



始



光の構造

太田代唯六編

光の構造

46
304

理學博士 太田代唯六述

光の構造

化學工藝社發行

46

304



理學博士 太田代唯六述

光の構造

大正
15. 10. 21
内交

化學工業社發行

46-304

は し が き

は し が き

光の真相に就いて、ニュートンの微粒子發射説は、ハイゲンズ、ヤング、フレネルの波動説で置換へられ、遂にマクスエルの電磁説は優勢を占むるに到つたのではあるが、プランクの量子説の襲ふ所となり、兩者相對峙して互に譲らず、今日に及んだのであつた。此時に當つてタムソンの新説は、其調停の勞を取らんとして生れ出でた。

ニュートンの發射説出でてより、年を閲すること茲に約二百五十年、自然の默示は之等の世界的碩學に依つて、漸く闡明されやうとしてゐる。

光の恩澤に浴するものは何人と雖、其真相を知らんことを望む。本講述は上記の梗概に従ひ、諸説の進歩の跡を追ひ、出来る丈通俗的に之を紹介しやうと試みた。

大正十五年八月

編 者



ニウトン發射説或はニウトン微粒子説

Newton's Emission or Corpuscular Theory of Light

ニウトンの想像した通り、(i) 發光體は(非常に小さい)微粒子を發射し、それが透明體を自由に通過し、網膜に衝突すると、我等に視覺を起させる。この微粒子を光微粒子 Light corpuscle といつて居る。尤も發光體から微粒子を發射してゐるといふ想像丈のことならば、十一世紀頃から考へられてゐたのであるがニウトンはこの微粒子に今一つの性質を與へた。それは斯うである。(ii) 光微粒子が物質を構成してゐる微粒子即ち分子なり原子なりに非常に接近すると、其處に吸引力若しくは反撥力が表はれるものである。又色の異つた光に付いては、ニウトンは (iii) 各色光に夫々種類の異つた光微子を考へた。

元來光學 Optics は、之を二つに大別することが出来る。その一つは幾何學的光學 Geometrical Optics であり、今一つは物理學的光學 Physical Optics である。幾何學的光學といふのは、光を其の本性と無關係に幾何學的に取扱ふ學問である。例へば、光が凹面鏡に投射したならば、どんな處に焦點が出来るかと云つた様なことを取扱う。凡ての光學的器械は皆この部門で取扱はれる。この幾何學的光學の基礎の法則は、第一は光の直進の法則 Law of the rectilinear propagation of light 即ち光は直進するものであるといふ事實、第二は反射及屈折の法則 Law of reflection, Law of

refraction 即ち光は異つた二つの物質の或は光の傳播に役立つ媒質の境界面に投射すると、其處で一部は第一媒質へ反射し他は第二媒質中へ屈折して行くといふ事實、この二つの事實が幾何學的光學の基本法則となつてゐる。第二の部門物理學的光學といふのは、光の現象と物質の物理的性質との關係を取扱ふ學問である。夫故に物理學的光學の發達即ちこれは光に對する物質の諸性質が鮮明となることであるが、その爲には、どうしても光の本質本性或は構造といつた様なことの研究進歩が必要なことになつて来る。

それはそれとして唯今述べた様に、光學に於ては、二つの事實即ち直進の法則と反射屈折の法則とは大變重要なものである。若しも、ニウトンの發射説が直實であるならば、それによつて、この二つの事實がうまく説明されなければならぬ。又逆にうまく説明出来れば、ニウトンの光微粒子といふものの實在が本當であるといへる。然らば、ニウトンはこれを如何様に説明したか。それを述べる前に、この二つの事實は、ニウトン以前に既に發見されて居たことを一寸話して置く。

直進の事實と反射の事實とは紀元前四百年前に既に發見されて居た。其時代の學徒は、斯う述べてゐる。「どんな光源からでも出る光は一直線に進行するものであつて、若しもそれが、勝手な表面で反射されると、投射束線と表面とで作られた角は、反射束線と表面とで作られた角に相等しいものである」と述べてゐる。現

今の言葉を以てすれば、投射角と反射角とが相等しいといふことになる。投射角といふのは、投射光線と表面に立てた垂線とのなす角であり、反射角とは、反射光線とその垂線とのなす角である。垂線となす角といふ點が昔のと異う。又現今では、投射反射の兩光線は表面に立てた垂線と同一平面内にあるといふことを明らかに、反射法則の中に入れてある。

屈折の法則發見は、トレミイ Ptolemyの屈折に関する觀測が基になつてゐる。トレミイは埃及の天文學者であつて、二世紀の中頃尤も榮えた人である。この人は、空氣から硝子や水中に入込む光に付いてその投射角や屈折角の値を表に作つた。併し彼は夫等の兩者間の關係を見出し得なかつたのであつた。

その後、1500年經過した1621年頃になつて、初めて和蘭の數學者スネル Snell が投射角と屈折角との間の關係を發見するに至つた。スネルの云ひ方は大變復雜である。處が彼は、發見してから六年目の1626年に死んで仕舞つた。「この法則を現今の云ひ方に變へて呉れたのはデカルト Descartes であつた。即ち、「若しも光が或屈折媒質例へば硝子とか水とかの表面に投射すると、投射角の正弦は屈折角の正弦に對して一定の比をもつ」といふので投射角や屈折角の正弦とは物理學の教科書にある通りである。投射角とは、投射面上投射點に立てた垂線と投射光線との爲す角のことで、屈折角とは、垂線と屈折光線との爲す角のことである。投射角を i とし、屈折角を r とするならば、 i の値がどんなであらうとも、

