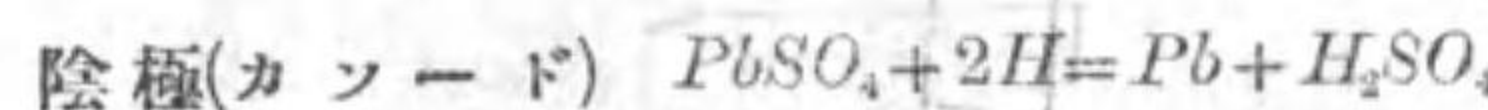
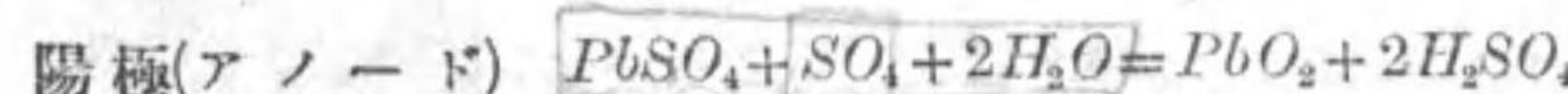
1. 電流を外より通ずれば硫酸は分解して $2H^+$ と SO_4^{2-} となる、 SO_4^{2-} は陽極に附着し爲めに PbO は酸化して二酸化鉛 PbO_2 となり、 H^+ は陰極に附着し爲めに PbO は還元して鉛となる、



2. 電池を去りて蓄電池の兩極を連絡すれば電流は前と反對の方向に PbO_2 より Pb に向つて輸道を流るゝと同時に硫酸は $2H^+$ と SO_4^{2-} となり兩極板は漸々硫酸鉛に變じ遂に電流止む、之を蓄電池の放電といふ、

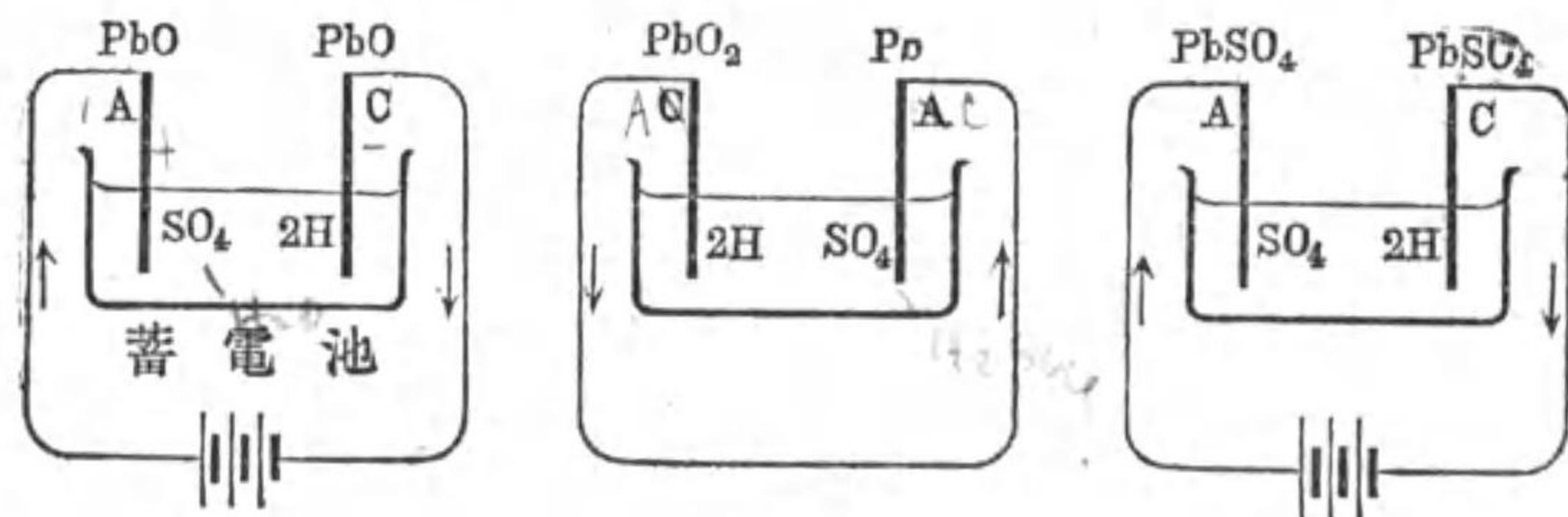


3. 再び電流を通ずれば始めの状態に復す、之を蓄電池の充電といふ。



次の圖は以上三段の變化を示す、圖中Aはアノード即ち

電流の入口にしてCはカソード即ち出口なり、(1)及び(3)に於てはアノードは陽極カソードは陰極なれど(2)に於ては反対なることに注意すべし。



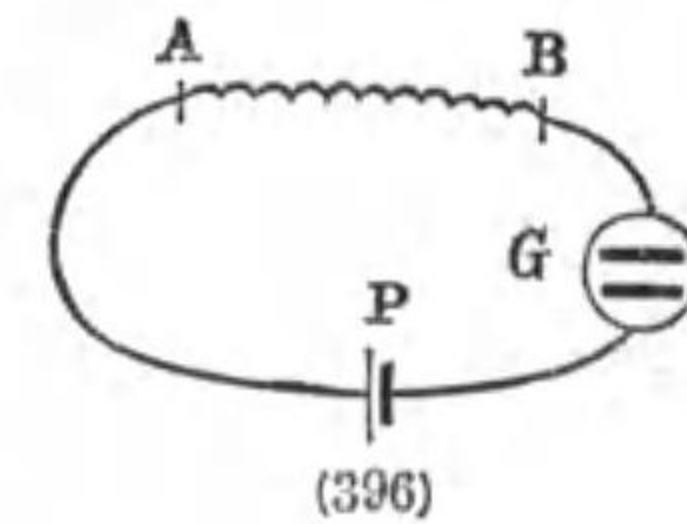
(395)

蓄電池の動電力は2ボルト以上あり、蓄電池を充電するには通常ダイナモ発電機を用ふ、蓄電池は電流エネルギーの貯蔵所にして必要に臨んで其エネルギーを使用することを得、又普通の電池に比すれば液を新にするの手續を要せざるを以て取扱ひに便なり。

第六章 オームの法則

251. 抵抗 Resistance.

圖の如く輪道中の一部AB間に種々の針金を置きて之を流るゝ電流の強さを測るに針金の品質、長さ及び太さによりて電流に強弱あるを見るべし(Gは電解器或は電流計にして電流の強さを



測るものなり、例へば同質の針金にても長くして細きものは短くして太きものよりも電流弱し、此事を針金は電流に對して異なる抵抗を有すといふ、恰も水が管の内を流るゝに當り管の品質、大小、長短によりて其内を同一時間に流るゝ水量に差異あるが如し、オームは實驗の結果として次の法則を發見せり(1826年)。

法則 針金の兩端の電位の差と之を流るゝ電流の強さとは互に正比例す。

之れをオームの法則といふ、例へばABの電位差をeボルトとし之を流るゝ電流の強さをiアンペアとすれば

$$e=ri \quad \text{或は} \quad \frac{e}{i}=r$$

茲にrは比例の常數にして同一の針金に於ては其兩端の電位の差を變ずれば電流も從つて變ずれども兩者の比 $\frac{e}{i}$ は常に一定の値を保つ、此針金の抵抗は $\frac{e}{i}$ オームな

りといふ、即ち

單位 針金の兩端の電位の差1ボルトなるとき之を流るゝ電流1アンペアならば其針金の抵抗を單位とし之を1オームと稱す。

長さ1.063米、太さ(截面積)1 cm^2 の水銀線は0°に於て1オームの抵抗を有す、換言すればかゝる水銀線の兩端の電位の差を1ボルトに保つときは之を流るゝ電流の強さは0°に於て1アンペアなり。

抵抗は溫度によりて變化す、金屬の抵抗は通常溫度昇るに従つて増加す、炭素の抵抗は反對に溫度昇るに従つて減少す。逆に針金の抵抗の變化を測りて溫度を測定することを得、此理により白金線の抵抗によりて輻射熱の測定に用ふる器械をボロメートル Bolometer と稱す。

252. 比抵抗 Specific resistance.

同質の物體にても抵抗は長さ及び太さによりて異なる、實驗によるに

法則 針金の抵抗は長さに正比例し太さに逆比例す、故に各種の針金の抵抗を比較せんには之を同一の形狀即ち同一の長さ及び太さと爲すを便とす、通常長さ1米太さ1 cm^2 の形を取り其抵抗を比抵抗といふ、長さ l 米、太さ s cm^2 、比抵抗 ρ オームなる針金の抵抗は次式にて表はさる

$$r = \rho \frac{l}{s} \quad \text{オーム}$$

故に種々の物質の比抵抗を豫め測り置くときは之に長さ(米)を乗じ太さ(cm^2)にて割るときは其針金の抵抗を得るなり。比抵抗の逆數 $\frac{1}{\rho}$ を傳導度といふ、次に掲ぐる表は比抵抗は0°に於ける値にして傳導度は水銀を標準に取りたるものなり。

長さ1米 太さ1 cm^2	比抵抗	傳導度	比抵抗	傳導度
水銀	0.943 オーム	1	白金	0.091 10.3
洋銀	0.267	3.5	金	0.0206 45.8
鉛	0.196	4.8	銅	0.0160 59.0
ニツケル	0.124	7.6	銀	0.01506 62.6
鐵	0.097	9.7	瓦斯炭	約40.

此表によれば銀の抵抗は最小にして銅之に亞ぐ。

問(1) 長さ106.3 cm 、太さ1 cm^2 の水銀の抵抗1オームなるを知りて長さ1米、太さ5 cm^2 の水銀線の抵抗を求む。

解 抵抗は長さに正比例し太さに逆比例するが故に

$$1 \times \frac{100}{106.3} \times \frac{1}{5} = 0.188 \text{ オーム。}$$

(2) 比抵抗を知りて長さ1.5米、截面の半徑2 cm の銅線の抵抗を求む。

答 0.00191 オーム。

(3) 長さ1.5米、直徑1 cm の銀線の抵抗 r と長さ2.5米、直徑1.2 cm の銅線の抵抗 r' とを比較せよ

$$\text{解 } r:r' = 0.01506 \times \frac{1.5}{\pi \times 0.5^2} : 0.016 \times \frac{2.5}{\pi \times 0.6^2} = 0.81324:1.$$

(4) 長さ25米、太さ2 cm^2 の銅線の抵抗を求む、但し銅の水銀に對する傳導度を59とし水銀(106.3 cm 、1 cm^2)の抵抗を1オームとす。

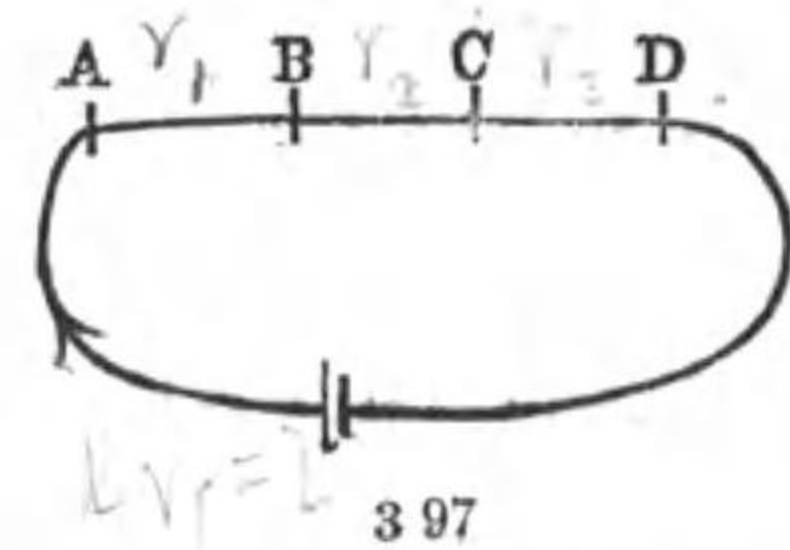
$$\text{解 } \frac{1}{59} \times \frac{25}{1.063} \times \frac{1}{2} = 0.2 \text{ オーム。}$$

(5) 長さ2.4米の硝子管に水銀を入れて其抵抗を測りたるに5.4オーム

ありきといふ管の太さを求む、但し(1)水銀の比抵抗を0.943とす、(2)水銀柱(1.063米、1^{cm}²)の抵抗を1オームとす。 答 0.419 耗²。

253. 全抵抗

圖の如く數個の導線 AB, BC, CD 等を順次に連結して之に電流を通ずるときは導線の抵抗は各異なりとするも此等を通る電流の強さは各部皆同一なり、若し一輪道中に於て或處は電流強く或處は電流弱しとすれば電流強き所には電氣は限りなく蓄積するの都合を生ずればなり。



今此輪道を通る電流の強さを i アンペアとし導線 AB, BC, CD の抵抗を夫々 r_1, r_2, r_3 とし各導線の兩端の電位差を夫々 e_1, e_2, e_3 とするときはオームの法則によりて

$$e_1 = r_1 i \quad e_2 = r_2 i \quad e_3 = r_3 i$$

$$\therefore e_1 + e_2 + e_3 = (r_1 + r_2 + r_3) i \dots (1)$$

電流が矢の向きに流るものとするれば A より D に進むに従つて其電位低し、A, B, C, D 諸點の電位を夫々 V_a, V_b, V_c, V_d とし AD 間の電位の差を e とすれば

$$e_1 = V_a - V_b, \quad e_2 = V_b - V_c, \quad e_3 = V_c - V_d, \quad e = V_a - V_d$$

$$\therefore e = e_1 + e_2 + e_3 \dots (2)$$

AD 間の導線の全抵抗を r とすれば電流は i なるが故に

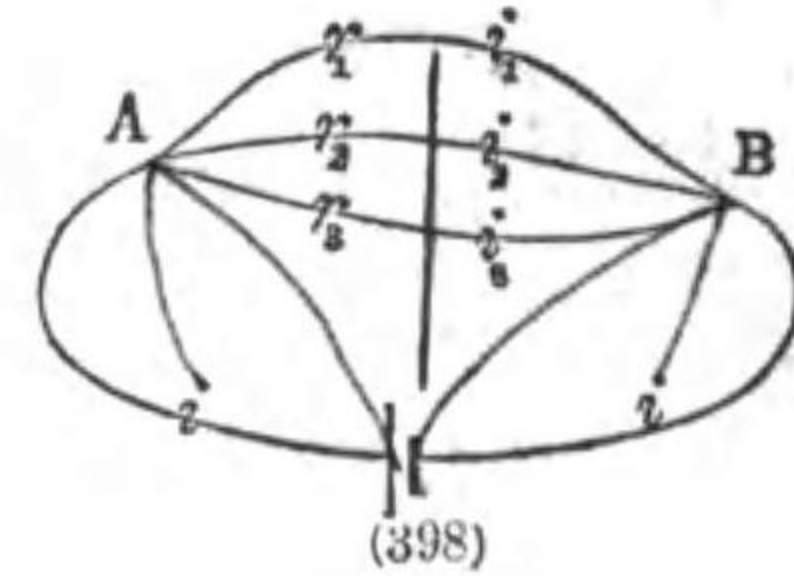
$$e = r i \dots (3)$$

之を(1)式と比較するに

$$r = r_1 + r_2 + r_3 \dots (4)$$

を得上記の如く導線を連結するを「行並び」Arrangement in series といふ。行並びに於ては全抵抗は各導線の抵抗の和に等し。

次に輪道の一部を圖の如く數條の導線にて作る時は各導線の抵抗を夫々 r_1, r_2, r_3 オーム、電流の強さを i_1, i_2, i_3 アンペア、A, B 二點間の電位差を e ボルトとすれば



$$e = r_1 i_1 = r_2 i_2 = r_3 i_3 \dots (1')$$

全電流を i アンペア、全抵抗を r オームとすれば

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \dots (2')$$

$$e = r i \dots (3')$$

以上三式より r と r_1, r_2, r_3 との関係を得ること次の如し

$$\frac{1}{r} = \frac{i}{e} = \frac{1}{e} (i_1 + i_2 + i_3)$$

$$\therefore \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \dots (4')$$

上記の如く導線を連結するを「列並び」Arrangement in parallel といふ。列並びに於ては全抵抗の逆数は各導線の抵抗の逆数の和に等し。

抵抗同一なる導線 n 個を列に連結するとき各導線の抵抗を r_1 とし全抵抗を r とせば

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1} + \dots = \frac{n}{r_1} \quad \therefore r = \frac{1}{n} r_1$$

又抵抗 r_1, r_2 なる二條の導線より成るときは

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad \therefore e = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} i$$

$$\therefore i_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} i, \quad i_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} i.$$

故に分派電流 i_1, i_2 は各導線の抵抗に逆比例す。

254. 電池の抵抗

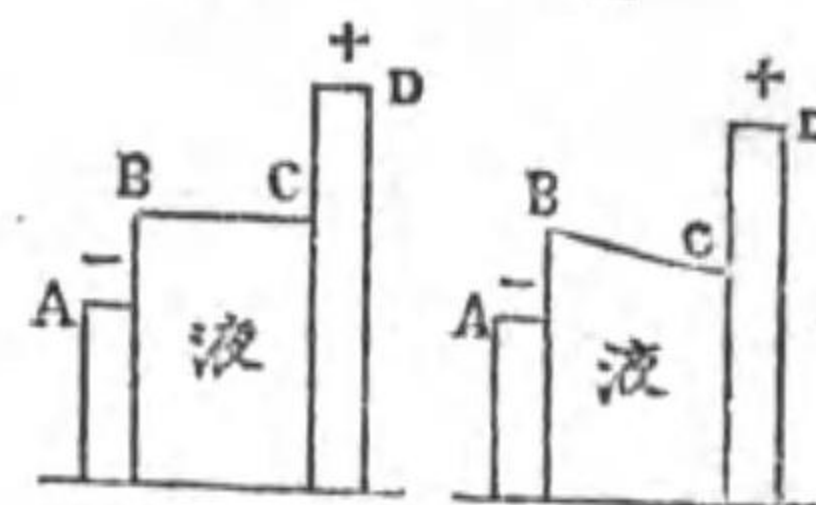
電池は輪道の一部を爲すが故に導線と同様に電流に對して抵抗を有す。電池の抵抗は兩極の金屬板の距離に正比例し液に漬ける極板の面積に逆比例す。故に電池の兩極板は其面積を廣くし且つ相接近せしむるを以て利ありとす。普通の電池の抵抗はダニエルにては2.8乃至1.5オーム、ブンゼンにては0.24乃至0.4オーム、ルクランシェにては1オームなり。電池の抵抗を内抵抗と云ひ、兩極を連絡する導線の抵抗を外抵抗と云ふ。

電池の兩極の電位差は兩極を連絡せると否とによりて其値を異にす。兩極を連絡せざるときに於ては其電位差は液及び兩極の品質によりて一定し其接觸面の廣狹に關せず、此電位差は即ち電池の動電力なり、兩極を連絡するときは電位差は多少減少し其値は連絡せる導線の抵抗、從つて輪道を通る電流の強さによりて異なる。動電力 E 、抵抗 r なる電池の兩極を抵抗 r なる導線にて