従つて又夫に相應する r の値がどんなであらうとも、スネルの法則は、

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{一定値}$$

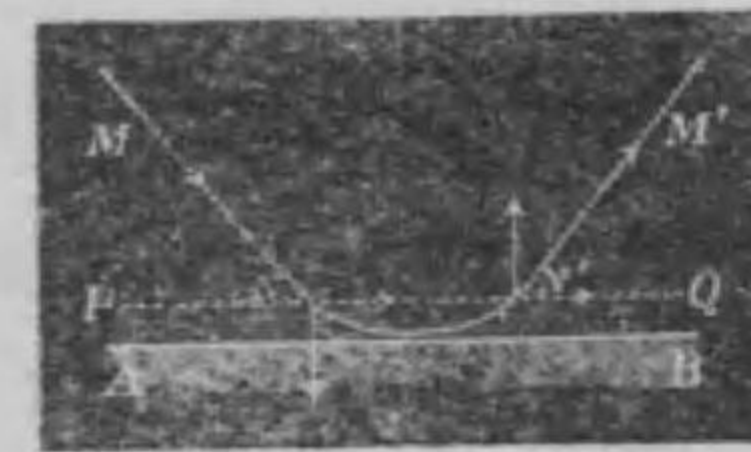
であり、投射屈折の兩光線と垂線とが一平面内に横はるといふのである。尤もこの比の値は、媒質の如何により違ふものである。例へば光が空氣から水へ入込む場合には、常に $r < i$ となり、一定値は 1 よりも大きくなるものである。

ニウトンは 1643 年に生れ、1727 に死んだのだから、直進と反射の法則とは、ニウトン誕生約二千年前に分かつて居り、又屈折の法則は、約二十年前に知られてゐた。其處で此等の事實に對してニウトンは自説によつて、どんな風に推理説明を行つたかといふことを述べて見る。

發射説の第一假設即ち發光體から光微粒子が發射されるといふ假定からいふと、真空中では、光は直進することは明瞭である。第二假設によれば、光が媒質内に這入ると、例へば太陽からの光が大氣中に這入ると、大氣を構成してゐる空氣なり他の氣體なりの分子原子によつて、吸引されるか或は反撥される力を受けなければならぬ。大氣の上層は稀薄であつて、下層は濃密であるから、大氣を構成する分子の分布は到る處一樣であると云へない。併し、部屋位の廣さの中では大氣分子の分布が一樣であると考へ得る。この様に一樣な媒質であるならば、大氣に限らず、水でも硝子でも、その他どんな媒質でも、その内に這入つて來る光微粒

子は、それを取巻いてゐる媒質分子原子から凡ての方向に同じ強さの吸引力か反撥力を受ける。結局その光微粒子は何等の力を受けないと同等になり、光微粒子は分子原子の吸引力や反撥力でその途が曲げられることなく直進しなければならぬ。つまり發射説から考へると、光微粒子は真空中か一樣な媒質内では直進する。實際も亦その通りなのである。

第一圖



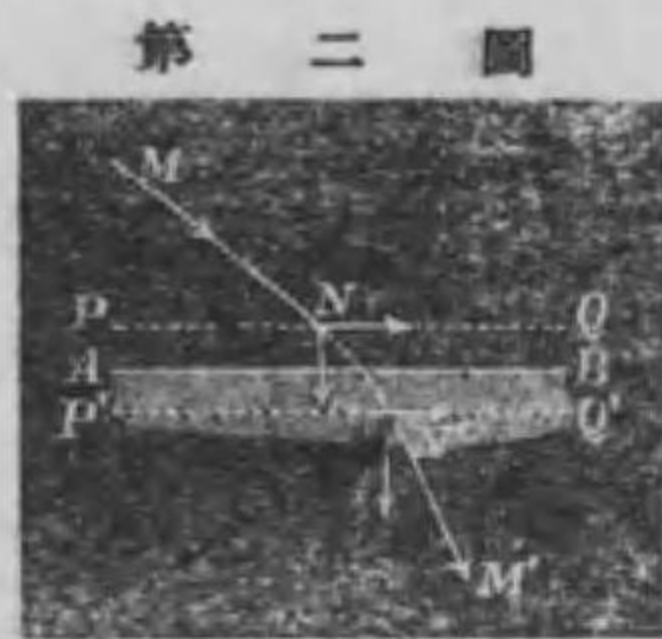
次に反射の法則の説明は、第二假設中の反撥力を使用したものである。第一圖に於て、MN は一箇の光微粒子の投射する途であり、AB は反射表面だとする。

この光微粒子が、PQ で示してある様に反射表面に極めて接近すると、第二假設によつて、表面に並んで居る第二媒質の分子若しくは原子から、反撥力を受ける。光微粒子が PQ 上 N に到着したときの速度を、AB に平行な分速度と、垂直な分速度とに分解して考へて見ると、平行分速度は反撥力の影響を受けないが、垂直分速度は段々と減少して行くであらう。何となれば、表面に並んでゐる分子原子が作用する反撥力の合力は AB 面に垂直であつて上向きに光微粒子に作用するからである。

垂直分速度が N で反撥力の影響を受け始めると、光微粒子の途は曲がり初め、遂にこの分速度が 0 になるときが來る。其處では微粒子の途は表面に平行となる。それから、微粒子が受ける反撥力が前と同じであり、N' まで途が曲がつて行つて、N' で初め

の速度と同じ大いさの速度を得て飛び去る。この考察から自ら明瞭である通り、投射光線と反射光線とは、表面に立てた垂線と同一平面にあり、投射角と反射角とは互に相等しいといふことになる。即ち反射の法則は説明出来たことになる。

次に屈折の法則の説明であるが、これは、第二假定中の吸引力を使用したものである。第二圖に於て、光微粒子が、AB に接近



して、PQ 内に到達すると、AB に並んで居る分子なり原子なりから、吸引力を受ける。そうすると、光微粒子の垂直分速度は段々と大きくなるから、微粒子の途は漸次に曲がつて行く。又表面から吸引力を受けない處 P'Q' 上の一處からは、光微子の速度は、最初のものに比べて、方向も大いさも異つたものになるべきであらう。即ち光が異つた媒質に這入ると、屈折すべきである。最初の速度の大いさを v とし、第二媒質内での速度の大いさを v' とし、投射角を i 、屈折角を r とせよ。又第一媒質内での速度 IO を、投射點 O に立てた垂線に沿うての垂直分速度 IO と境界面に平行な平行分速度と IL に分けて見ると、直角三角形 IOL に於ては、

$$\sin i = \frac{IL}{IO} = \frac{IL}{v}$$

同様に第二媒質内での速度 OR を垂直分速度 OL' と平行分速度 $L'R$ とに分けて見ると、直角三角形 ROL' に於ては、

$$\sin r = \frac{L'R}{OR} = \frac{L'R}{v'}$$

又境界面に平行な向には吸引力はないものと見做し得るから、兩平行分速度 IL と $L'R$ は相等しく、兩媒質は一様として考へて居るのだから、 vv' は一定の値を持つてゐる。夫故に、

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v'}{v} = \text{一定値}$$

これを見ると、成程發射説によれば、屈折の法則即ち投射光線と屈折光線とは、表面に立てた垂線と共に、一平面内にあり $\frac{\sin i}{\sin r}$ が一定不變の値をとるといふことは、説明出来ることになる。

併しながら、未だ充分に説明し盡したとは云へない。なぜならば發射説によると、 $\frac{\sin i}{\sin r}$ が一定値であるといふことが出来たと同時に、その比は又兩媒質内での光の速度の比に等しいといふ餘分の關係が出来たからである。夫故發射説が眞實であるか否かを検査するには、光の速度を測定した上でなければならぬ。例へば光が空氣から水に進入する場合ならば、一定値は 1 よりも大なのだから、發射説によると $v' > v$ 、即ち水中の速度は空氣中の速度よりも大きくなる。實際はどうであるかといふことは速度實測の結果を待たなければ分らない。

光の速度が最初測定されたのは、ニュートンの生存中ではあつたが、これは星から來る光に付いてやつたもので、これだけでは $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v'}{v}$ を確定することは出来ない。それには、どうしても異つた媒質内での速度の比が測定されねばならぬ。この點に着眼

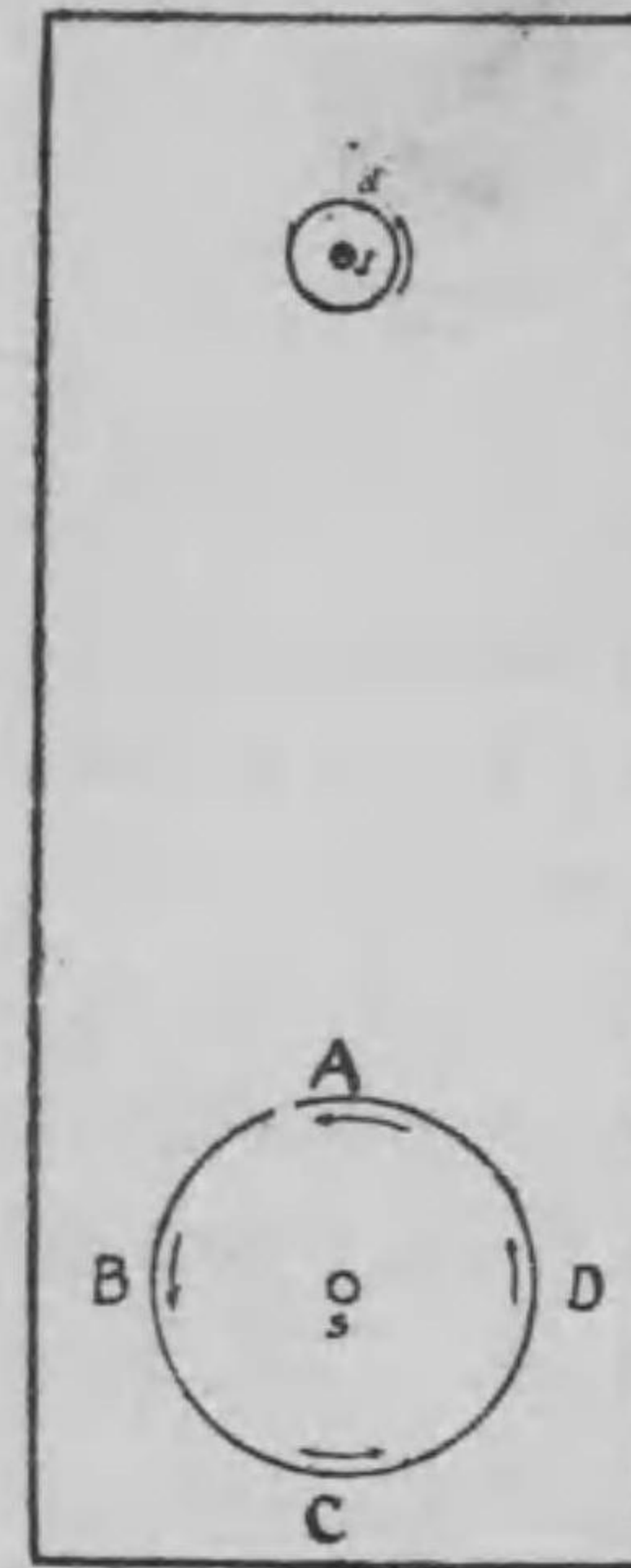
して行はれた最初の実験は、ニュートンの死後百年以上の後、十九世紀の中頃のことであつた。