連結して i なる電流を得たりとせば次の關係あり

$$i = \frac{E}{b+r} \quad E = L(\frac{di}{dt})$$

*今其理を考ふるに E は陰極と液及び液と陽極の電位差の和にして、兩極を連絡せざる間は液の全部は同一電位を有す、故に電池各部の電位の高低を縦線の長さにて表はせば甲圖の如し、然るに兩極を連絡するときは兩極板と液との電位差即ち AB, CD の高さは變化せざれども電流が液を B より C の方向に通ずる以上は C の電位は B よりも低からざるを得ず(乙圖)、此電位差を e とせば



(399)

はオームの法則によりて $e = bi$ (b は液の抵抗なるを以て) 従つて連絡後の兩極の電位差は $E - e = E - bi$ にして是れ即ち導線の兩端の電位差なり、故に

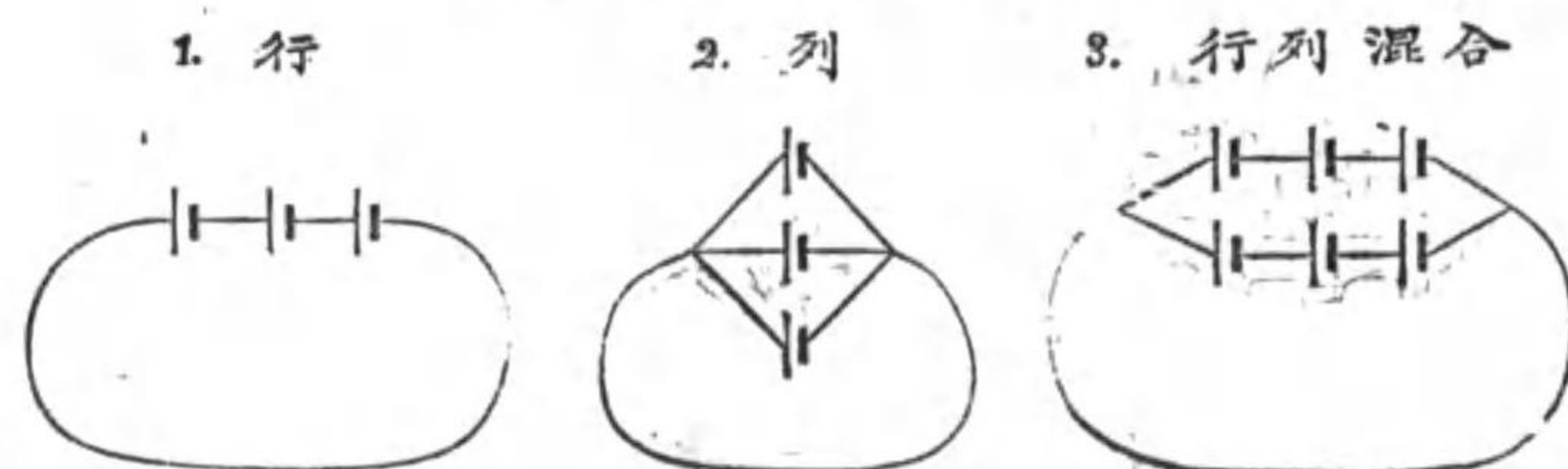
$$E - bi = ir \quad \therefore E = i(b+r) \quad \text{或ハ} \quad i = \frac{E}{b+r}$$

255. 電池の繋ぎ方

數個の電池を連絡するに三種の法あり、行列及び行列混合是なり。

1. 行繋ぎ 一電池の陰極と次の電池の陽極とを順に繋ぐ、
2. 列繋ぎ 各電池の陽極及び陰極を一所に集む、

3. 行列混合 數組の行を更に列に繋ぐ、或は
數組の列を更に行に繋ぐ。



(400)

全動電力 例へば三個の電池を行に繋ぐとき即ち第一電池の陰極と第二電池の陽極、又第二電池の陰極と第三電池の陽極とを連絡するときは第一の陰極と第二の陽極及び第二の陰極と第三の陽極とは同電位となるべし、各電池の動電力を E とせば電池を連結するも其動電力即ち兩極の電位差には變化なきを以て第二陰極の電位は第一陽極よりも $2E$ だけ低く、第三陰極は $3E$ だけ低くなるべし、故に三個の電池を列に繋ぎたるときの全動電力即ち第一陽極と第三陰極との電位差は一個電池の動電力の三倍に等し。次に三個の電池を列に繋ぐときは各電池の陽極及び陰極は夫々同電位となるべし、而して陰陽兩極の電位差は E なるが故に連結後の兩極の電位差も亦 E なり、即ち列に繋ぎたるときの全動電力は一個電池の動電力に等し。次に三個の電池を行に繋ぎたるもの二組を列に繋ぐときは各行の動電力は $3E$ なるを

以て全動電力も亦 $3E$ なり、即ち行列混合に於ては全動電力は一行の動電力に等し。

全内抵抗 は導線の場合と同様に計算するを得べし、即ち抵抗 b の電池三個を行に繋ぐときは全抵抗は $3b$ にして列に繋ぐときは $\frac{1}{3}b$ なり、又三個の電池を行に繋ぎたるもの二組を列に繋ぐときは一行の抵抗は $3b$ なるを以て全抵抗は $\frac{3}{2}b$ なり。

電流の強さ 全動電力及び全内抵抗を知るときは

$$\text{電流の強さ} = \frac{\text{全動電力}}{\text{全内抵抗} + \text{外抵抗}}$$

なる式によりて電流の強さを計算することを得べし、今電池の数を n 個、各電池の内抵抗を b オーム、動電力を E ボルトとし外抵抗を r オーム、電池の強さを i アンペアとすれば

1. 行繋ぎ 全動電力 $= nE$

全内抵抗 $= nb$

輪道の全抵抗 $= nb + r$

$$\therefore i_1 = \frac{nE}{nb + r}$$

2. 列繋ぎ 全動電力 $= E$

全内抵抗 $= \frac{1}{n}b$

輪道の全抵抗 $= \frac{1}{n}b + r$

$$\therefore i_2 = \frac{E}{\frac{1}{n}b + r} = \frac{nE}{b + nr}$$

3. 行列混合 p 個の電池を行に繋ぎ其 q 組を列に繋ぐときは

$$\begin{aligned} \text{一組の動電力} &= pE & \text{全電動力} &= pE \\ \text{一組の内抵抗} &= pb & \text{全内抵抗} &= \frac{pb}{q} \\ & & \text{輪道の全抵抗} &= \frac{pb+r}{q} \end{aligned}$$

$$\therefore i_3 = \frac{pE}{\frac{pb+r}{q}} = \frac{pqE}{pb+qr} = \frac{nE}{pb+qr} \quad (p \times q = n)$$

以上三種の繋ぎ方によりて得る電流の式を列挙すれば

$$1. i_1 = \frac{nE}{nb+r} \quad 2. i_2 = \frac{nE}{b+nr} \quad 3. i_3 = \frac{nE}{pb+qr} \quad (p \times q = n)$$

上式に於て分子は皆同一なるを以て最大電流を得んには分母を最小ならしむれば宜し故に(1)及び(2)に付て云へば

$r > b$ なるときは $nb+r < b+nr$ 故に行に繋ぐを利とす、

$r < b$ なるときは $nb+r > b+nr$ 故に列に繋ぐを利とす、

又(3)式に於て $q=1$ とすれば(1)式を得、 $p=1$ とすれば(2)式を得故に(3)式は(1)(2)兩式を包括する一般の式なり、依つて最大電流を得んには(3)に於て分母 $pb+qr$ を最小ならしむればよし、次の證明によるに $pb=qr$ なるときは $pb+qr$ は最小なり、然るときは $p \times q = n$ なるにより $q = \frac{n}{p}$ 、故に

$$pb = \frac{n}{p}r \quad \therefore p = \sqrt{\frac{nr}{b}}$$

なるとき最大電流を得、例へば内抵抗 1.5 オームの電池八個ありて外抵抗 4 オームなるときは $n=8$, $r=4$, $b=1.5$

$$\therefore p = \sqrt{\frac{8 \times 4}{1.5}} = 4.6, \quad q = \frac{8}{4.6}$$

p, q は n の約数なると必要なるにより此場合には成るべく此等の値に近き整数を取ればよし、即ち $p=4$, $q=2$ のとき最大電流を得べし。若し外抵抗 r が内抵抗 b に比して極めて大なるときは $p=n$, $q=1$ なるとき即ち總てを行に繋ぎたるとき最大電流を得べし、又 b が r に比して大なるときは $p=1$, $q=n$ 即ち總てを列に繋ぎたるとき最大電流を得べし。

$pb+qr$ の最小値を求むる法

pq と qr との相乗積は $pb \times qr = nbr = \text{常數}$ なり、 $pb \times qr = a^2$, $pb = x$ と置けば $qr = \frac{a^2}{x}$ となる、故に

$$pb+qr = x + \frac{a^2}{x} = \frac{x^2 + a^2}{x} = \frac{(x-a)^2 + 2ax}{x}$$

$(x-a)^2$ 及び $2ax$ は共に正數なるが故に $x-a=0$ なるとき此式は最小なり

$$x-a=0 \quad \text{即ち} \quad x=a$$

$$pb = x = a, \quad qr = \frac{a^2}{x} = a, \quad a^2 = nbr$$

$$\therefore pb = qr = \sqrt{nbr}$$

故に $pb=qr$ のとき $pb+qr$ は最小なり。

別法 $pb+qr=x$ と置く、 $pq=n$ なるにより

$$p^2b - px + nr = 0$$

$$p = \frac{1}{2b} (x \pm \sqrt{x^2 - 4nbr})$$

p が虚數ならざるために $x^2 - 4nbr \geq 0$ 或は $x^2 \geq 4nbr$ 、故に $x^2 = 4nbr$ のとき x^2 は最小なり此時

$$p = \frac{1}{2b} \sqrt{4nbr} = \sqrt{\frac{nr}{b}}, \quad q = \frac{n}{p} = \sqrt{\frac{nb}{r}} \quad \therefore pb = qr.$$

第四、五、六章の復習

重要な事項

電流、電流の強さ、動電力

電源、電池

電解、電解質、二種の導体、ファラデーの法則、イオン

電解の應用、蓄電池

抵抗、比抵抗

導線の連結法、電池の連結法

重要な公式

$$\text{ファラデーの法則} \quad m = \frac{m}{it}, \quad i = \frac{m}{\rho t}$$

$$\text{オームの法則} \quad i = \frac{e}{r}, \quad i = \frac{E}{b+r}$$

$$\text{比抵抗} \quad r = \rho \frac{l}{s}$$

問題

- (1) 銀貨と銅貨とを取り其一端を相接せしめ他端を舌の上に載するとき
は酸味を覺ゆ、何の爲めなるか。
解 銀貨、銅貨及び唾液にて一の電池を作るを以てなり。
- (2) 電源の種類を列挙せよ。
- (3) 電池衰弱の原因を問ふ。
- (4) 蓄電池に於て極板を格子形に作るは何の爲めなるか。
- (5) 電池の陽極は電解器の陰極に相當す、之を説明せよ。
- (6) 列並びに於ては各導線の傳導度の和は全傳導度に等し、之を證明せよ。

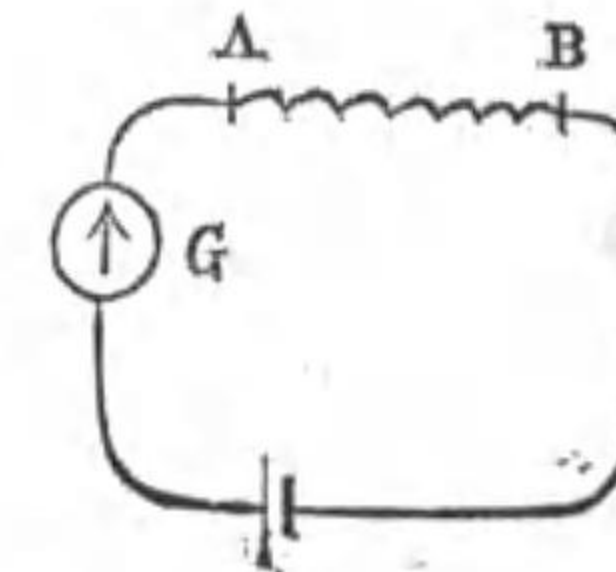
第六章の例題

- (1) 動電力 1.08 ボルト、内抵抗 2.5 オームのダニエル電池の兩極を抵抗 97.5
オームの針金にて連絡するときは電流の強さ幾何。
答 0.0108 アンペア。
- (2) 同上の電池の兩極を 20 オームの針金にて連絡し且つ輪道中に 50 オ
ームの電流計を入るときは電流の強さ幾何。答 0.0149 アンペア。
- (3) 動電力 1.9 ボルトのブレン電池の兩極を 10 オームの針金にて連絡
し且つ其輪道中に 5 オームの電流計を入れたるに 0.125 アンペアの
電流を得たりといふ、電池の抵抗を求めよ。答 0.2 オーム。
- (4) 上記のブレン電池を太き針金にて抵抗 5 オームの電流計に連絡し
て閉輪道を作るときは電流計は電流の強さ幾何を示すべきか。

解 針金は太き故抵抗なきものとす、然るときは

$$i = \frac{1.9}{0.2+5} = 0.365 \text{ アンペア。}$$

- (5) ダニエル電池を圖の如く太き針金にて連絡し輪道中に電流計 G (抵
抗 20 オーム)及び抵抗線 AB を入れて電流
の強さを測りしに AB 線の抵抗 1 オーム
なるときは電流 0.047 アンペアを得、AB
線の抵抗 25 オームなるときは 0.023 アン
ペアを得たりといふ、電池の内抵抗及び動
電力を求めよ。



(401)

解 太き針金の抵抗は無きものと見做し

$$1. \quad i_1 = \frac{E}{b+r_1+g}, \quad 2. \quad i_2 = \frac{E}{b+r_2+g} \quad (g \text{ は電流計の抵抗})$$

$$\therefore i_1(b+r_1+g) = i_2(b+r_2+g)$$

$$b(i_1 - i_2) = i_2(r_2 + g) - i_1(r_1 + g) \quad b = \frac{i_2(r_2 + g) - i_1(r_1 + g)}{i_1 - i_2}$$

之によりて b を得、其値を (1) に入れて E を得、

$$i_1 = 0.047 \quad i_2 = 0.023 \quad r_1 = 1 \quad r_2 = 25 \quad g = 20$$

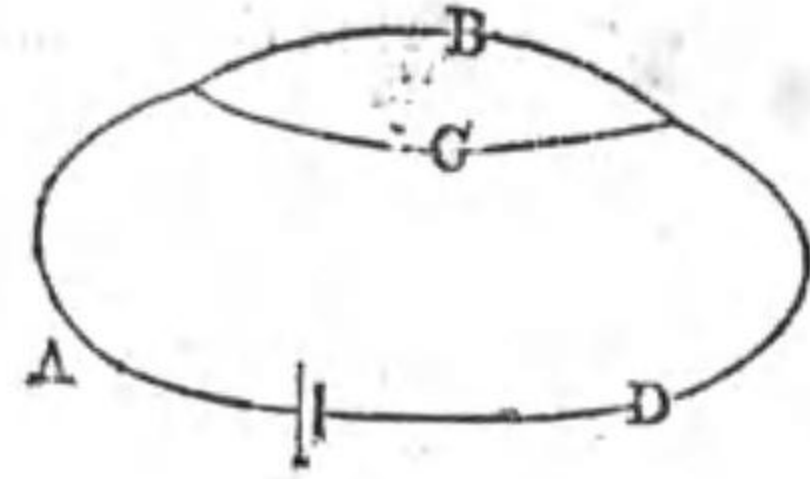
$$\therefore b = 2 \text{ オーム、} E = 1.08 \text{ ボルト。}$$

- (6) 抵抗 1, 2, 3 オームの三個の針金を順次に繋ぎてダニエル電池の兩極

を連絡するときは電流の強さ幾何、但し $E=1.08$ ボルト、 $b=2$ オーム。

答 0.135 アンペア。

- (7) 圖の如く電池の兩極を連絡するとき
は各導線に於ける電流幾何、但し電池
の動電力 E ボルト、電池の抵抗 b オ
ーム、導線 A, B, C, D の抵抗夫々 $r_1, r_2, r_3,$
 r_4 オーム。



(402)

解 先づ全電流を求め、之を抵抗に逆

比例に分てば分派電流 i_2, i_4 を得べし、 B, C 兩導線の全抵抗を r と
すれば

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

之より r を求めて次式に入れば i を得

$$i = \frac{E}{b + r_1 + r + r_4}$$

$$i_1 = i_4 = i, \quad i_2 = \frac{r_3}{r_2 + r_3} i, \quad i_3 = \frac{r_2}{r_2 + r_3} i$$

- (8) 前問に於て $E=2$ ボルト、 $b=1.8$ $r_1=3$ $r_2=2$ $r_3=3$ $r_4=5$ オームなるとき
分派電流 i_2 及び i_3 を求む。