光學の基本事實、即ち光の直進、反射、屈折が今述べた様に、發射説によつて、美事に説明し盡されたかの觀があつた上に、ニュートンの名聲は力を添へて光は光微粒子より成立してゐるものであると信ずるものが少くなかつた。一方光の波動説が有力になりつゝあつたに拘はらず、この信仰が十九世紀の始頃までも持續されてゐたのである。處が異つた媒質内での光の速度の比が測定されることになつたので、遂に發射説は眞實ではないことが分かつたのであつた。然らば、どんな風に光の速度が、この説に致命的の打撃を與へたであらう。それを述べる前に、光の速度測定法及びその結果に付いて一言費す必要があると思ふ。

光の速度を測定する方法には先づ四通りある。第一はデンマークの天文學者レーマー Ole Roemer が 1675年に使用した方法で、第二は英國の天文學者ブラッドレイ James Bradley が 1727年に使用した方法、第三は佛國の物理學者フイゾー Armand Hippolyte Louis Fizeau が 1849年に使つたもの、第四は同じく佛國の物理學者フーコー Jean Bernard Leon Foucault が 1850年に使つた方法である。

レーマーの方法——第三圖の S は太陽、ABCD は地球の軌道

第三圖



J は木星、d は木星の一つの衛星だとしやう。地球も木星も共に太陽の廻りを殆んど同一平面内に、或異つた軌道に沿うて運行してゐる。併し地球は一年で其の軌道を一週するが、木星は11年10ヶ月を要する。夫故に、地球が軌道を一週する間にJが左程動いて居ないものと見てよい。木星には九つの衛星があつて、その一つが、木星の周囲を一週するに要する時間は殆んど42時間半である。これは衛星が木星の陰に隠れて次に隠れる迄の時間である。今Aで、衛星が木星の陰に隠れた時刻を測り置き、この時刻と42時間半とから、次々に衛星が隠れる時刻を計算してお

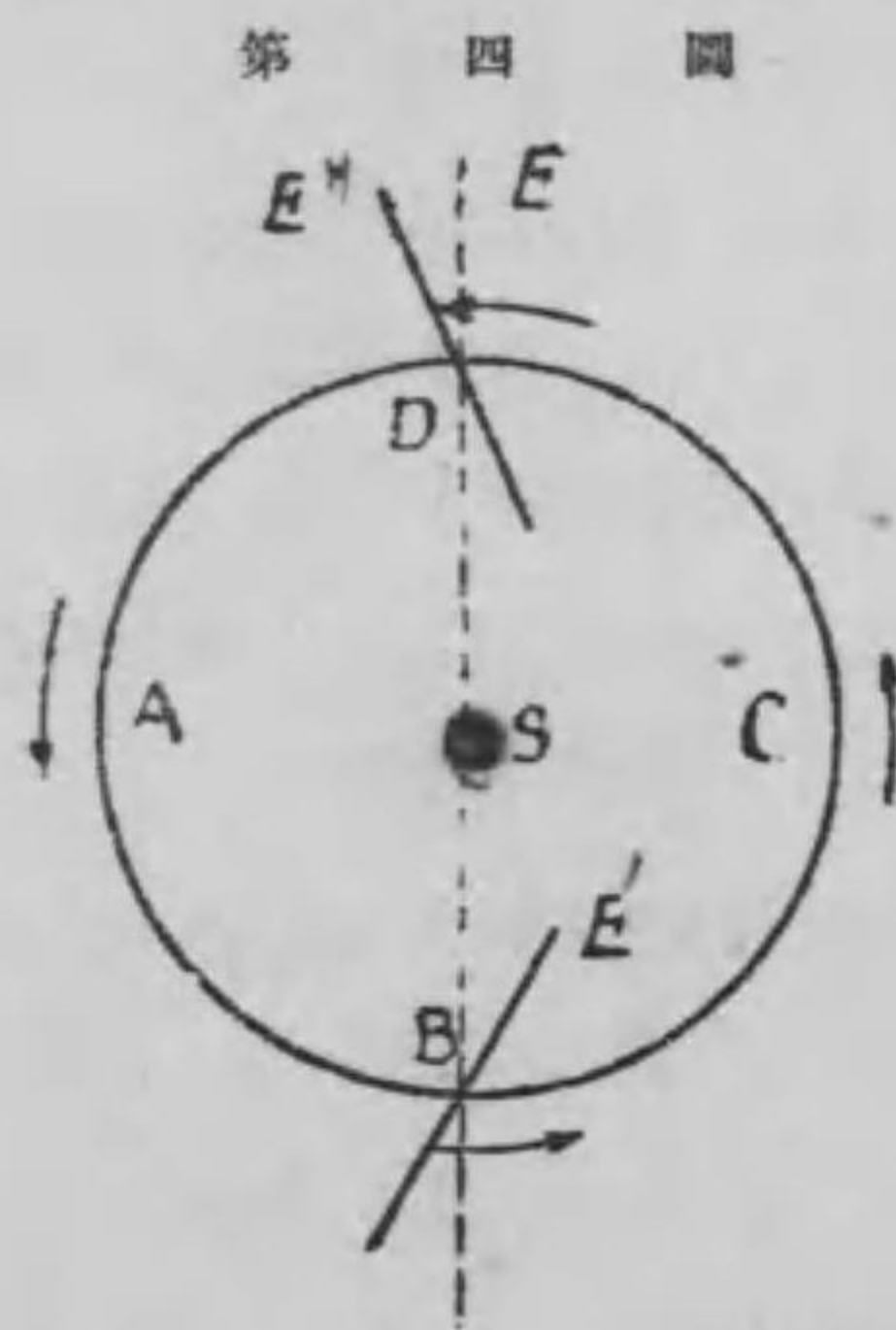
く。處が實際次々に衛星が隠れる時刻を實測して行くと、計算しておいた時刻よりも多くなつて行く。この兩者の差は、Aと反對な測のC迄に於て最大となる。グラゼンアツプ Glasenapp の觀測によると、1002秒即ち殆んど16.5分である。レーマーの觀測値は996秒であつた。レーマーは、この差を以て光が地球の軌道の直徑を通過するに要する時間であるとした。地球の軌道の半徑は地球の半徑と太陽の視差 Solar parallax とから出てくる。太陽視差といふのは、地球の半徑が太陽の中心に於てはさむ角のことであ