答 $i_2 = \frac{6}{55}$ $i_3 = \frac{4}{55}$ アンペア。

- (9) 内抵抗 0.6 オーム、動電力 1.5 ボルトの電池 7 個を行に繋ぐとき外抵抗
 2 オームとすれば幾何の電流を得るか、又列に繋ぐときは如何。

答 行 1.694 列 0.719 アンペア。

- (10) 内抵抗 0.8 オームの電池 20 個あり外抵抗 4 オームなるとき最大電流
を得べき繋ぎ方を求む。

答 $p=10$ $q=2$ 。

- (11) 内抵抗 $\frac{2}{3}$ オームの電池 6 個あり、外抵抗 2 オームなるとき最大電流
を得べき繋ぎ方を求む。

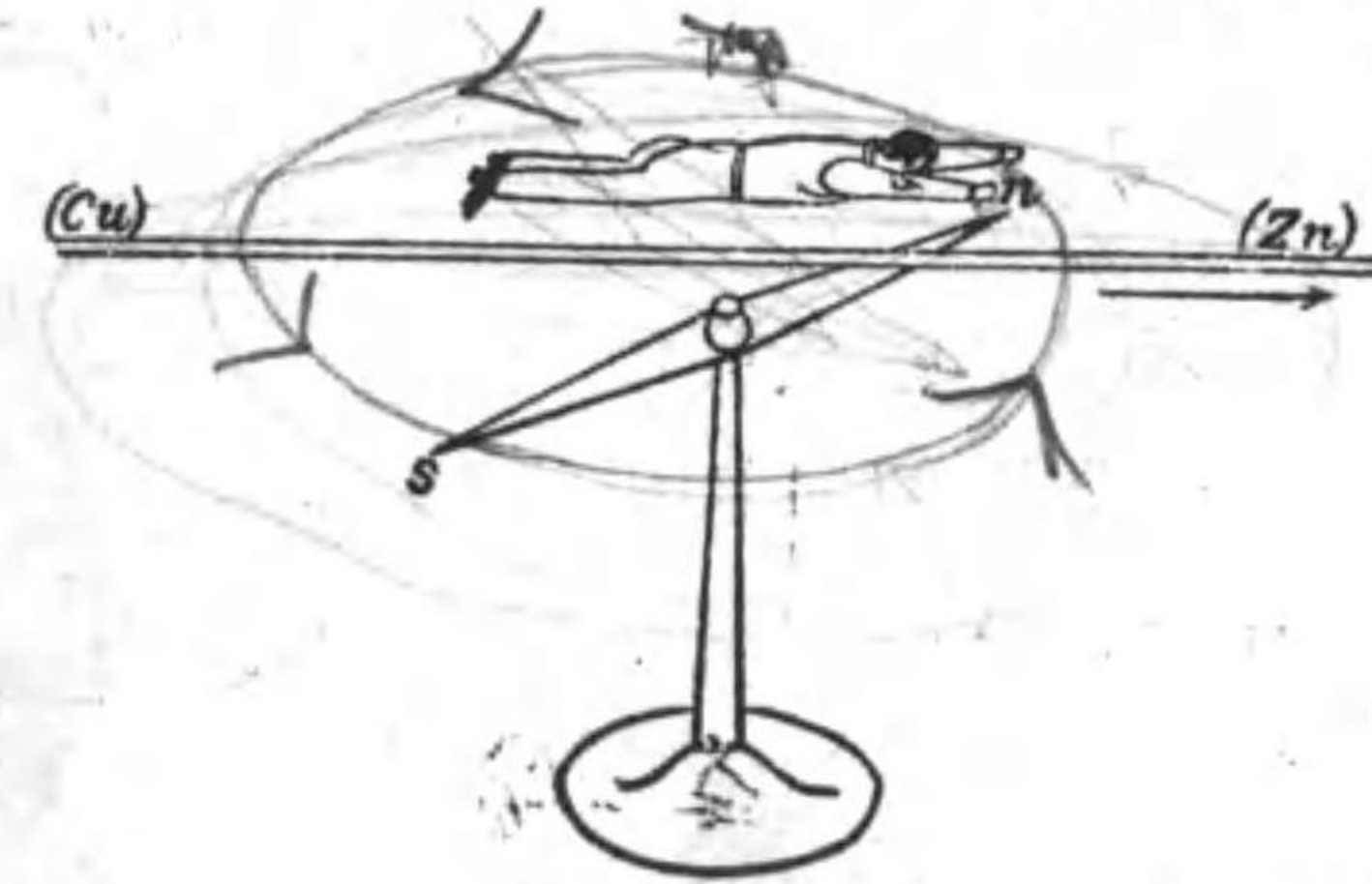
答 $p=3$ $q=2$ 或は $p=6$ $q=1$ 。

- (12) 行列混合の繋ぎ方に於て p 個の電池を行に繋ぎたるもの q 組を列に
繋ぐと、 q 個の電池を列に繋ぎたるもの p 組を行に繋ぐとは何れも等
しき電流を得ることを證せよ。

第七章 電流と磁氣

256. 電流の磁氣作用

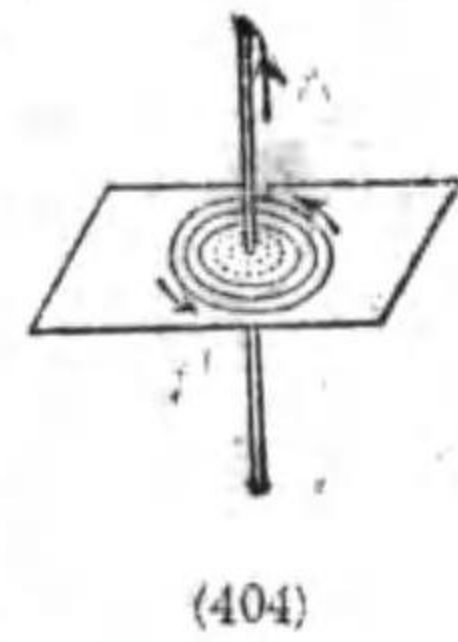
磁針の上に太き針金を架し之に強き電流を通ずると
きは磁針は子午線より偏するを見る、電流の向きを反對
にするときは磁針の偏する向きも亦反對となる、之によ
りて電流は其流るゝ導線の近傍に在る磁石に磁力作用
を及ぼすことを知る、即ち電流の周圍は一の磁場なり、此
事は、エルステット Oerstedt (1820 年) の始めて實驗したる
所にして其後アンペール Ampère は電流の方向と磁針の
偏する方向との關係につき次の法則を述べたり、



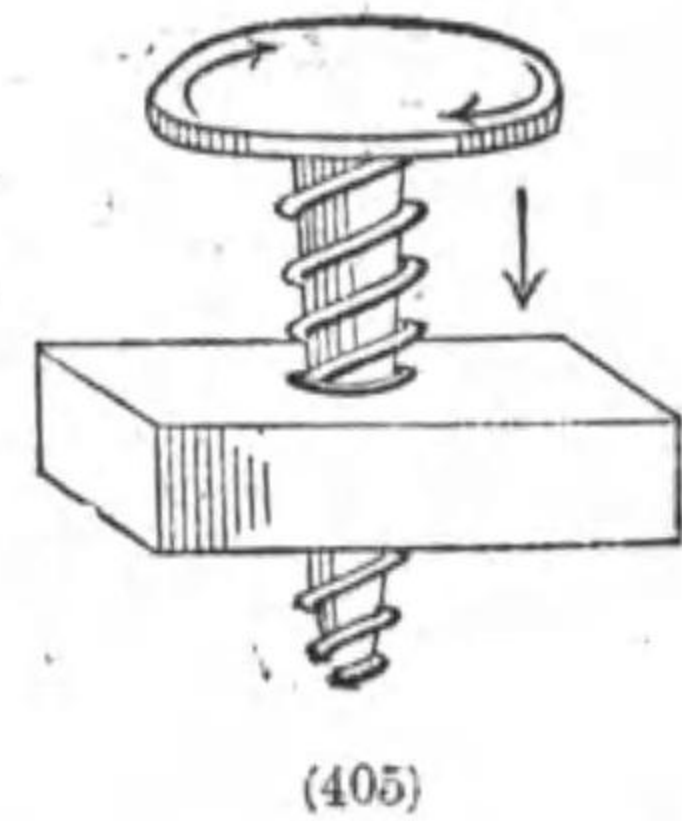
(403)

法則 吾人若し顔を磁針に向け電流が足より頭の方に
流るゝ様に針金を沿うて吾人の身體を置きたり
と假定すれば磁針の北極は左手の方に動かさる
べし。

次に圖の如く厚紙の中心を電流を通せる導線にて貫き其上に鐵粉を撒布するときは鐵粉は導線を中心として圓形に併列するを見る是れ鐵粉が電流の磁氣作用によりて磁石となりて電流の作る磁場の指力線を表はしたるなり、指力線は電流に直角なる面上に於て電流を中心として圓形を爲すを以て見れば電流の磁力は到る所己れに直角なることを知る、指力線は磁石のN極が其に沿うて動かさるべき道なるを以て指力線の向きを知るときはN極は電流のために孰れの向きに動かさるゝかは容易に知ることを得べし。



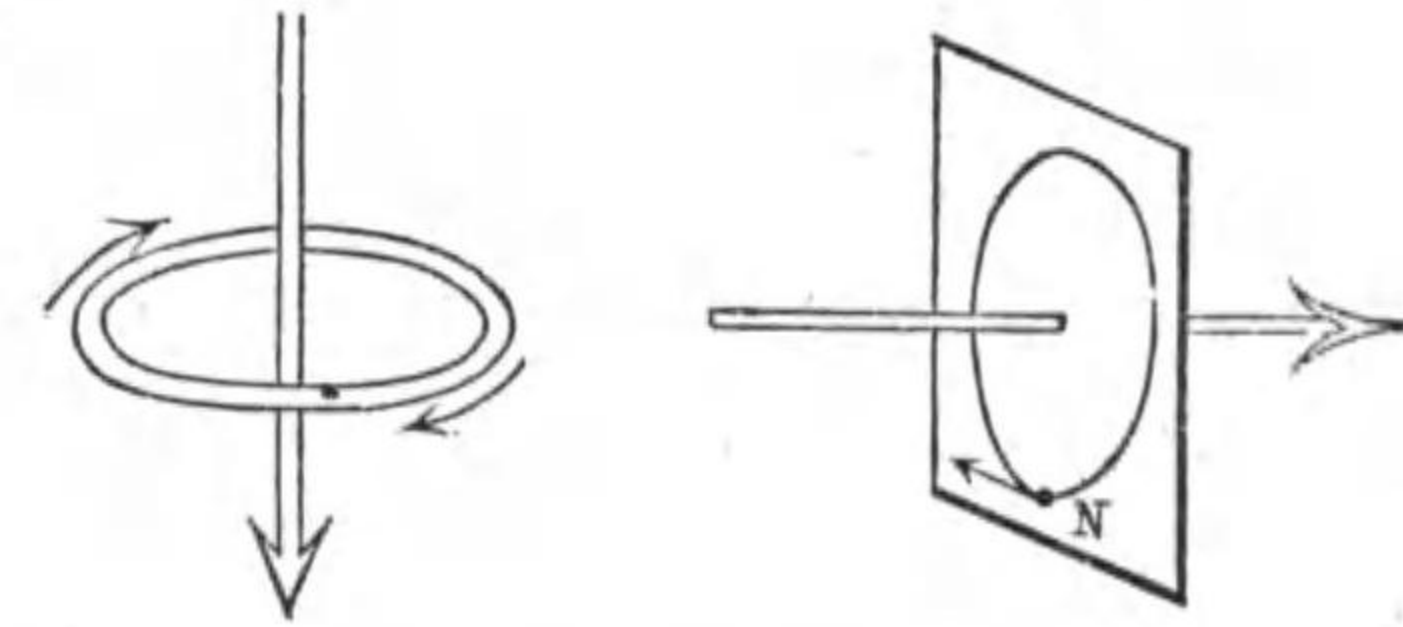
電流の方向と指力線の方向との關係は普通のネジの運動を以て最も適當に表はすことを得、コルク抜をコルクに挿し込み圖に示すが如き方向に廻轉するときはコルク抜は前進す、總てネジは廻轉運動と前進運動とを同時に伴ふものにして兩運動の方向圖に示すが如きときは之を右廻はりのネジといふ普通のネジは此種に屬す。



電流の方向と之によりて生ずる磁場の指力線の方向との關係は恰もネジの進行の方向と其廻轉の方向との關係と同一なり。

換言すれば

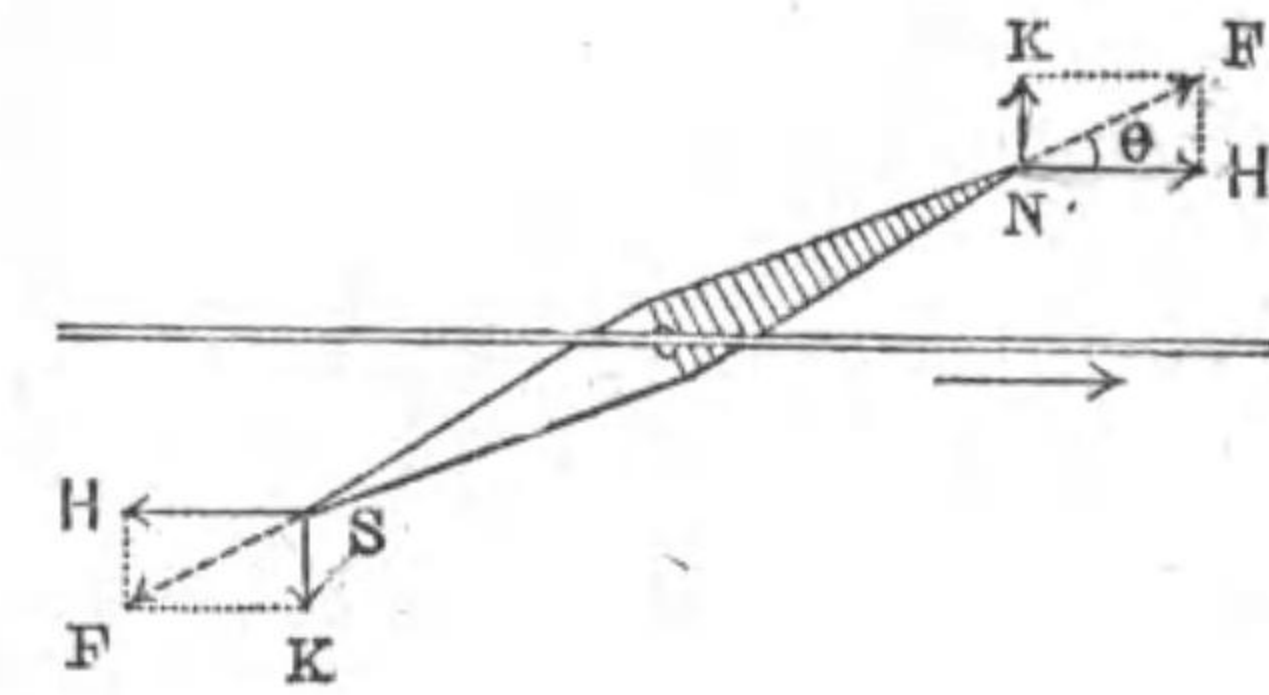
電流の近傍に磁石のN極あるときは電流の方向にネジをねぢ込むため之を廻轉する方向にN極



は動かさる、従つてS極は反對の方向に動かさる。

是亦アンペールの法則なり。

エルステッドの實驗は此法則によりて直に理解するを得べし、即ち磁針の上に南より北の方向に流る電流在るときはN

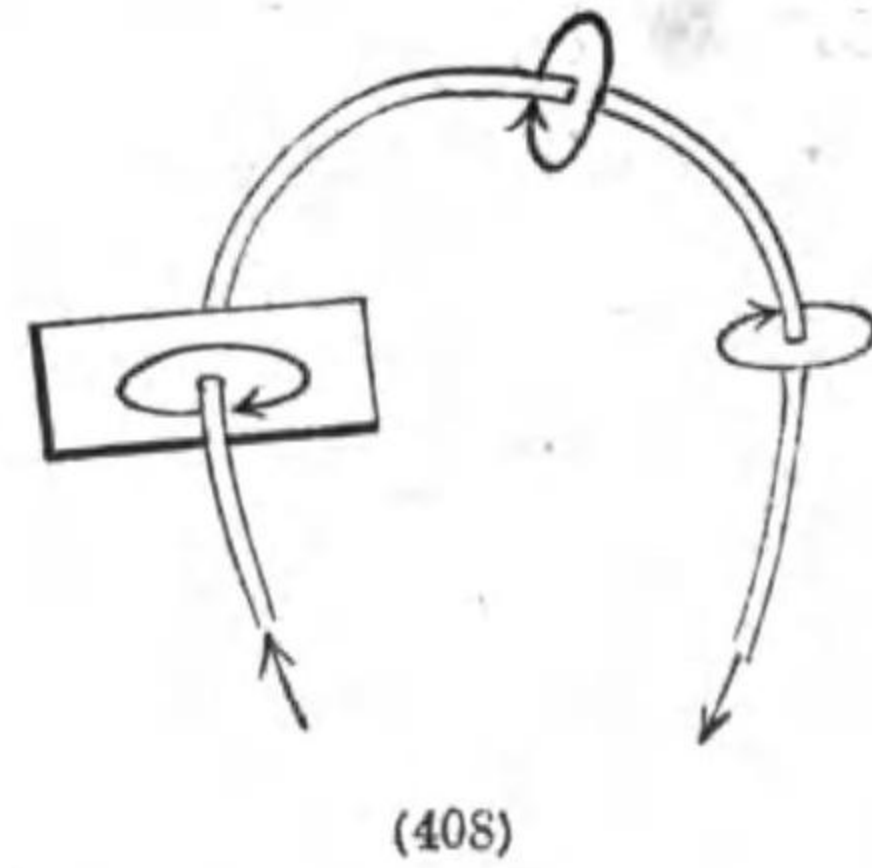


極は西方にS極は東方に動かされて電流に直角なる位置を取らんとす、然るに地磁氣の爲めに作用せられて磁針は中間の位置を取りて靜止す、今磁針を水平に吊したりとし兩極に働く地磁力の水平磁力をHとし電流の磁力をKとすれば磁針はH,Kの合力Fの方向を取りて靜止す、磁針の偏角をθとすれば

$$\frac{K}{H} = \tan\theta \quad \text{或は} \quad K = H \tan\theta$$

Hは一定なるが故に磁針の偏角の大きさによりて電流の磁力を比較することを得、此事は後に述ぶる電流計の場合に必要な事項とす。

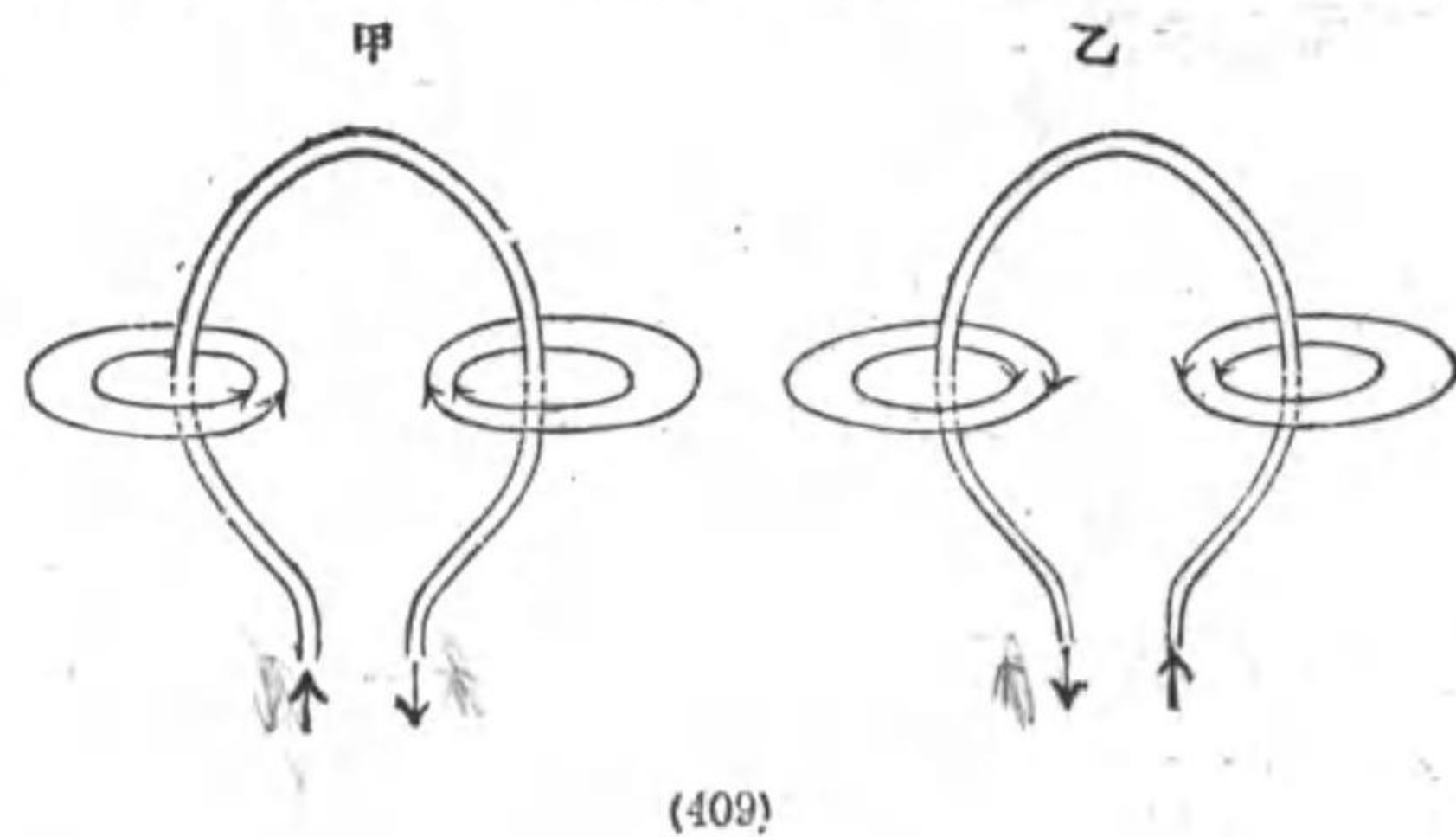
上記ネヂの規則によれば電流の近傍に在るN極が動かさるゝ方向は極めて容易に畫くことを得、即ちN極を含みて電流に直角なる平面



を想像し其面上に於て電流を中心としN極を過ぎりて圓を畫けばN極は此圓に沿ふて矢の方向に動かさるべし。

257. ソレノイド Solenoid.