る。太陽視差の観測値は $8.85''$ である。又地球の半径の平均値は 6378 軒であるから、 $2R$ を軌道の直径とすれば、

$$2R = \frac{2 \times 6378 \times 180 \times 60 \times 60}{8.85 \times \pi} = 2973 \times 10^5 \text{ 軒}$$

夫故光の速度は、 296700 秒軒 $= 2.967 \times 10^{10}$ 秒軒

ブラッドレイの方法—これは光行差 Aberration of light といふ現象を利用したものである。ブラッドレイは光行差の発見者である。この現象は地球が動いてゐる證據ともなる。第四圖に於て、



第四圖 S を太陽、ABCD を地球の軌道とし、地球は矢の方向に動いてゐるものとする。若し地球が太陽に対して静止してゐれば、SE の方向にある恒星を見る爲には、望遠鏡の軸を SE に平行な方向に向ければよい。併し實際は、地球が動いてゐる爲に、D に於ては DE'' の方向へ、又 B に於ては BE' の方向へ望遠鏡を向けねばならない。地球

上のものからいふと、地球が静止してゐて、星が、地球と同じ速さで反對に動いてゐる様に見える。この星の見掛けの速度を V とする。夫故星から来る光が、光夫自身の速度 V と見掛けの速度 v とを同時に受けて、兩者の合速度を以て進行して来るものと云へる。即ち D に於ては ED'' の方向に沿ふて、B に於ては E'B の

方向に沿ふて進行する。夫故太陽の方向と望遠鏡の軸の方向との角を α とするならば、D に於ても亦 B に於ても、

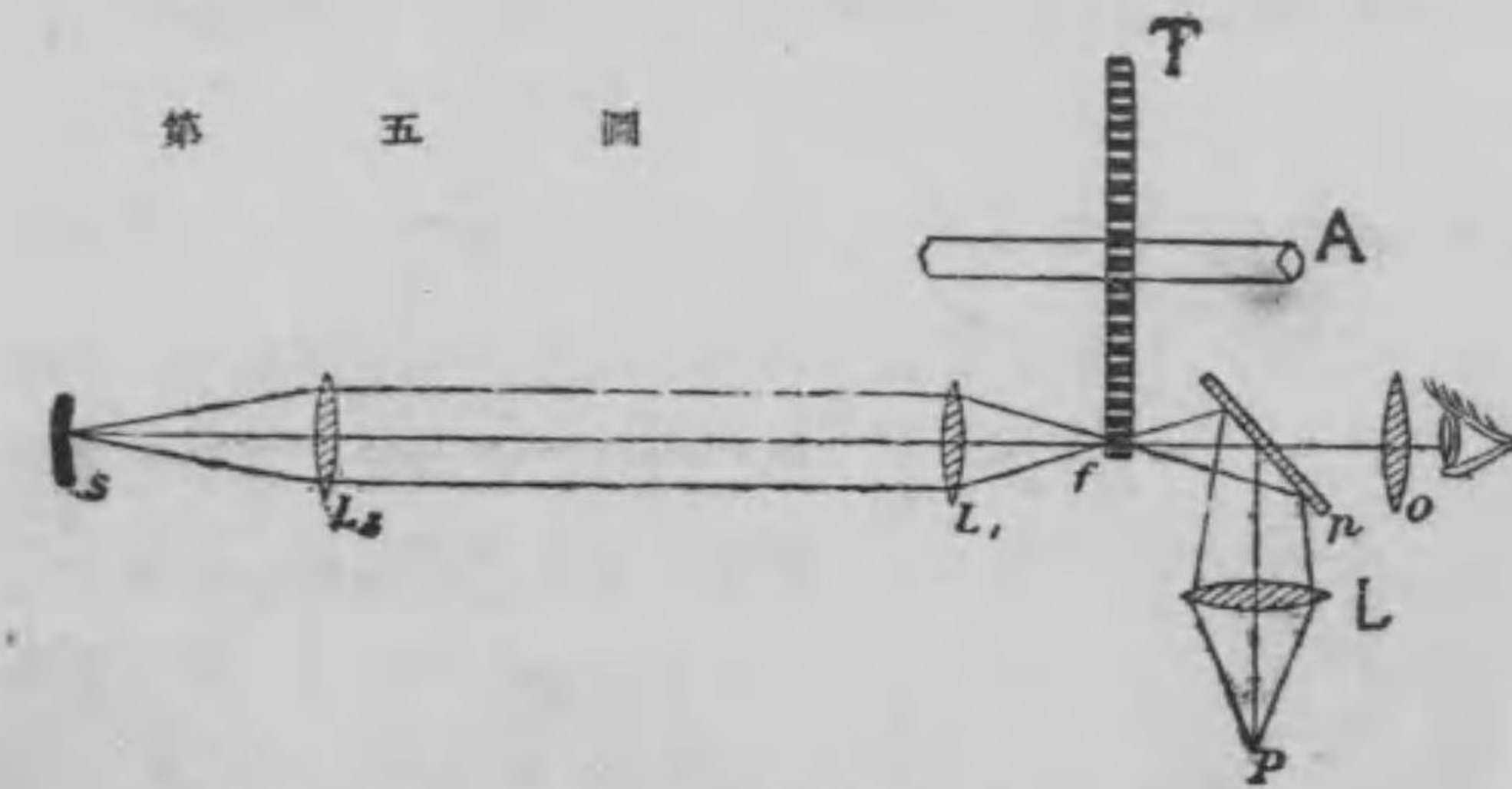
$$\tan \alpha = \frac{v}{V} \text{ 或は } V = v \cdot \cot \alpha$$