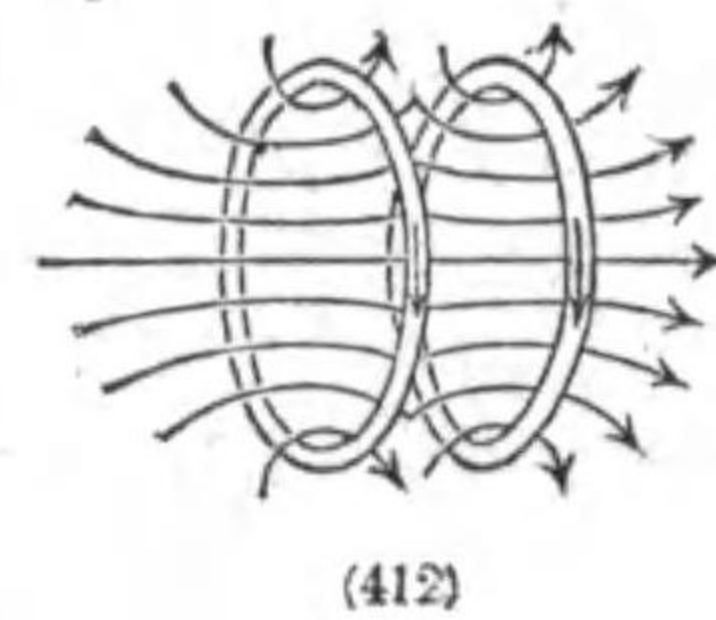
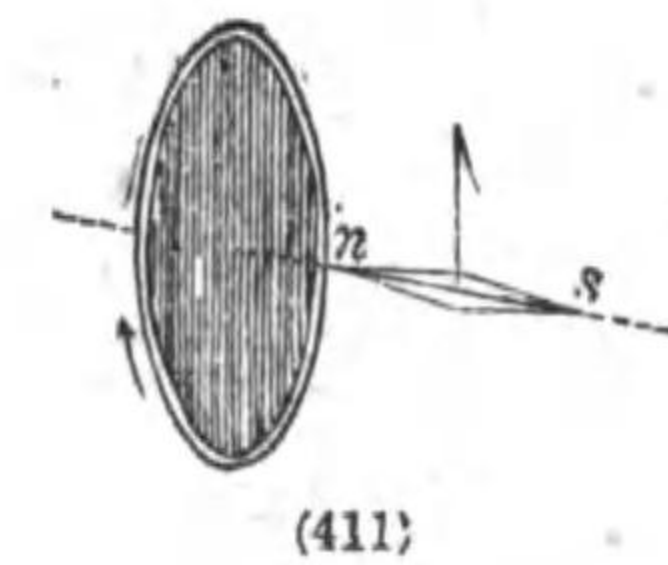
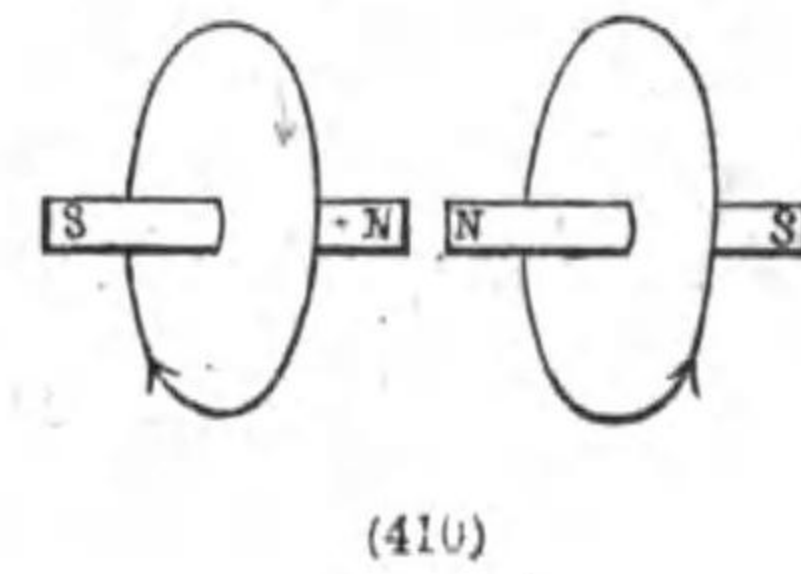
針金を曲げて圓環を作り之に電流を通ずるときは指力線は409圖に示すが如き形を取る、此場合に圓環内に



N極を置くときはN極は導線の各部に於ける電流の作

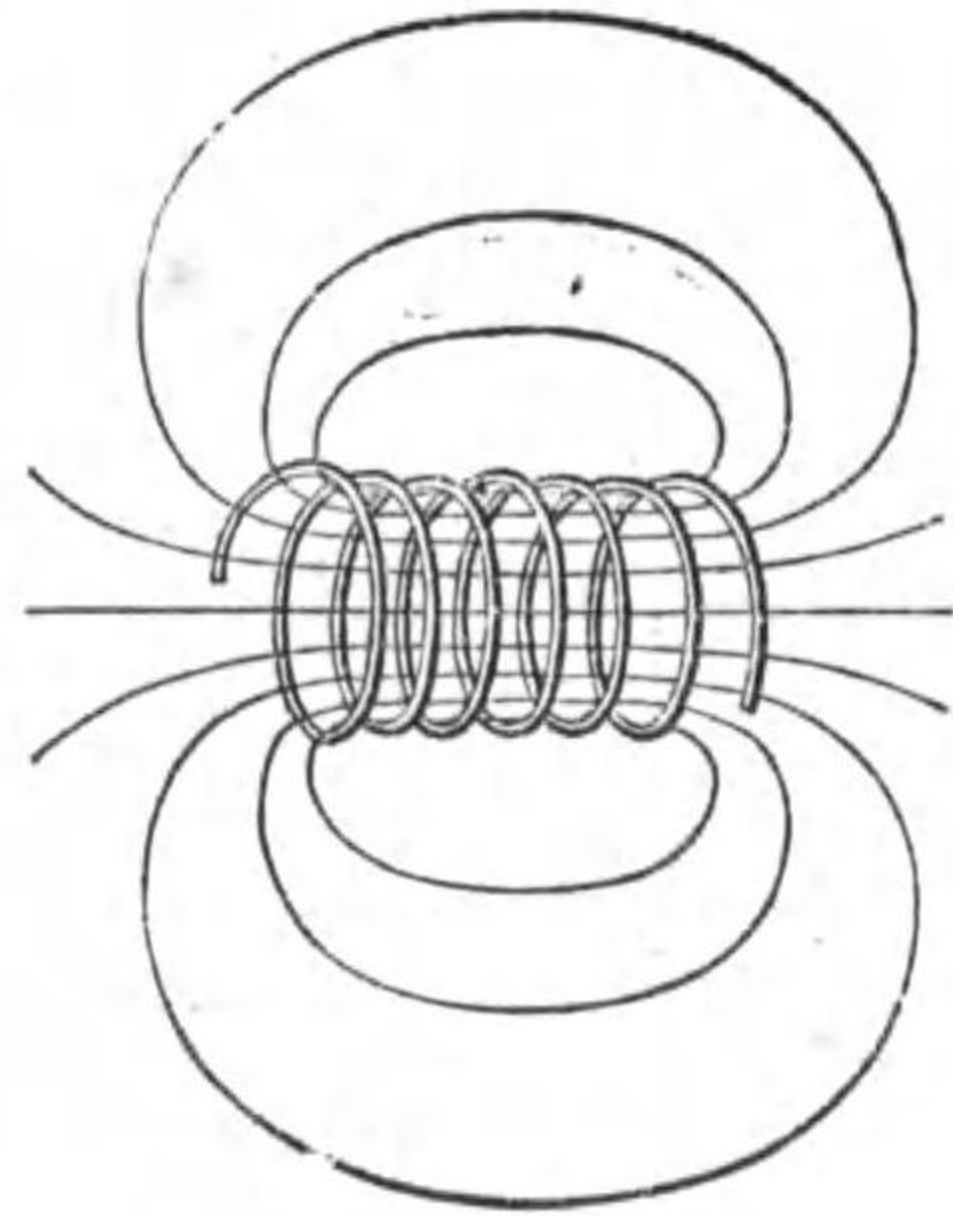
用を受けて甲圖に於ては紙面の後に動かされ、乙圖に於ては前方に動かさるべし。故に圓環内に磁針を置けば

(410圖)磁針は指力線に沿ふて圓環電流の面に直角となるべし(地磁力は作用せざるものと見做す)電流の方向と磁針の兩極の位置との關係は圖に示すが如し、此磁針の方向は即ち指力線の方向を表はす、又圓環電流の前方に磁針を吊すときは磁針の一極は吸引せられ他極は反撥せられて磁針は圓環の面に直角の位置を取りて静止す之によりて圓環電流は一の扁平なる磁石と見ることが得、而し411圖に於ては圓環の前面はS極にして後面はN極なり。



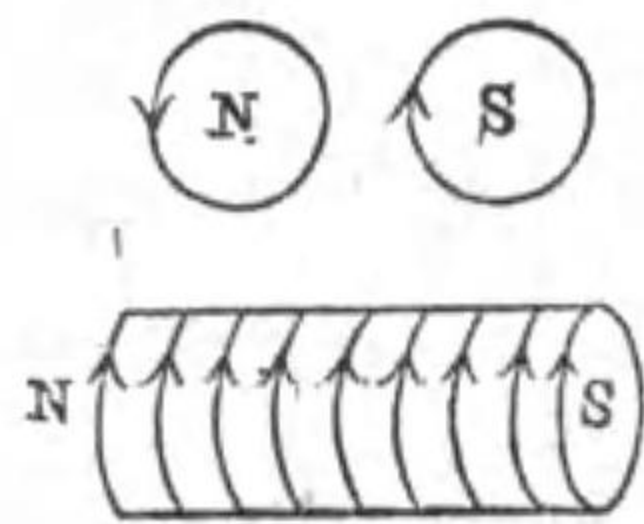
次に等しき電流を二個の同形の圓環に通じ電流の方向同じき様に圓環を併置するときには指力線の形は412圖の如くなる、かゝる圓環電流を多數に併列する時は414圖の如く一の圓筒電流を得べし。此の如く一の圓筒の表面を其軸に直角に且つ同方向に流るゝ電流をソレノイドといふ、實際ソレノイドを作る

には螺旋狀に巻きたる針金に電流を通ずるなり其指力線の形は 413 圖に示すが如くソレノイド内に於ては略ぼ軸に平行にしてソレノイド外に於ては磁石の指力線と同じ形を有す、一個の圓環電流は實は扁平なるソレノイドなり。針金を螺旋狀に巻きたるものをコイルといふ。



(413)

磁氣篇に於て説明したるが如く指力線の出ずる端は N 極にして入る端は S 極なり、ソレノイドに於ても亦同様なり、故にソレノイドは一の磁石と見ることがを得其孰れが N 極なるかは 414 圖を見て知るべし。ソレノイドの極を定むるには次の規則あり、

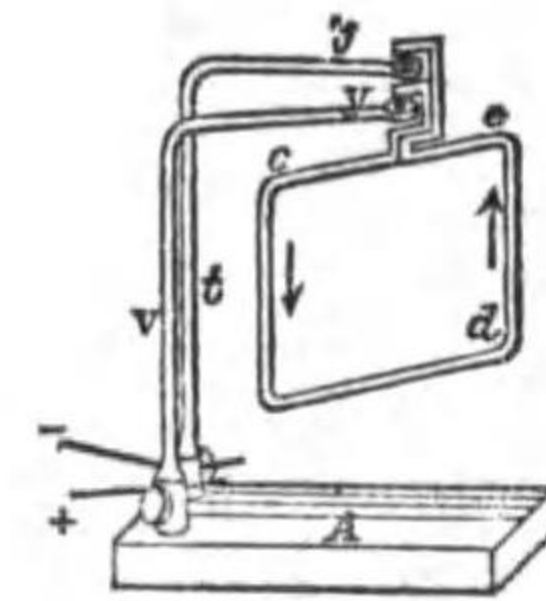


(414)

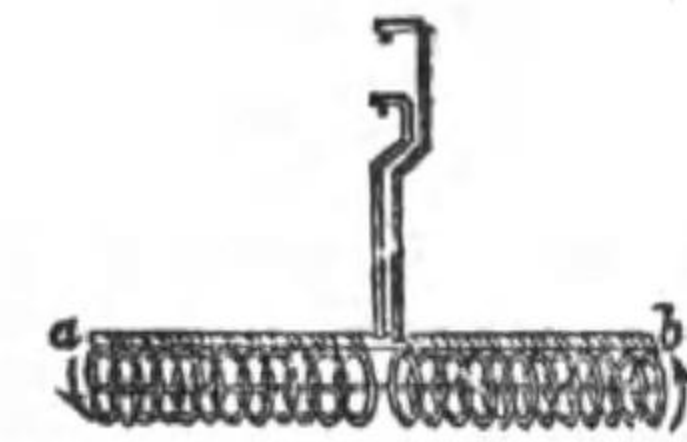
規則 ソレノイドの内にネヂを挿入したりと想像し、此ネヂを圓筒の表面を流るゝ電流の方向に廻轉するときネヂの前進する端はソレノイドの N 極に當る。

ソレノイドの磁氣作用を實驗せんには次の如くす、

1. 磁針の近傍にソレノイドを近づけるときは磁針の極は吸引或は反撥せらる。
2. ソレノイドを吊して水平面内に於て自由に廻轉し得る様にするときは、ソレノイドは地磁の子午線の方角を取りて静止す。



(415)

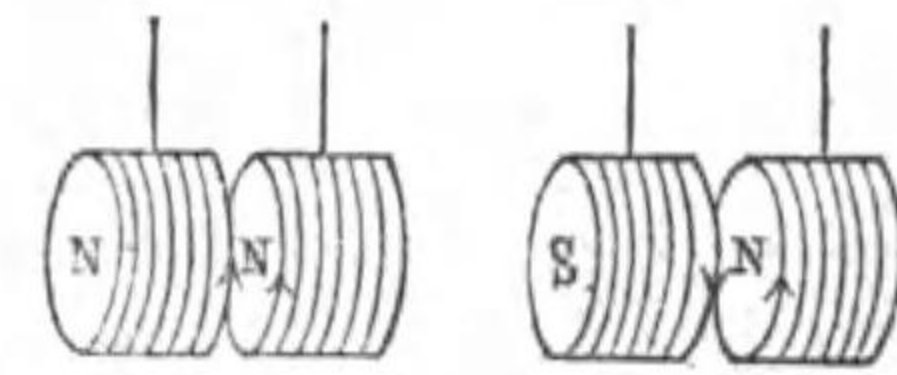


(416)

ソレノイドを吊すには 415 圖の如き枠を用ふ、 cc' は金屬の支柱 y, y' は水銀壺なり、 cde は扁平なるソレノイドにして其端に針を附し水銀壺上に安置せしむ、416 圖は細長きソレノイドの形を示す、

3. かく吊したるソレノイドの近傍に磁石の一極を持來すときはソレノイドは吸引或は反撥せらる、
4. 磁石の代はりに他のソレノイドを近づくるも亦同様なり、而して兩電流の方向が

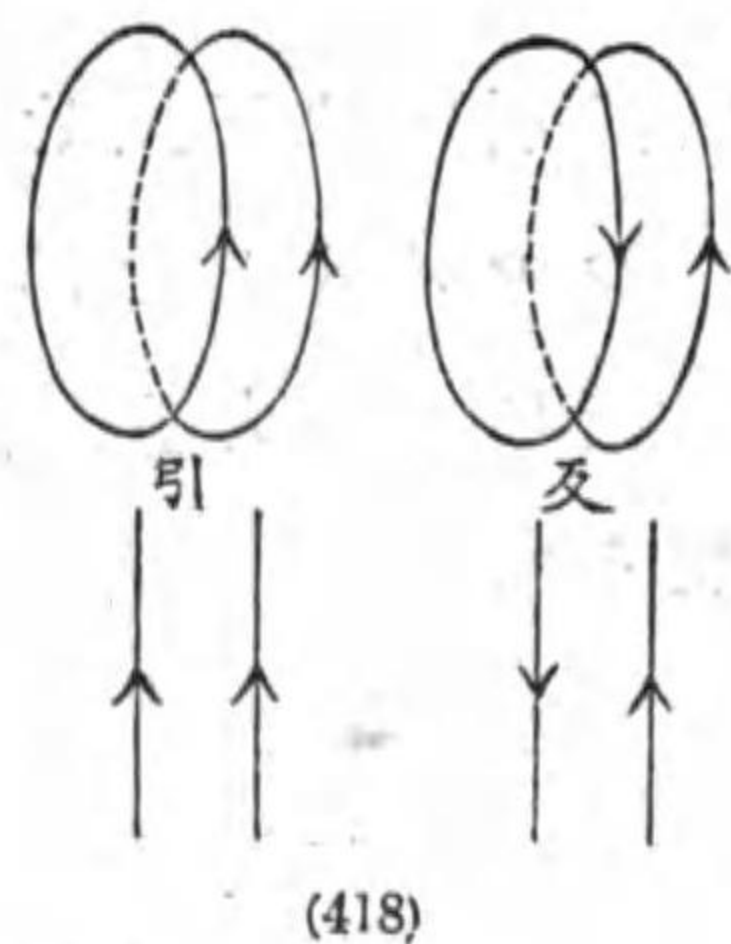
417 圖甲の如く相對する端に於て相等しきときは互に吸引し、乙の如く反對なるときは反撥