$\alpha = 20.5''$ であり、地球の軌道の長さ $= 2R\pi$ 、であり、これを一週するに要する時間は一年なのだから、 v 及び V は計算出来る。

即ち $V = 2.982 \times 10^{10}$ 秒軒

ファイゾーの方法—ファイゾーが、今述べたものに比べて、比較的近距离での方法を案出した。

第五圖に於て、 L, L_1, L_2, O は孰れもレンズ、 P は光源、 p



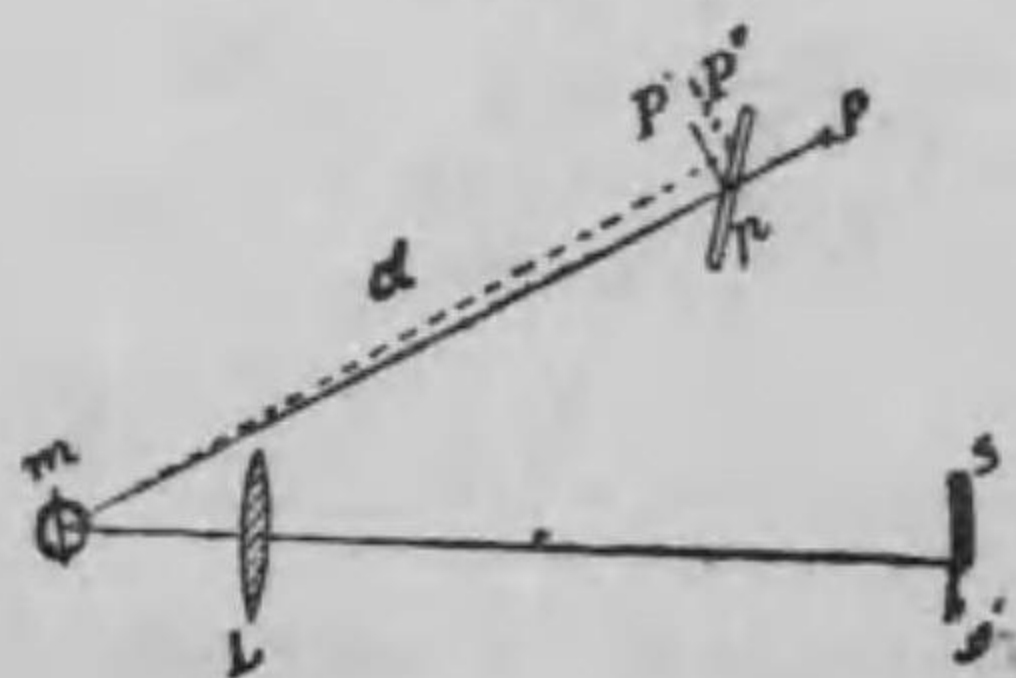
は硝子板で、 L_1, L_2 の軸に対して 45° の傾斜をしてゐる、 S は凹面鏡で、 A は齒車 T の軸である。 P の像がレンズ L と硝子板 p とで L の焦點 f 點に於て作られる。 f から出る光が、 L_1 で平行となり、 L_1 から 8.633 軒の距離にある L_2 に達し、其處を通り S に集る。即ち S は L_2 の正焦點となる、 S の半径は SL_2 であつて L_2

の中心は球面 S の中心となつてゐる。S から反射した光は投射光線と同一の路を辿つて歸り來り、f に P の實像を作る。この實像を蟲眼鏡 O で見る。T を A の廻りに廻轉すると、齒の爲に、反射光が遮られて薄暗くなる。回轉速度を大きくしてゆくと、fS 間に光が往復するに要する時間が、丁度齒車の一つの溝の中心が f にあつたときから、この溝に隣れる齒の中心が f に來るに要する時間と等しくすることが出来る。そうすると、齒車の齒が常に反射光を遮つて仕舞う。フイゾーは、720 の齒のある齒車を使い、重力で、車を毎秒 12.6 回廻轉させたときに、反射光が遮られたのを知つた。夫故光の速度 V は

$$V = 4 \times 8.633 \times 100000 \times 720 \times 12.6 = 3.13 \times 10^{10} \text{ 秒程}$$

フーコーの方法—フーコーは、もつと短距離内で、光の速度を

第六圖



測定する方法を案出した。加之この方法によつて、異つた媒質内の光の速度の比を決定することが出来た。

第六圖に於て、光源 P (太陽の光を當てた細隙) から出た光

は、PO と 45° の角をしてゐる硝子板 p を通過し、回轉鏡 m に到り反射せられて、レンズ L を通り、凹面鏡 S に到り、其處に P の實像を作る。S 面の中心は O である。

m が静止して居れば、P からの光は m、S、p で反射され、P'

に P の實像を作る。m が廻轉して居れば、P から出た光は、m の或位置 (例へば圖の様な位置) で、m によつて反射せられて S に到り、其處で又反射されて再び m に來る間に、即ち m によつて反射された光が m と S との距離 D を往復する間に、m はいくらかの角 α を廻轉する。その廻轉したる位置で、S から反射された光が m で反射されると、投射光線 PO と 2α の角をなして、點線で示す様に、P'' の處に P の實像を作る。