甲 引 乙 反

(417)

す、此の實驗は又圓環電流及び直線電流に付て行ふことを得、即ち電流の方向相等しきときは吸引し反對なるときは反撥す、圓環電流は扁平なるソレノイドと見、直線電流は無限大の半徑の圓環電流と見れば其理明なるべし。

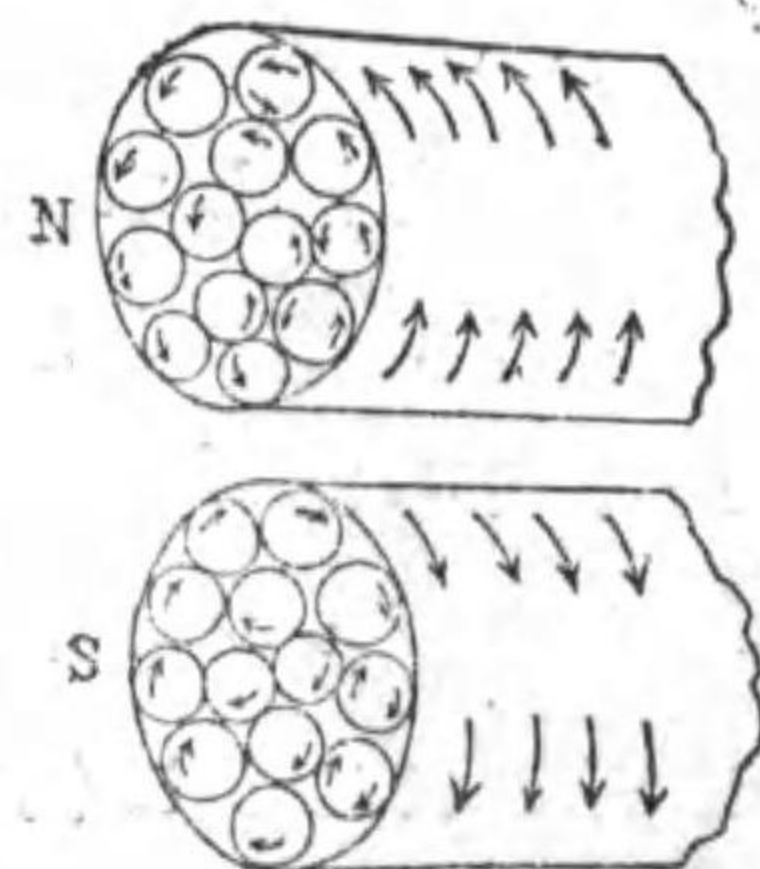


(418)

258. アンペールの分子電流説

上記の如くソレノイドは一の磁石と全く同じ作用を爲す、アンペールは此事實により磁石に關して次の説を立てたり。

一磁石の各分子の周圍には同じ強さの電流が同じ方向に流るるものとす、然るときは磁石の内部に於ては一分子の電流と隣の分子の電流とは互に其作用を消し合ふて磁石の表面には恰も圓筒電流が流るゝ如くなるべし、故に磁石は一のソレノイドの如き有様を呈す。

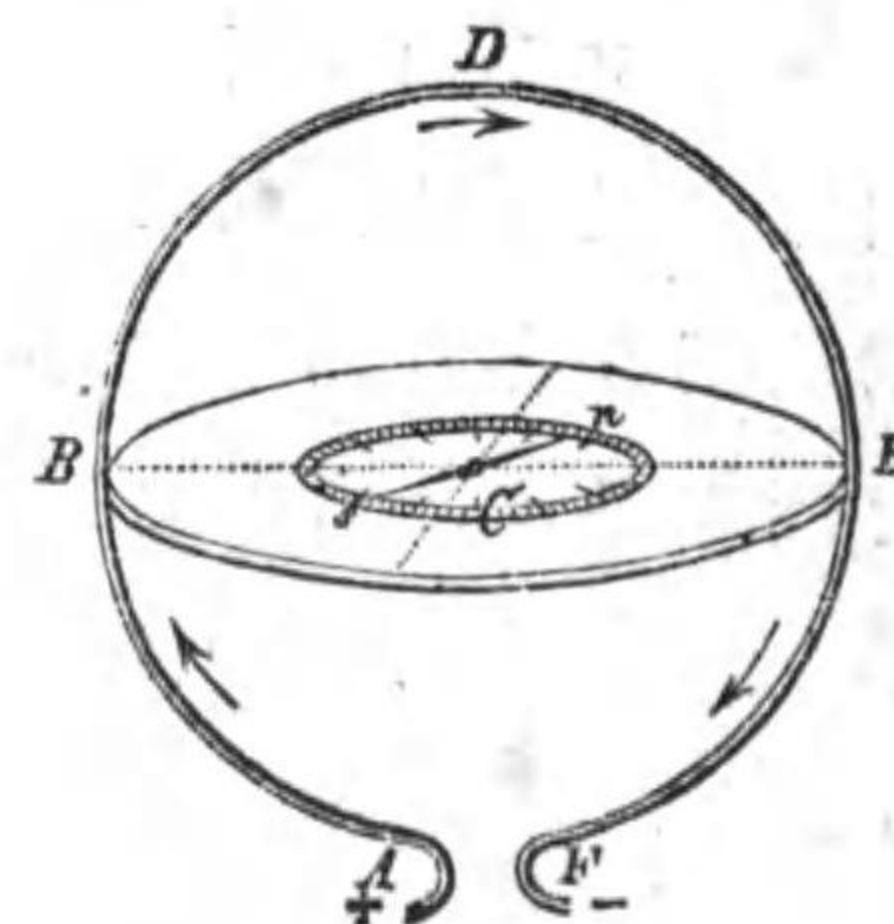


(419)

259. 電流計 Galvanometer.

電流によりて生ずる磁力は電流の強さに正比例する

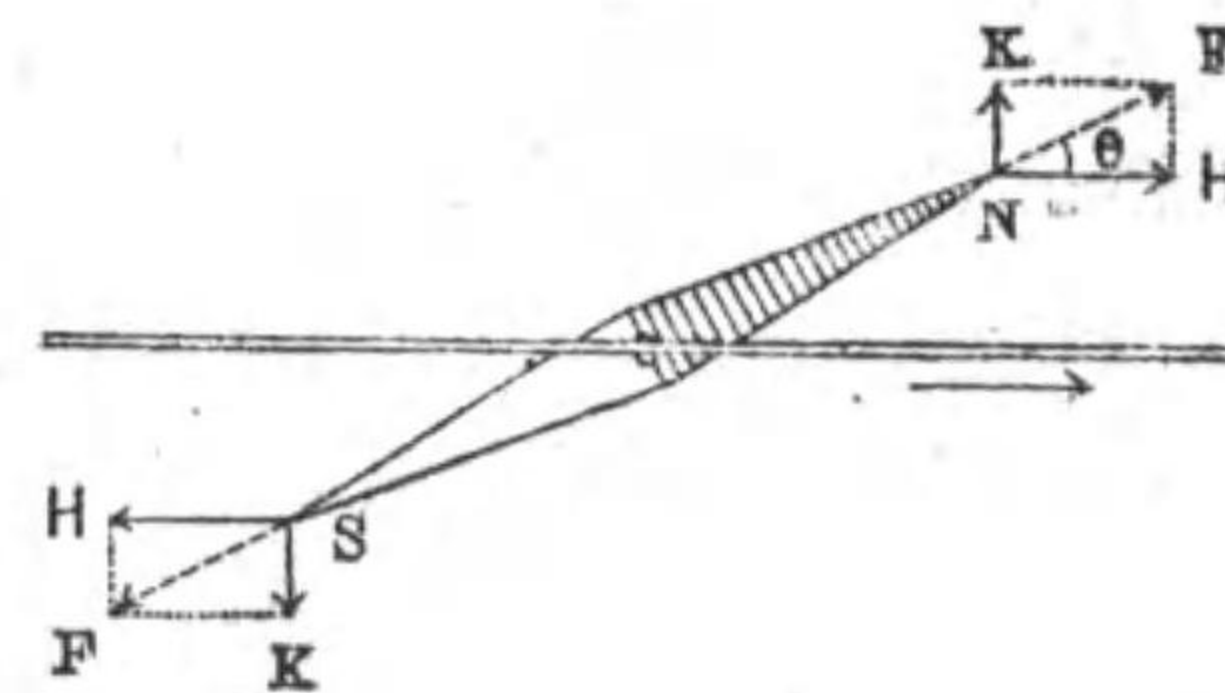
ものなり、是によりて磁力を測れば以て電流の強さを知ることを得、此理によりて電流の強さを測る器械を電流計といふ、其最も普通なるものを正切電流計 Tangent G. とす、其構造は 420 圖に示すが如し、圓形の枠に針金を數回捲きつけ、其中心に小磁針を安置す、針金を捲ける枠を電流計のコイル Coil といふ、磁針の偏角を測る爲め目盛したる圓盤を備ふ、又通常磁針には長くして輕き指針を附す。



(420)

之を使用するには先づコイルの面を地磁氣の子午面内に置き磁針をしてコイルの面と一致せしめ、次にコイルに電流を送るべし、

然るときはコイルは一の扁平なるソレノイドとなるを以て其中心に在る磁針に磁力を及ぼし磁針は偏



(421)

すべし、256 節と同様に偏角を θ 、水平地磁力を H 、電流の磁力を K とすれば

$$K = H \tan \theta$$

電流の強さを*i*とすれば*i*は*K*に正比例するが故に

$$i = kK = kH \tan \theta$$

*k*はコイルの太さ、針金の捲き數等に関する常數なり、故に電流の強さは磁針の偏角の正切に比例す。

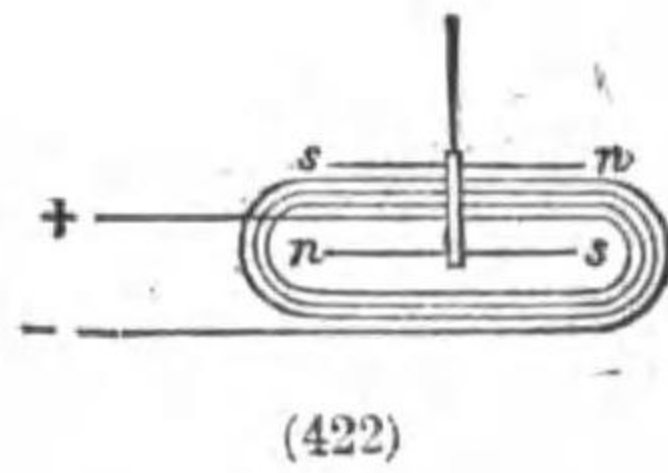
電流弱きときはθは小なるを以て指針を長くして偏角を測り易すからしめ或は地磁力を弱めて偏角を大ならしむ、無定位電流計は後者に屬し、反射電流計は前者に屬す。

*無定位電流計 Astatic G.

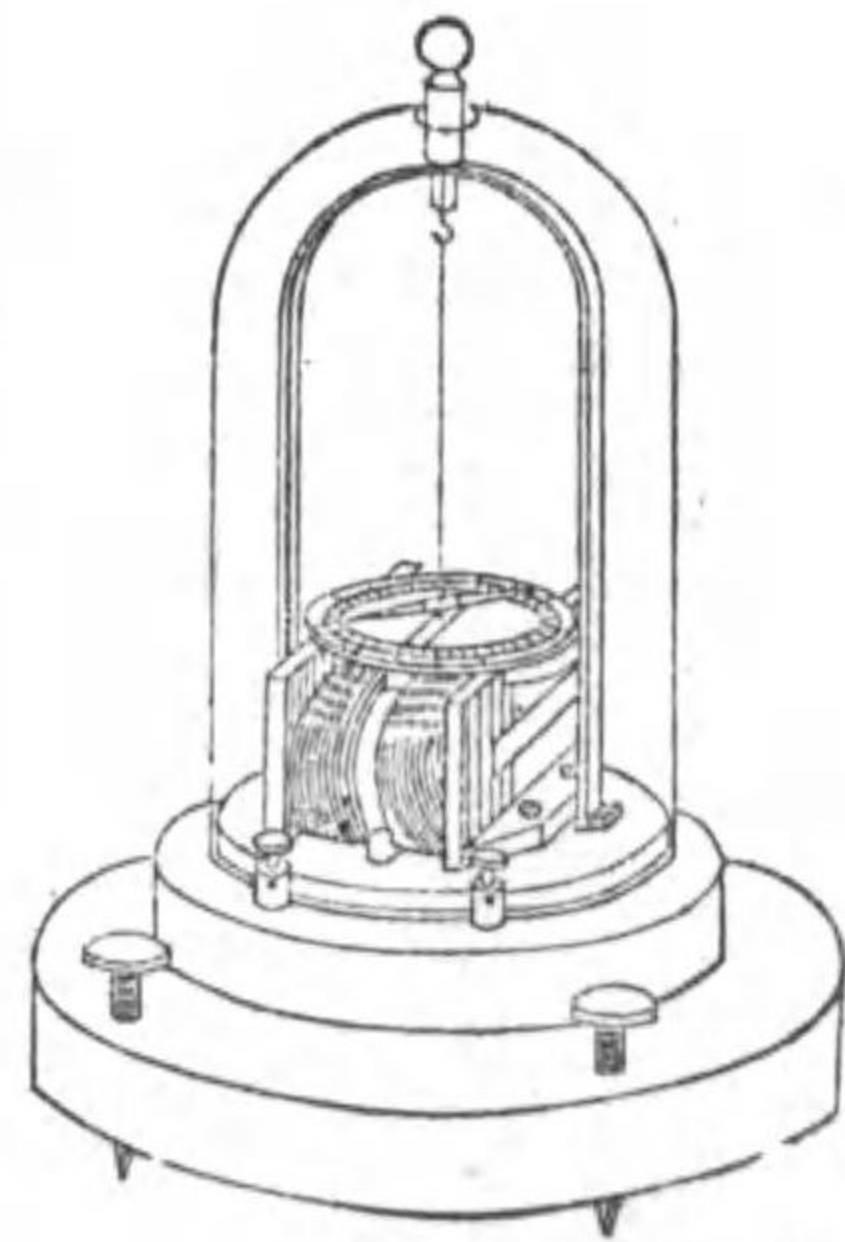
相等しき磁針を

422 圖の如く兩極を反對にして固定したるものを無定位針 Astatic needle と

いふ、此場合には地磁力は上下兩磁針に反



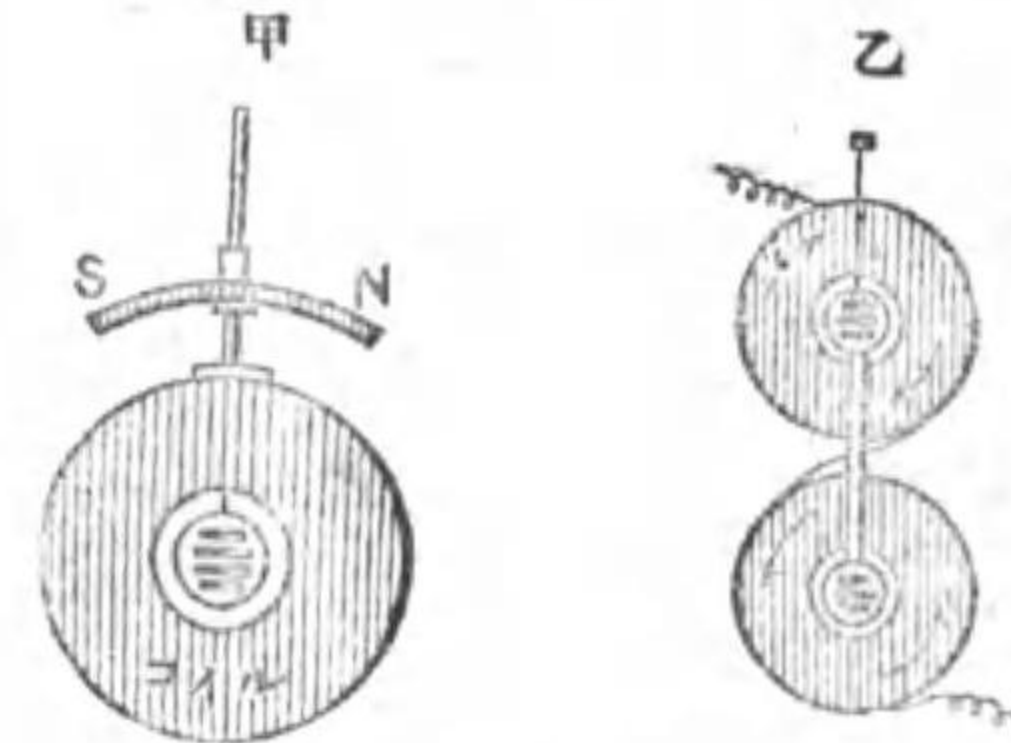
對に作用するが故に磁針は何れの方に於ても靜止すべし。無定位電流計は兩磁針の強さ少しく異なる無定位針を用ひ其周りにコイルを捲き付け之を 423 圖の如く裝置したるものなり、電流を通ぜざるときは針は無定位にあらずして南北の方向を取りて靜止す、之に電流を 422 圖の如き方向に通ずる



ときは上下兩針とも其左端は紙背の方に動かされ右端は紙面の前方に動かさる、此の如く上下兩針に働く地球の磁力は相減殺して微弱となり、電流の磁力は相加はりて強大となる、故に電流弱微なるときにも磁針の偏角は可なり大となるべし。

*反射電流計 Mirror G. は極めて弱き電流を測る器なり、

小なる輕き凹面鏡の裏に小磁針を貼付けて之を吊し其周圍にコイルを捲きたるものなり、今細隙より來る光線を鏡に當て、反射せしめ細隙の像を尺度



(424)

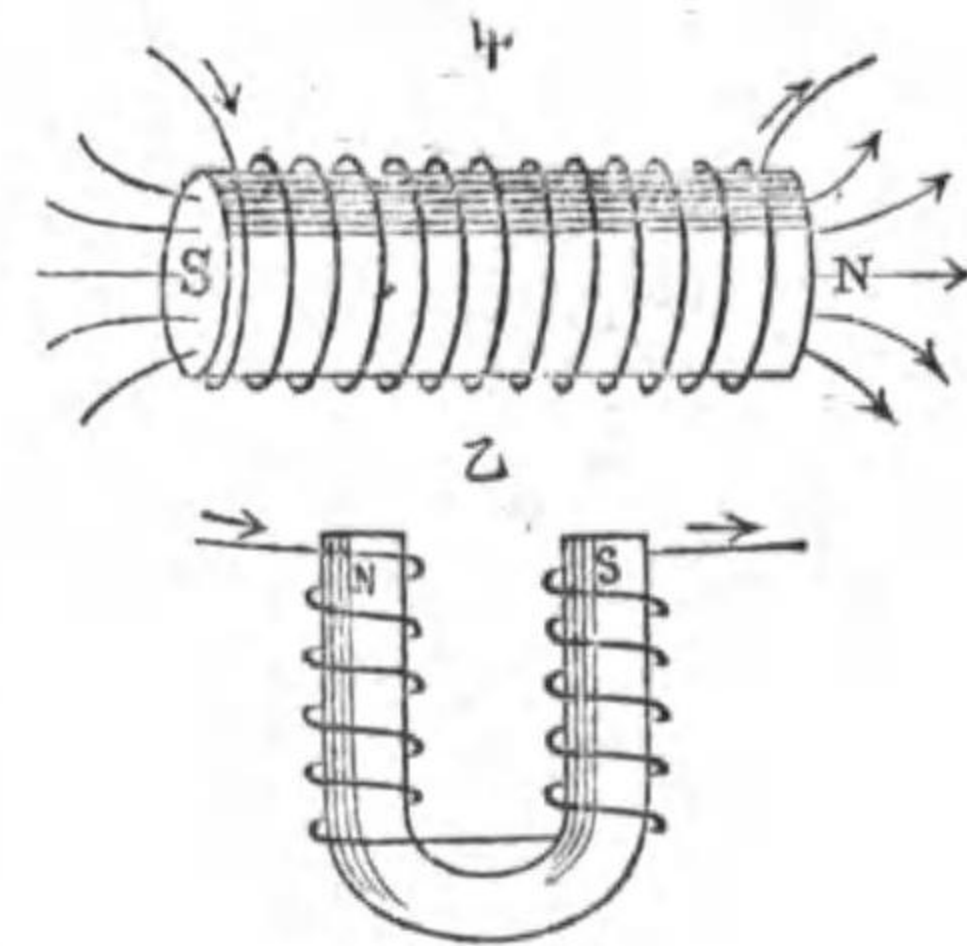
上に結ばしむ然るときは反射光線は一の長き指針の役目を爲し磁針の偏角を示す、大なる磁石 NS (甲圖) は地磁力を打消して電流計を鋭敏にし又鏡を適當の位置に据うる用を爲す。乙圖は無定位裝置の反射電流計を示す。

260. 電磁石 Electro-magnet.