P' P'' の距離 a、m の回轉數 N、mS 間の距離 D、及び mP 間の距離 b を知れば、光の速度が計算出来る。角を弧度で計ると、 $2\alpha = \frac{a}{d}$ 、即ち $\alpha = \frac{a}{2d}$ である。又一秒間に m が廻轉する角は、一回轉に付いて 2π だから、 $2\pi N$ である。夫故 α 丈回轉するに要する時間は、 $\frac{a}{2\pi N}$ 秒である。これ丈の時間を要して、光は 2D 丈通つたのだから、光の速度 V は、

$$V = \frac{2D}{\left(\frac{a}{2\pi N}\right)} = \frac{4\pi DN}{a} = \frac{4\pi DN}{\frac{a}{2d}} = \frac{8\pi d DN}{a}$$

フーコーの得た V の値は 2.98×10^{10} 秒程であつたが、その後精密な實驗によると、

$$V = 2.999 \times 10^{10} \text{ 秒程}$$

フーコーは水の中での速度と空氣中での速度とを比較する爲に S の代りに s_1 、 s_2 の鏡を置き、又 s_2 と m との間には、水を入れた長さ 2 米の管を置いて實驗した。管の兩端は硝子板で蓋をしたことは云ふ迄もない。

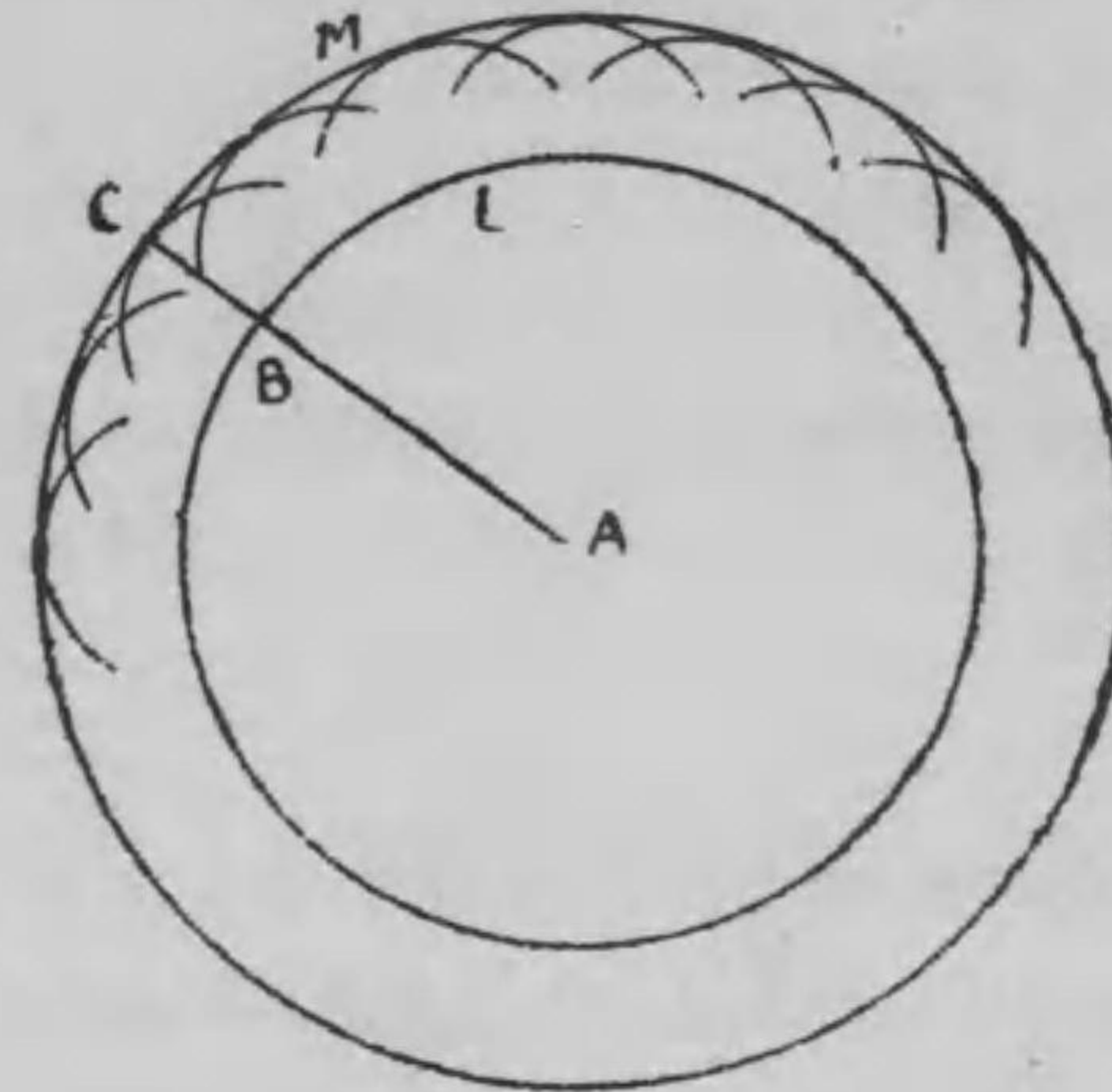
緒本論に立戻る。フーコーの結果によると事実として、水中での速度 v' は空気中での速度 v よりも小さいことになつた。處が前に述べて置いた通り、發射説によると、その反對になる。夫故屈折の法則は發射説では説明出来ない。即ち發射説は眞實ではないといふことになる。其處で發射説は完全に波動説と置換へられることになつた。