ソレノイドの内部に於ては指力線は其軸に平行なるが故に一様なる磁場にして此所に鐵棒を入れるときは鐵は感應によりて磁石となる、通常人造磁石を作るには此法に依る。コイルの内に軟鐵を入れコイルの針金に電流を通ずるときは軟鐵は一時磁石となり、電流を斷つ

ときは軟鐵は磁氣を失ふ、かゝる装置を電磁石といふ、電磁石の鐵心の極の配置は前と同様に指力線の出入によりて判断すればソレノイドと全く同一なり。

コイルは軟鐵心を有せざるも電流を通ずれば磁石となること勿論なり、されど鐵心在るときはコイル



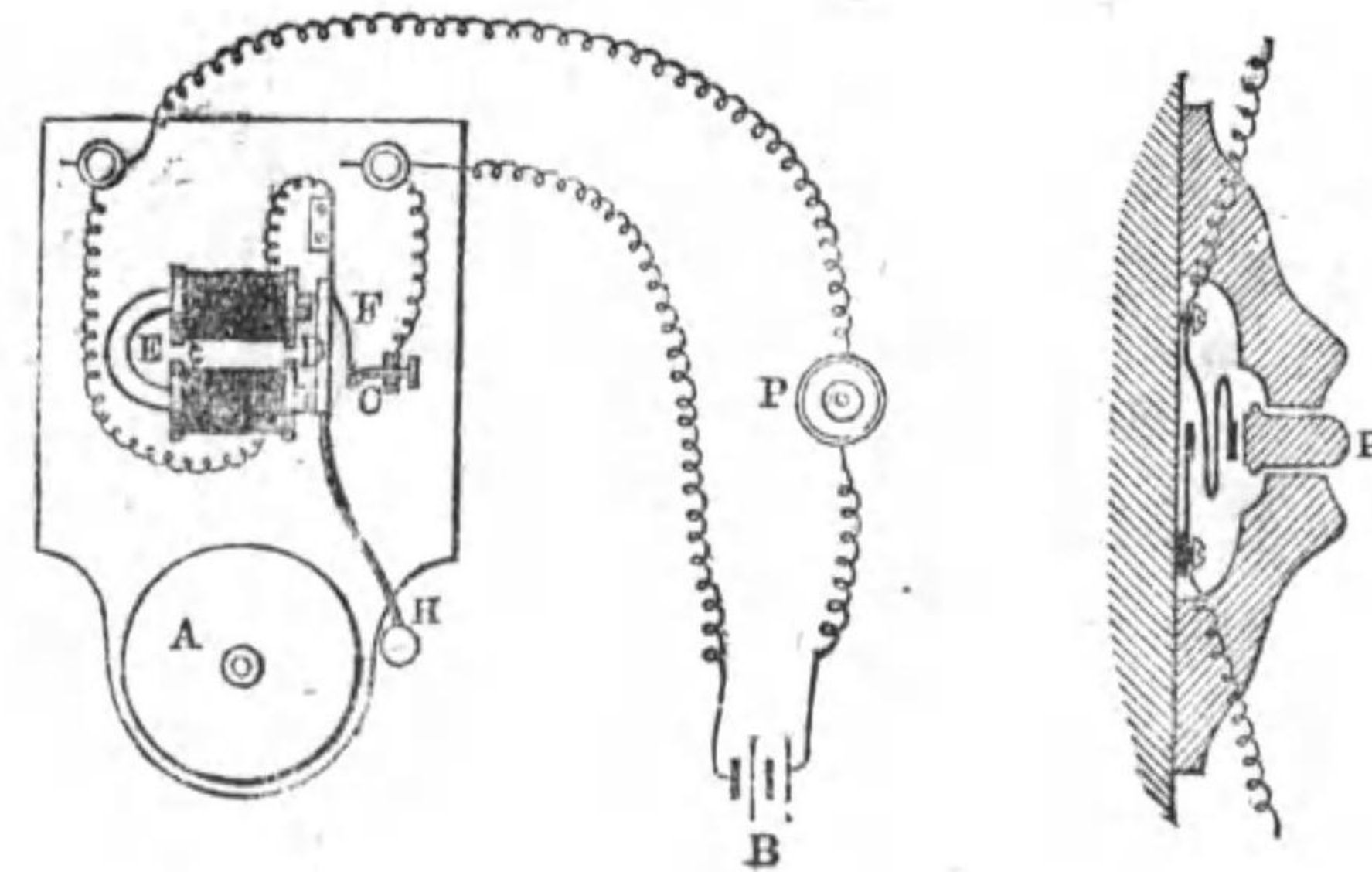
(425)

及鐵心の両者は共に磁石となるを以て鐵心無き時に比すれば強き磁力を呈するなり。

注意 磁石の近傍に軟鐵を持來せば其相近き端は異名の極となる、磁石の代りにソレノイドを以てするも亦然り、然れどもソレノイド中に鐵片を置くときは相近き端は同名の極となる、此事は誤り易き事なれば充分注意するを要す、極の配置に關しては指力線の出づる端がN極、入る端がS極なりと記憶すべし、かくすれば鐵片がソレノイドの内に在るも外に在るも同様に當はまるなり。コイルの捲き方によりて電流は甲圖の如く電磁石のS極より入りN極より出で或は乙圖の如くN極より入りS極より出づることあり、然れどもソレノイドの極の配置は圓筒上の電流の方向によりて定まるものなるが故に電流の出口、入口は極を定むるには無關なることに注意すべし。

261. 電鈴 Electric bell.

其構造は426圖に示すが如し、Eは電磁石、Dは軟鐵片、Fはバネ、Cはネヂなり、軟鐵片はバネにて支へられネヂの尖端に軽く觸る、電鈴の作用は次の如し。



(426)

(427)

1. 釘Pを押すときは電流は電磁石のコイルに入りバネ、ネヂを経て電池に歸る、
2. 軟鐵片Dは電磁石に吸引せられ鎚Hは鈴Aを打つ、
3. バネはネヂより離れて電流は斷ち電磁石は磁氣を失ふ、
4. 鐵片はバネの彈性によりて舊位に復す、
5. バネとネヂとは相觸れて電流は再び流る、

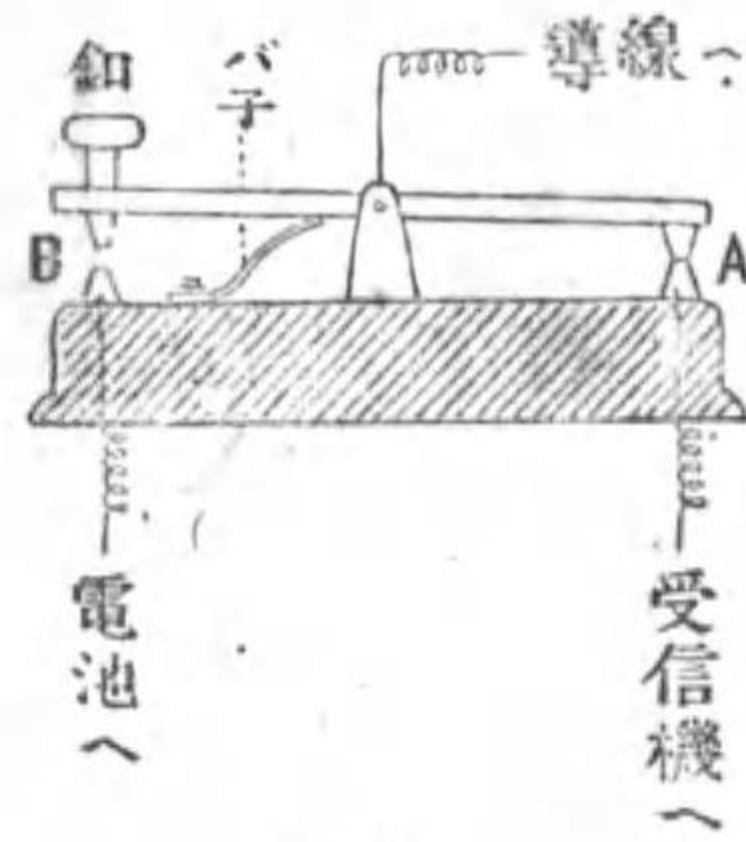
此の如く電流は自動的に斷續して釘を押す間鈴は打たるゝなり、釘の構造は427圖に示すが如し、電鈴には通常ル克蘭シエ或は乾電池を用ふ。

262. 電信機 Telegraph.

電信機は發信機 Key 及び受信機 Receiver より成る

導線 は亜鉛を鍍したる鐵線を用ふ、昔しは甲乙兩局を連絡するに往復二條の導線を用ひたれども現今は其一條は地球を以て之に代ふ、之が爲め導線の端に銅板を附して地中に埋め以て導線と地球との連絡を充分ならしむ。電信には通常ダニエル電池(又は蓄電池)を用ふ、導線の抵抗(即ち外抵抗)は極めて大なるを以て總ての電池を行に繋ぎて用ふ。

發信機 は輪道を開閉する器械なり、エポナイト板上に木製の臺を置き其上に金屬柱を建つ、之を支柱とせる金屬製の槓杆 AB あり、其兩端に坐金を附す、支柱は導線を経て他局の受信機に連絡し、 A 端は自局の受信機に、 B 端は電池に連絡す、 B 端にエポナイト製の釦あり、釦を押さ



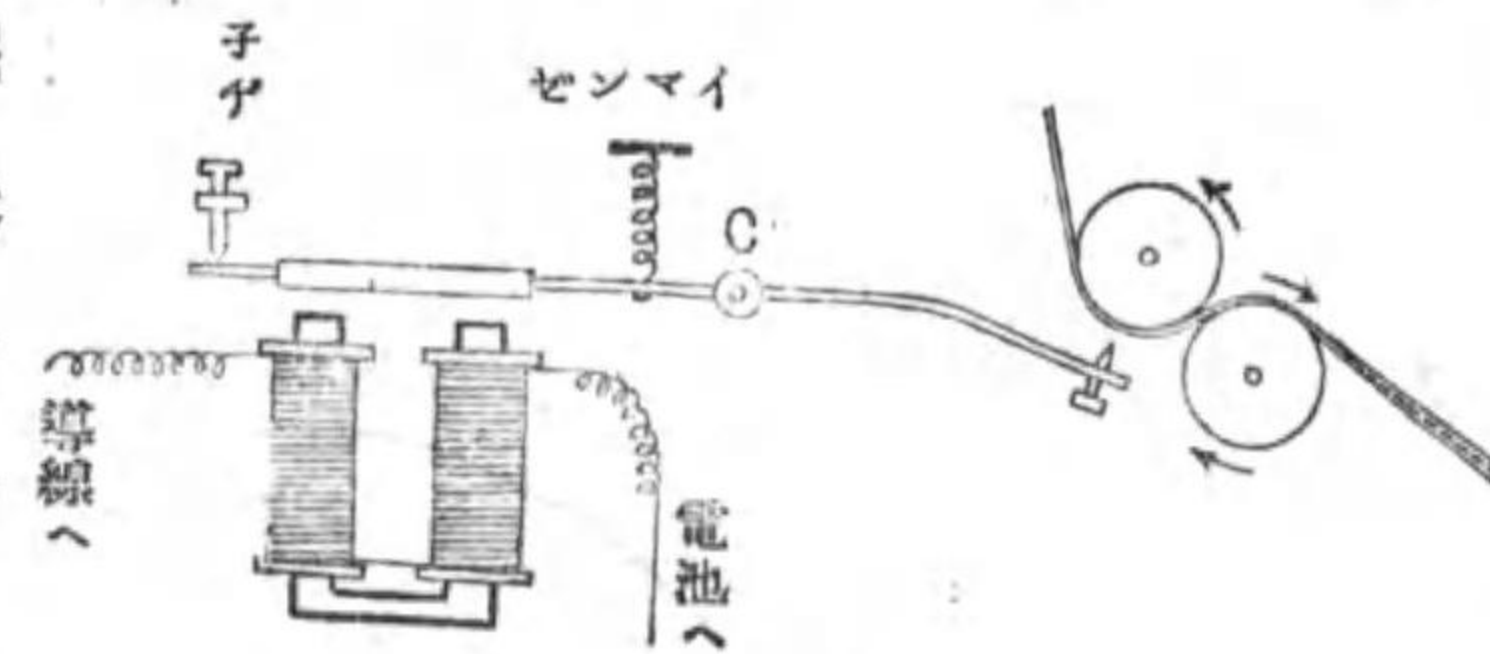
(428)

る間はバネの作用によりて B は開き A は閉ぢて受信機を導線に連絡し、釦を押すときは B は閉ぢて電池を導線に連絡す。

受信機 の要部は電磁石なり、其上に在る軟鐵片は C を支點とせる槓杆の一端を爲す、ゼンマイ及びネヂの作用によりて軟鐵片を適當の位置に保つ。電磁石のコイルに電流を通づるときは軟鐵片は電磁石に吸引せられ

て下り、槓杆の他端に在る針は上りて二個の小車の廻轉によりて引き出

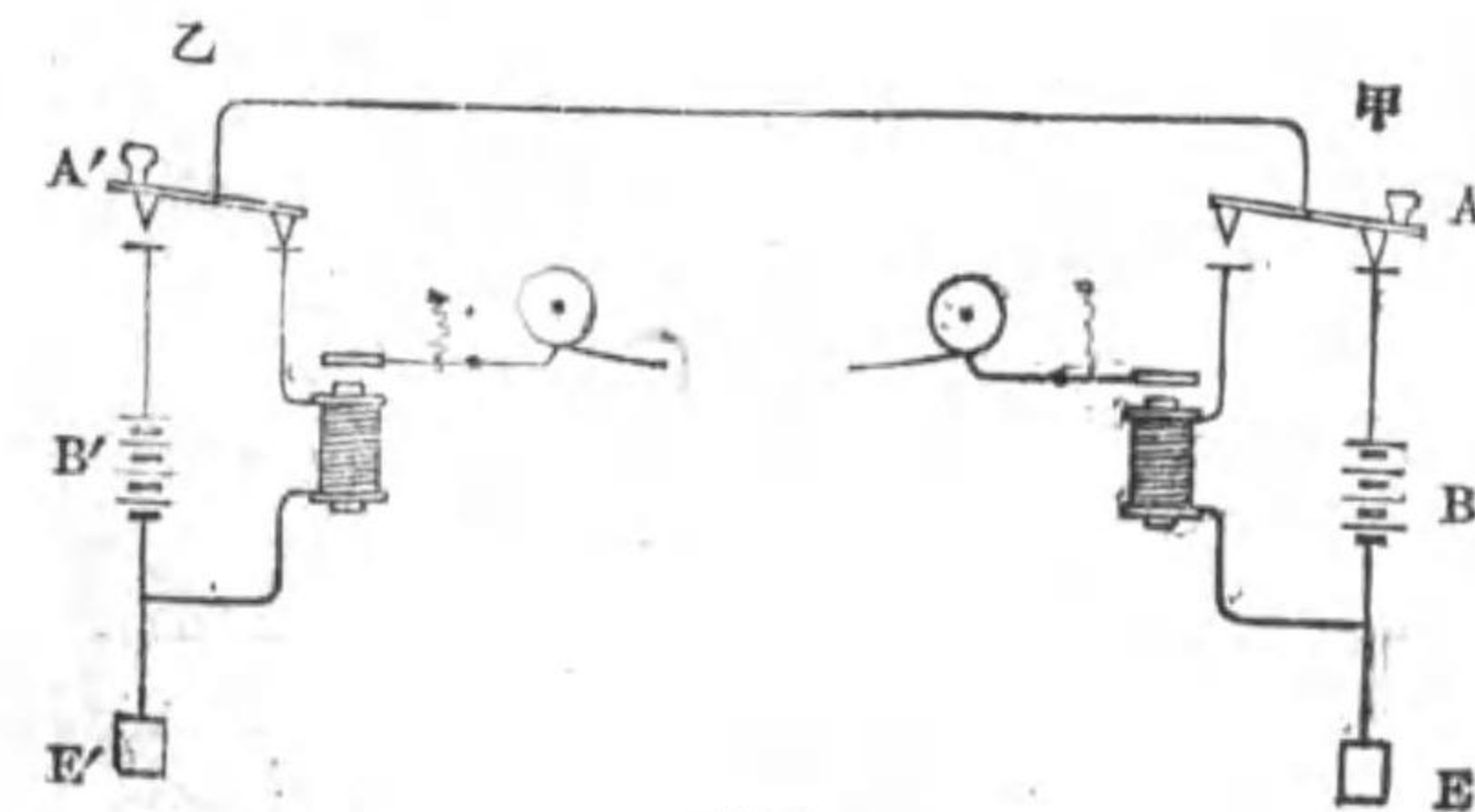
されつゝある紙片を押す、電流を断つときはゼンマイの弾力によ



(429)

りて軟鐵片は舊位に復す、

連絡 發信機及び受信機を連絡すること下圖の如し。

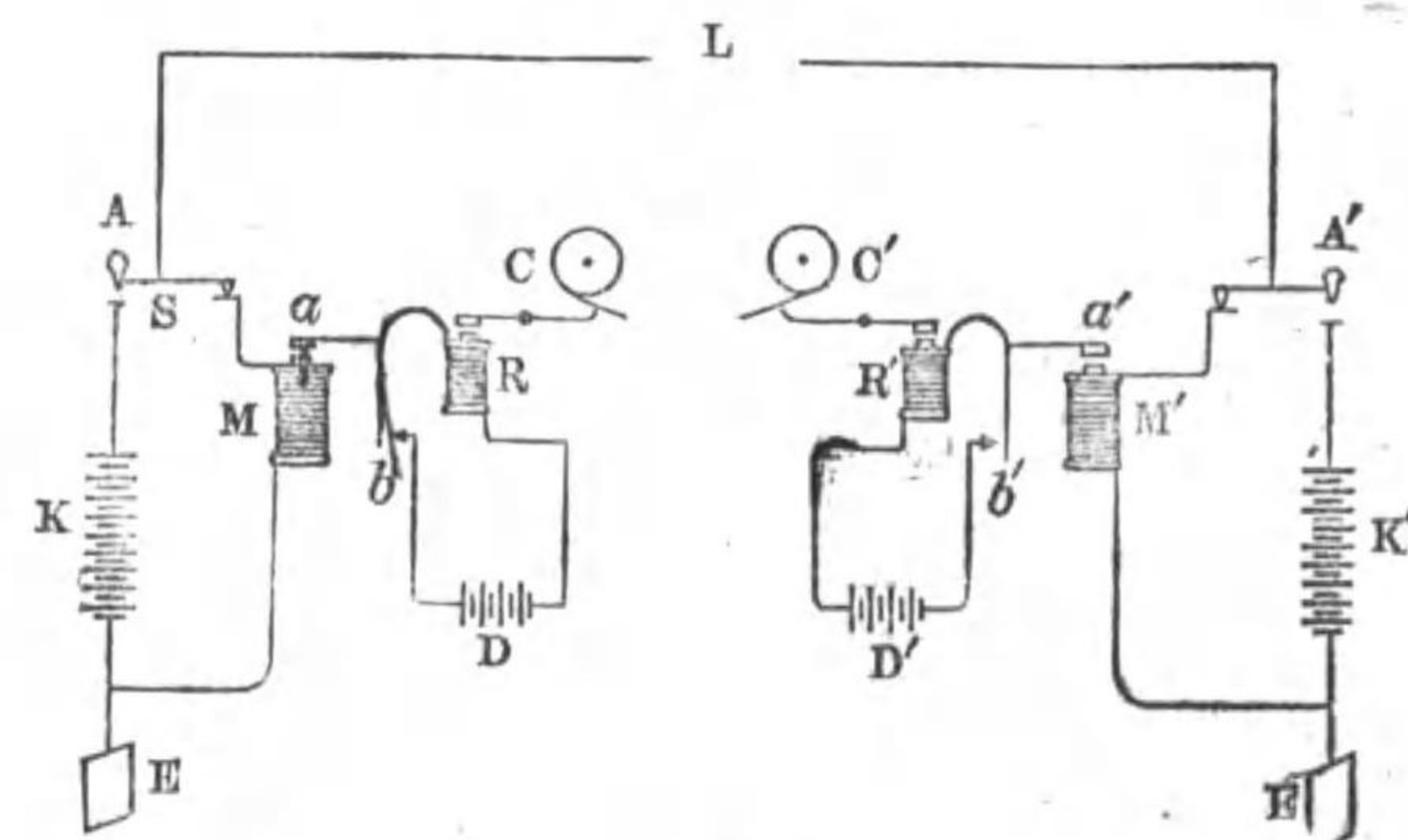


(430)

今甲局の發信機 A の釦を押すときは電池 B より發する電流は導線を経て乙局の受信機を通り銅板 E' によりて地中に入り E に達して電池 B に復歸す、此際乙の受信機の電磁石は軟鐵片を吸引し其他端に在る針は紙片を押す、此の如くして甲の電池の輪道を開づる時間の長短に應じて乙の受信機は紙片に長短の線を印す、是によりて

信號を甲より乙に通ずることを得。同様に乙の發信機の鈕を押すときは電流は甲の受信機に通じて之を働かしむるなり。

繼電器 Relay. 甲乙兩局間の距離遠く従つて電流弱くして受信機を働かすこと能はざるときは繼電器と稱するものを用ふ、是又一の電磁石にして其軟鐵片は弱き電流にても容易に動く様に裝置したるものなり。431圖



431)

は繼電機を用ひたる連絡の様態を示す、 MM' は繼電器、 RR' は受信機の電磁石なり、 DD' は受信機に附屬せる電池にして其輪道は bb' に於て開閉する裝置とす、今鈕 A を押すときは電池 K より發する電流は L を經て M' 中に入り EE' を經て K に復歸す、之に依りて a' は M' に吸引せられ b' 點は連續して D' の輪道閉づ、依て R' は働く。同様に

A' を押すときは R は働く。此の如くして兩地間に信號を通ずることを得るなり。

電信符號は次の如し鈕を長き時間押すときは長符を得、短時間押すときは短符を得。

イ	ル	ナ	ケ	ミ
ロ	ヲ	ラ	フ	シ
ハ	ワ	ム	コ	エ
ニ	カ	ウ	エ	ヒ
ホ	ヨ	キ	テ	モ
ヘ	タ	ノ	ア	セ
ト	レ	オ	サ	ス
チ	ソ	ク	キ	濁
リ	ツ	ヤ	ユ	半濁
ス	ネ	マ	メ	

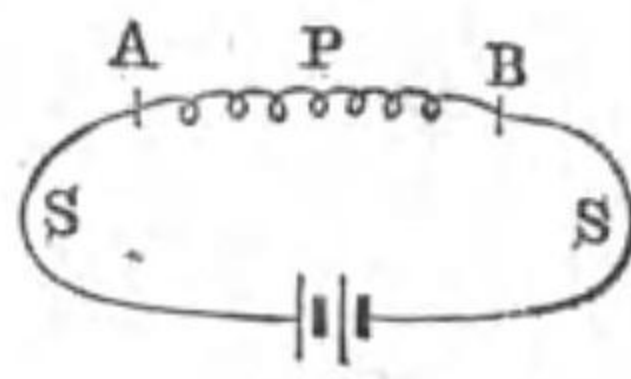
第八章 電流と熱

263. ジュールの法則 Joule's law.

電流の通ずる輪道の各部は多少熱せらるゝものなり
 ジュールの研究によれば

法則 輪道の各部に於て單位時間に發生する熱量は電
 流の強さの二乗と其部分の抵抗との相乗積に正
 比例す。

之をジュールの法則といふ。此故に抵抗を異にする種
 種の針金を順次に連結し之に電流を
 通ずるときは電流の強さは各部同一
 なれども抵抗の大なる所は熱を生ず
 ること多く抵抗の小なる所は熱を生
 ずること少し。圖に於てPを白金線としSを同じ太さの
 銀線とすれば白金の抵抗は銀の抵抗よりも大なるが故
 に電流相當に強きときは銀は左程熱せられざるに白金
 は充分熱せられて光を放つに至るべし。



(432)

抵抗 r オームの導線に i アンペアの電流を通ずると
 き一時間に發生する熱量を H カロリとせば

$$H = k i^2 r, \text{ 但し } k = \text{常數}$$

精密なる實測の結果に依るに $k = \frac{1}{4.2}$ なるを知る。

導線の兩端の電位差を e ボルトとせばオームの法則
 により $e = i r$ なり故に

$$r = \frac{e}{i} \quad \therefore i^2 r = i e$$

故に一時間に發生する熱量は

$$H = \frac{1}{4.2} i e \text{ カロリ}$$

又 t 時間に發生する熱量を Ht カロリとせば

$$\begin{aligned} Ht &= \frac{1}{4.2} i^2 r t \\ &= \frac{1}{4.2} i e t \end{aligned}$$

264. 電流のエネルギー

電位の定義によれば二點間の電位の差とは $+1$ の電
 氣を低電位の點より高電位の點まで搬ぶに當り電力に
 抗して爲さるべき仕事にして、又高電位の點より低電位
 の點まで搬ぶとき電力の爲す仕事の量なり。故に $+Q$
 の電氣が電位差 V なる二點間を運搬せらるゝとき爲さ
 れたる仕事の量は QV エルグなり (但し電氣量及び電位
 差は C.G.S. 理論單位にて表はしたりとす)。若し i アンペ
 アの電流が e ボルトの電位差の間を流るゝとき一時間
 に電力の爲す仕事の量 W を計算せんに

$$\begin{aligned} 1 \text{ アンペア} &= 1 \text{ 秒間に } 1 \text{ クーロン} \\ &= 1 \text{ 秒間に } 3 \times 10^9 \text{ 理論單位} \\ 1 \text{ ボルト} &= \frac{1}{300} \text{ 理論單位} \end{aligned}$$

故に $W = (i \times 3 \times 10^9) \times \left(e \times \frac{1}{300} \right) = ie \times 10^7$ エルグ

故に i アンペアの電流が電位差 e ボルトの間を流るときは一秒間に $ie \times 10^7$ エルグつゝのエネルギーが輸送せらるゝなり、恰も高處に在る水が流下するときには水はエネルギーを下流に輸送するが如し。若し此エネルギーが總て熱に變態するものとせば

$$1 \text{ カロリ} = 4.2 \times 10^7 \text{ エルグ}$$

$$\therefore ie \times 10^7 \text{ エルグ} = \frac{1}{4.2} \times ie \text{ カロリ}$$

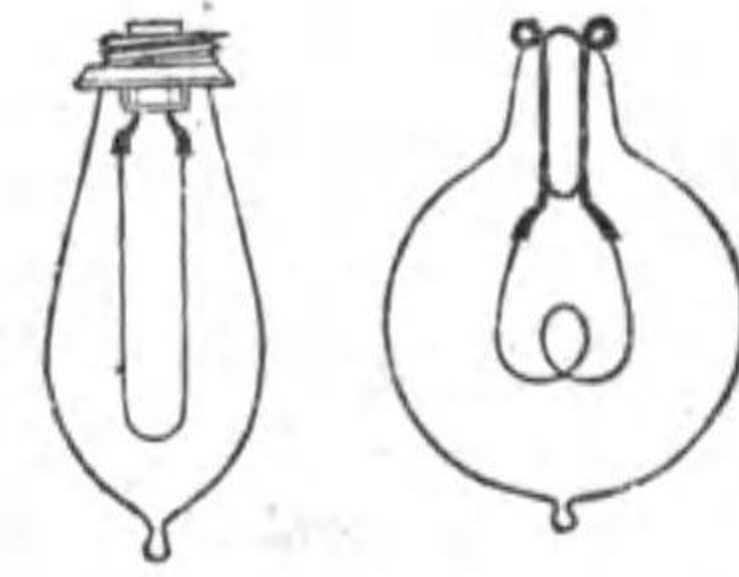
即ち此電流を通ずる導線は一秒間に $\frac{1}{4.2} \times ie$ カロリの熱を發生すべきなり、而して此値は前節に述べたる實測の結果と全く一致す、此の如くしてジュールの法則は理論上證明するを得たり。若し電流が器械的仕事等を爲す場合には發生する熱量は固より上記の値よりも小なり。

毎秒 10^7 エルグの工率を1ワット Watt と稱す、故に i アンペアの電流を e ボルトの電位差の間を流すときは其工率は ie ワットなり。電氣工業上「電力」と稱するは馬力の力と同様に力にあらずして工率即ち一秒間の仕事を表はす之を測るにワット或は其千倍なるキロワット Kilowatt を以てす。又工業上電位差或は動電力のことを「電壓」と云ふ電氣學に於ける電位差は水力學に於ける壓力の差に相當するを以てなり。

265. 電氣燈 Electric lamp.

電氣燈は電流の生ずる熱を利用したるものにして白熱燈及び弧燈の二種あり。

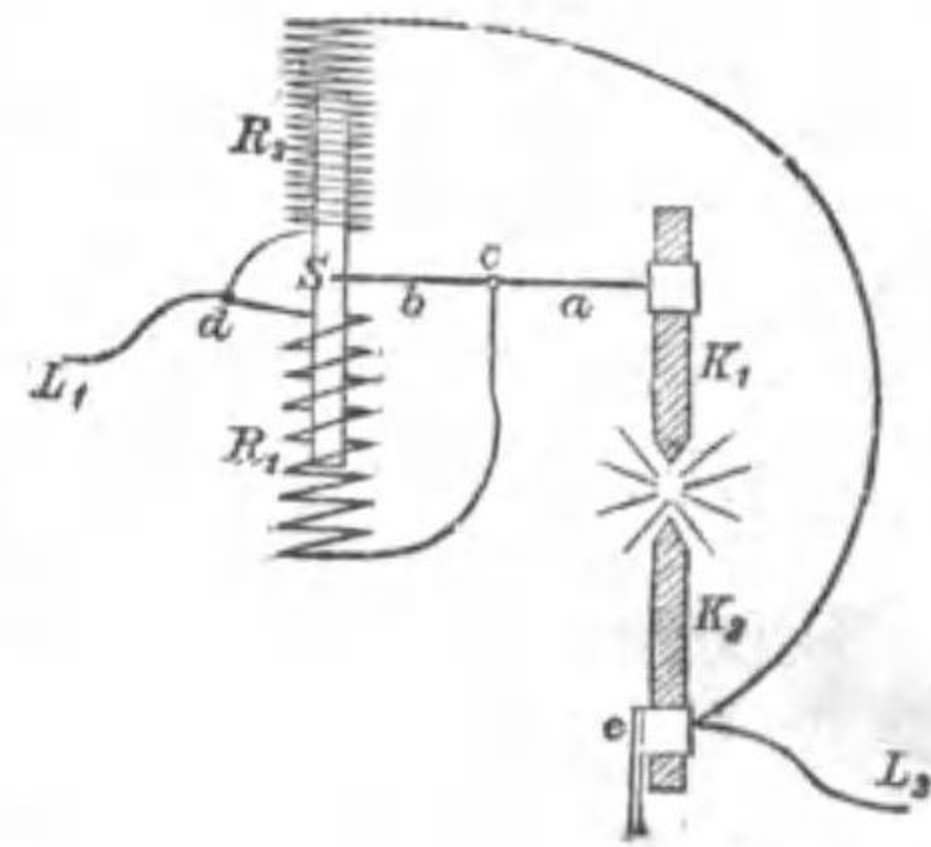
白熱燈 Incandescent lamp. 真空硝子球内に細き炭素線を封入したるものにして之に電流を通ずるときは炭素は抵抗大なるにより非常に熱せられて白光を放つ。炭素線はセルローズを焼き製す、炭素線を支持するには硝子球に挿



(433)

入せる二本の白金線を以てす、白金は硝子と熱膨脹率を等しうするを以て温度の變化あるも融着部に間隙を生ずることなし、硝子球内の空氣を排除せんにはスプレングルの水銀空氣ポンプを用ふ、球の下端に在る突起は排除口を封じたる痕跡なり、球内を真空に保つは炭素線の燃焼せざらんが爲めなり、然れども白熱燈の生命には限りあり、是れ炭素線は輝くに當り炭粉を飛散せしめて硝子を曇らすを以てなり、且つ炭素線は漸々細くなるを以て終に切斷するに至る、普通の白熱燈の生命は千時間以下なり。十六燭光の白熱燈を輝かすには100ボルトの電壓にて0.56アンペアの電流を要す即ち十六燭光に付て $100 \times 0.56 = 56$ ワットの電力を要し一燭光に付き約3.5ワットを要す。

弧燈 Arc lamp. 弧燈は二個の太き瓦斯炭棒 $K_1 K_2$ より成る、先づ二個の棒を相接觸せしめて電流を通じたる後兩者を引き離すときは火花は其間隙を飛ぶ之がため炭素の一部は蒸發し電流は炭素蒸氣及び熱せられたる空氣を傳はりて通ず、炭素蒸氣の抵抗は非常に大なるが故に棒の兩端は 2000° より 3000° 以上の溫度に達し白色の光焰は弧狀を爲して棒の兩端に互る此故に弧燈の名あり。弧燈を輝かすときは炭の一部は陽極より陰極に飛ぶため陽極の消耗すること陰極の二倍なり、且つ空氣中にて輝かすが故に炭素棒は酸化して消耗す、かく炭素棒の間隔に變化を來すが故に燈火用には通常其間隔を一定に保つ所の自働裝置を附す、其働きは(1) L_1 より來る電流は d に於て二途に別れ一は R_1 なるコイルを通り $ca K_1 K_2$ を經て L_2 に出で一は R_2 を經て直に L_2 に通ず、但し R_2 の抵抗は R_1 の抵抗よりも大なりとす、又 ab は c を支點とする槓杆にして其一端は炭素棒 K_1 を支へ他端はコイル $R_1 R_2$ 中に挿入せる軟鐵棒を支ふ、(2) 始め $K_1 K_2$ 相接するときは多分の電流は R_1 を通過し鐵心 S を引き下げ従つて K_1 は上げらる、(3) $K_1 K_2$ の間隔増して抵抗増加するが

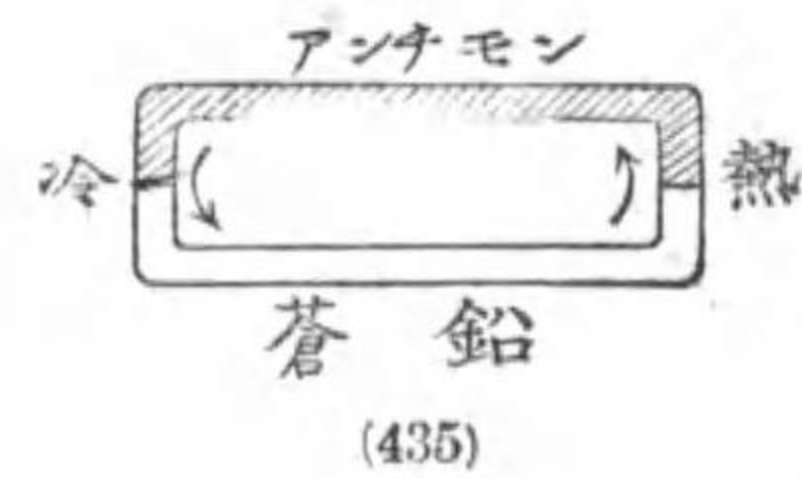


(434)

故に電流の多分は R_2 を通過し S を引き上げ K_1 を下ぐ、此の如くして $K_1 K_2$ の間隔は常に一定に保たるゝなり。通常二千燭光の弧燈を輝かすには50ボルトの電壓にて10アンペアの電流を要す、二千燭光と稱するも實際の光度約五百燭光なり、故に弧燈は一燭光に付き $\frac{50 \times 10}{500} = 1$ ワットの電力を要す、之によりて見れば弧燈は白熱燈に比すれば經濟的なり。

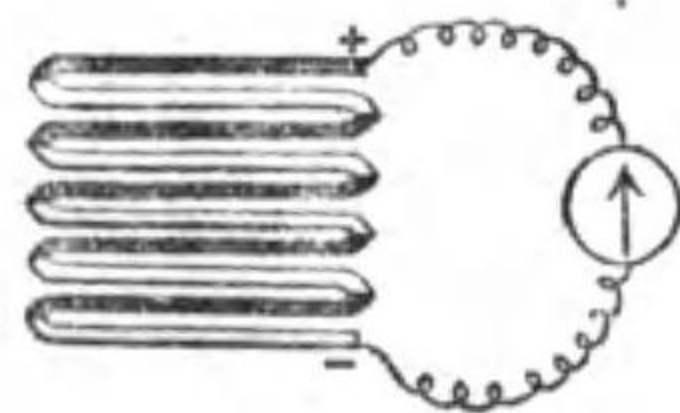
266. 熱電流

二種の異なる金屬を繼ぎて一の輪道を作り其繼目の一方を熱するか或は冷やすかによりて兩繼目の溫度に差あらしむるときは動電力を生じ電流は此輪道中を流るゝを見る此電流を熱電流といふ、兩繼目の溫度の差餘り大ならざる間は動電力従つて熱電流の強さは溫度の差に正比例す、又電流の方向は一の繼目の溫度が他の繼目の溫度よりも高きときと低きときによりて反對となる、例へば蒼鉛とアンチモンとを接合するときは電流は溫度高き方の繼目を経て蒼鉛よりアンチモンに向つて流る。熱電流は1821年ゼーベック Seebeckの發見に係るものなり。



熱電堆 Thermopile. 唯だ一對の金屬のみにては生ずる熱電流の強さ極めて弱きものなれど數對を連絡すると

きは電流の強さ増す、故に此装置によりて極めて微少な温度の差をも測ることを得、此目的に供する器械を熱電堆といふ。熱電堆は蒼鉛及びアンチモンの棒を交互に併列し之を圖の如く連結したるものなり、一方の側の繼目を温むときは熱電流生じて電流計の針は動く之によりて兩側の温度の差を測ることを得、此器械の精巧なるものによりては能く温度の差一度の千分の一をも示す、此器械は重に輻射熱の測定に用ひらる。又熱電流によりて普通の寒暖計の用を爲さざる高温度及び低温度の測定を爲すことを得、高温度を測定するに當りては融解し難き白金及びロヂウムの對を用ふ。



(436)

第七、八章の複習

重要なる事項

アンペールの法則

ソレノイドの極を定むる法則

電流の磁氣作用を應用せる器械

電流計、電磁石、電鈴、電信機

ジュールの法則、電流のエネルギー

電氣燈

熱電流、熱電堆

問題

- (1) アンペールの法則の種々の述べ方を問ふ。
- (2) 磁針の下に之と平行に南より北に流るゝ電流あるときは磁針の北極は何方に偏するか。 答 東方に偏す。
- (3) 磁針の上に於て東より西に流るゝ電流あるときは北極は何方に偏するか。 答 電流の磁力が地磁力より強きときは北極は南方に向く、若し電流の磁力弱きときは磁針は其向きを變ぜず。
- (4) 413圖に於て左方が北極、右方が南極となる様に電流の方向を附せよ。
- (5) 電磁石に於て軟鐵心を挿入するは何の效あるか。
- (6) 電鈴に附せる自動斷續装置を畫け。
- (7) 白熱電氣燈に於て球内の炭素線は輝くにも係らず、電流を之に導く所の導線の輝かざるは何の故なるか。
- (8) 一の輪道中に銀線及び同じ長にして二倍の半徑を有する白金線を行に繋ぐときは熱を發生すること何れが多きか。 答 白金線。

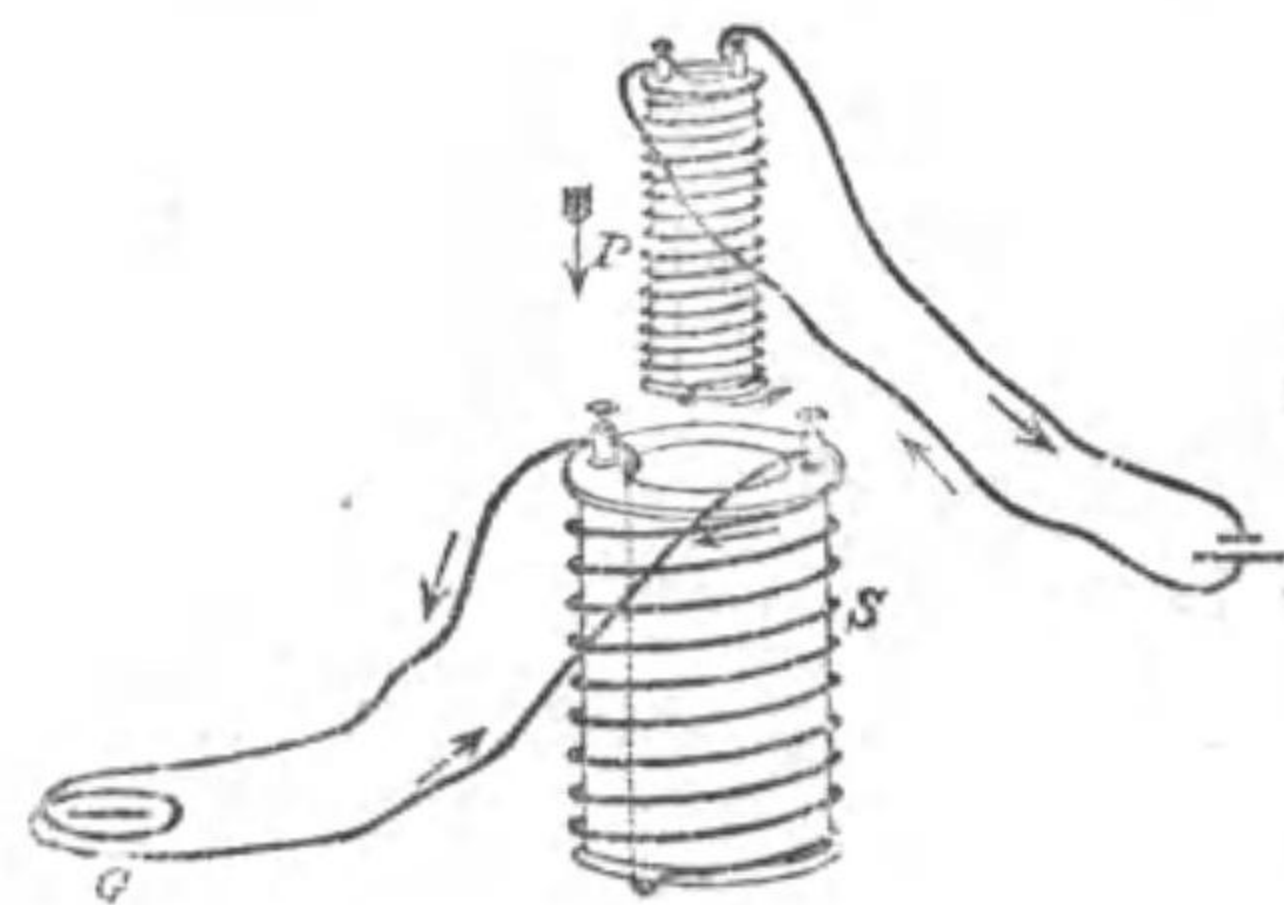
第九章 感應電流

267. 感應電流 Induction current.

針金を螺旋状に捲きてコイルと爲し其内に強き磁石を急に挿入するときは其際瞬時の電流がコイルの輪道中を流るゝを見るべし此電流を感應電流といふ磁石を挿入する代りにコイル中に挿入せる磁石を急に引き出すも亦感應電流を生ず、而して磁石を挿入するときと引き出すときは感應電流の方向相反す、又磁石の南極を先にすると北極を先にするとによりて電流の方向は異なる、例へば磁石の南極を先にして之をコイル中に挿入するときは感應電流の方向はコイルの上端より見て時計の針の動く方向と一致す。ソレノイドは磁石の働

爲すにより磁石の代りにソレノイドを挿入し或は引き出すも亦感應電流を生ず、圖に示すが如くPなるコイルに電流を通じ之をSなるコイル中に

挿入するときはSに感應電流を生ず、此電流は電流計G



(437)

によりて驗することを得、Pを正コイルといひ、Sを副コイルといふ、上記の場合には感應電流の方向は正コイルの電流の方向と反對なり。感應電流は1831年ファラデーの發見に係る。

感應電流は輪道内の磁場の強さが變化しつゝある間だけ流るゝものにして磁場の變化止むと共に感應電流も止むものとす、故に感應電流を起すには

1. 輪道内に磁石を出入せしむ、
- ② 輪道内に磁石を挿入したるまゝ其強さを變化せしむ、
3. 輪道内にソレノイドを出入せしむ、
4. 輪道内にソレノイドを挿入したるまゝ電流の強さを變化せしむ、
5. 一般に輪道内の磁場の強さを變化せしむ。

268. レンツの法則 Lenz's law.

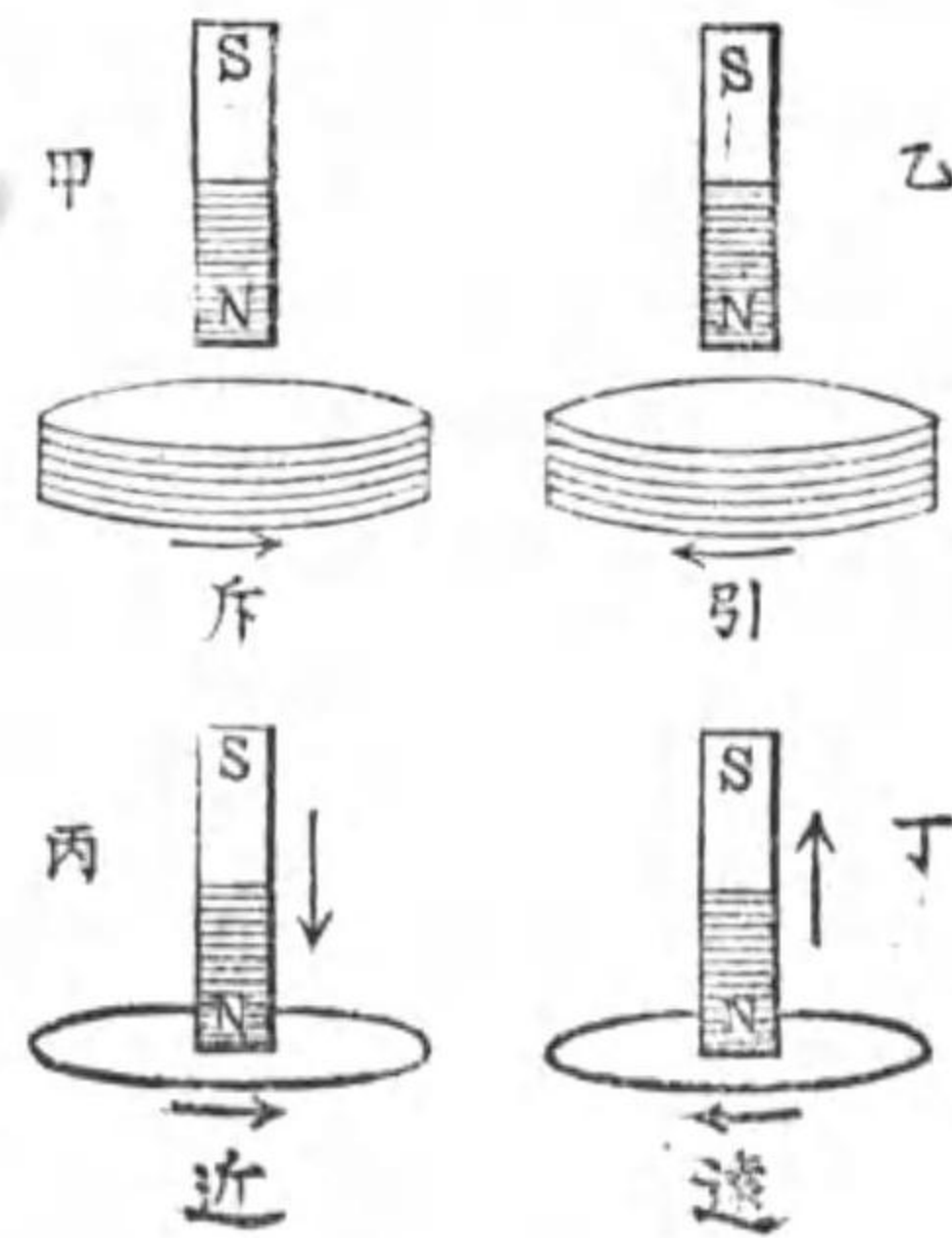
レンツ(1834年)は感應電流の方向に關して次の法則を發見せり、

法則 感應によりて生ずる電流は輪道に對する磁石の運動を妨ぐるが如き方向に流る、

レンツの法則を説明せんにはソレノイドの磁氣作用(257節)を併せ考ふるを便とす、即ち438圖甲に於て電流がコイル中を矢の方向に流るゝものとすればコイルの上

面は北極となりて上に在る磁石を斥くべし、又乙圖に於てはコイルの上面は南極と

なりて磁石を引くべし、扱て磁石の北極を先にして輪道に近づくとときは感應電流は丙圖に示すが如き方向に流れ、反對に磁石を遠ざくるときは丁圖に示す方向に流る、故に丙に於ては磁石を近づけたるによりて生ずる感應電流の爲め磁石は斥力を



(438)

を受けてコイルに近づくことを妨げられ、丁に於ては引力を受けて遠ざかることを妨げらる。

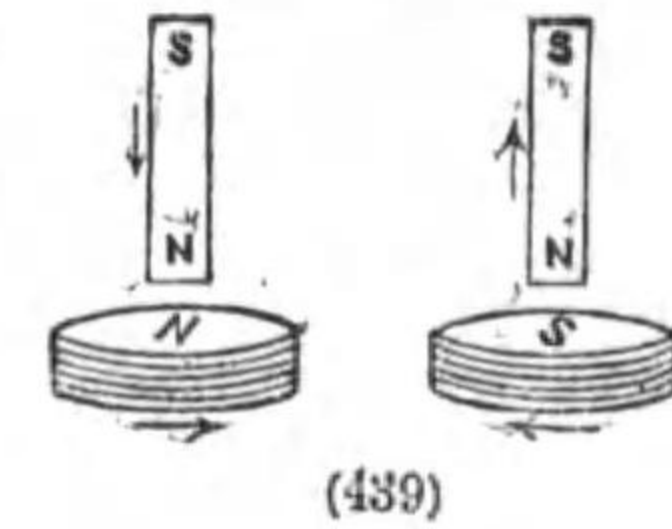
磁石の代りにソレノイド即ち電流を通せるコイルを以てするも亦同様なり、此場合にはレンツの法則は次の如くなる、

正コイルの運動によりて副コイルに生ずる感應電流は其運動を妨ぐるが如き方向に流る。

此法則によりて437圖の場合を讀者自ら説明すべし。正コイルを副コイルに挿入したるまゝ其電流を強むることはソレノイドを副コイルに近づくることに相當し、又正コイルの電流を弱むることはソレノイドを遠ざく

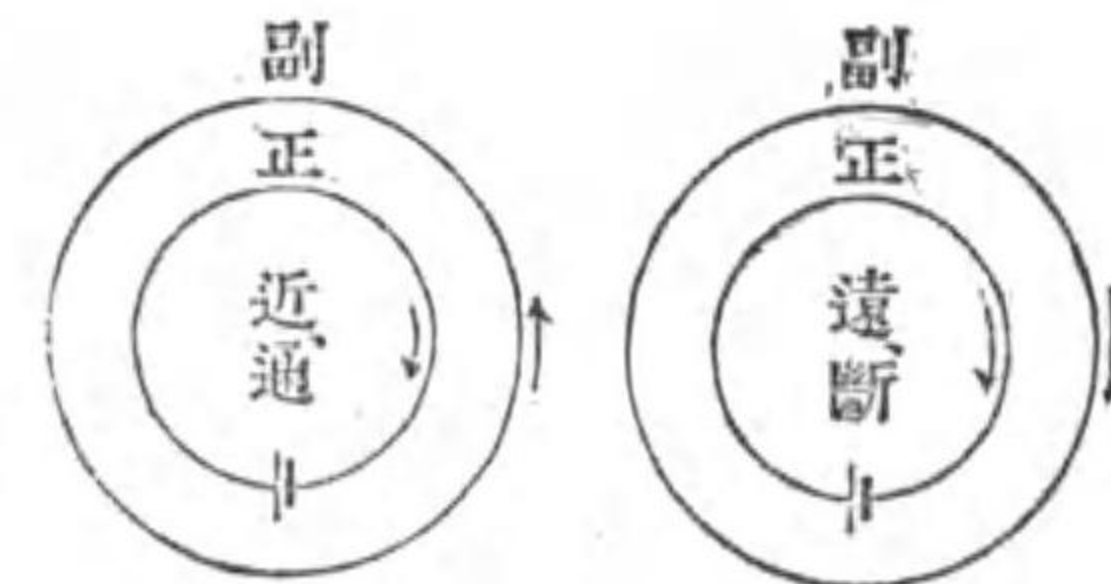
ることに相當す、コイル中に挿入せる磁石の磁力を強め或は弱むるときも亦同様なり、故に感應電流に關して種種の場合を列擧すれば

1. 磁石を近づくるときはコイルの磁石に對する面は同名の極となり、磁石を遠ざくるときは異名の極となる、
2. ソレノイドを近づくるときは反方向の電流生じ、ソレノイドを遠ざくるときは同方向の電流生ず、
3. 正コイルに電流を通ずるときは副コイルに反方向の電流生じ、正コイルの電流を斷つときは同方向の電流を生ず。



(439)

電流を斷續するは固より電流の強さを變ずることの特別の場合なり、440圖は(2)及び(3)の場合を示す所の略圖なり。



(440)

感應電流の方向に關しては磁氣指力線の考を用ふれば最も明瞭に理解することを得べし、磁場の強さは指力線の數を以て表はすことを得るものなれば輪道内の磁場に変化を生ずれば其内を貫通する指力線の數に増減を生ずべし、441圖に於て内輪を正コイルとし外輪を副コイルとし電流が矢の方向に正コイルを流るゝものとするれば指力線は副コイルを下より上に向つて貫通すべし、今正コイルを閉づるときは副コイルには反對の方向の