光の波動説 Wave Theory of Light

波動説創筆者は和蘭の物理學者ハイゲンス Christian Huygens である。彼の「光に関する論説」が出版されたのは 1690 即ちニュートンの壯年時代であつた。この著書の中で彼は光の本性に関する彼の主張を基礎として、反射屈折の法則を説明し、當時既に発見されて居た複屈折の現象をも説明してゐる。

彼の主張によると、光は、ニュートンの云ふ様に發光體から出る光微粒子から出來てゐるのではない。到る處に一種の媒質所謂エーテルと名づける媒質があつて、光は、發光體を中心としこの媒質の波動として四方に傳播するものである。それは恰も音が空氣の波動として四方に傳播するのと同様であつて、第七圖の如くにして傳播する。これが現今ハイゲンスの原理といはれて居る彼の主張なのである。圖に於て、A を發光體とすると、その周圍のエーテルに波動を起し或時間中に、或處例へば L といふ處までその

第七圖



波動が傳播する。即ちLといふ處に目をおくと明るく感ずる。このLなる面は球面であるこれを波面 Wave front と云つてゐる。この波面上各點のエーテルの振動の有様は皆同じである。その後或

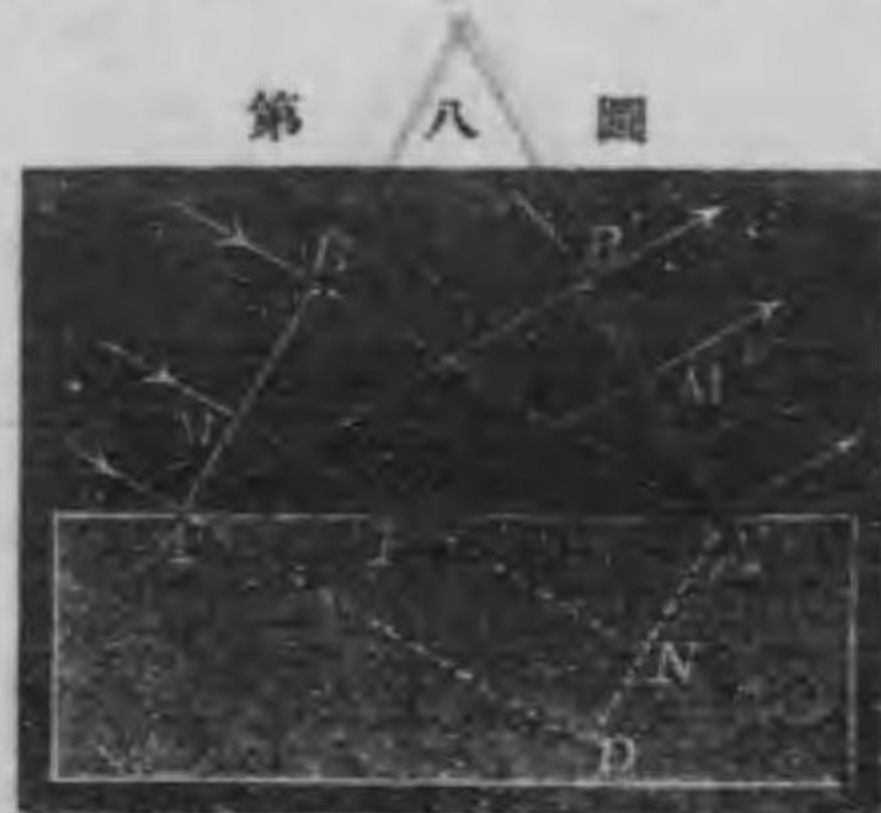
時間經過すると、Lなる波面上各點のエーテルの振動は、Mといふ波面上に傳播する。L上各點のエーテルは、孰れも獨立した振動點であつて、その振動は、其處を中心として、小さな球面となつて、四方に傳播する。Mといふ波面は、その様にして出來た無數の小波面に接するものである。Lのエーテルの振動がM上のエーテルに傳はる速さは光の速さである。

光の直進の説明—この原理によると、L上のエーテルの振動は小波面となつて傳はるのだから、光は直進するといふ事實を説明することは困難である。其處で彼は、光は小波面の中心とそれが波面に切する點Cとを結んだ方向を取つて進むものだと假定した。即ち圖に付いて云ふならば、光はABCといふ直線に沿うて

進むものであると假定した。これが所謂光線である。併し此の假定は明らかに、光の直進の説明とはならないで、光の直進そのものを假定したことになつてゐる。

光の直進を満足に説明し得なかつたことは、波動説をして、約100年間、學者の注意を起さしめなかつた主なる一つの原因であつた。

反射の法則の説明—第八圖に於て、上は第一媒質例へば空氣であり、下は第二媒質例へば硝子であり、 AA' は兩媒質の境界面



である。 AB を波面の一部とする。即ち第七圖の M の一部分とする。そうすると AB は平面である。この様に、球狀波面の一小部分か、光源が非常に遠い處にある場合の球狀波面の一部は平面と考へることが出来るが、これを平面波と稱へてゐる。 AB に垂直な方向は光線の方向で、 BA' 、 MP 等は孰れも投射光線である。

AB 上の一 B に於けるエーテルの振動は、 t 秒を要して A' に到着したものとし、第一媒質内での光の速度を v 秒糧とすると、

$$BA' = vt$$

A に於けるエーテルの振動は t 秒間に何處に傳はつて居るかといふと、第一媒質内に着眼すれば、 A を中心とし、 $BA' = vt$ を半

徑として畫いた球面、圖では B' の球面上の各點に傳はつて居る。又 AB 間の任意の一 M に於けるエーテルの振動が AA' 上 P に到着するに要する時間を t' 秒とすれば、 P に於けるエーテルの振動が、 $t-t'$ 秒間に、何處に傳播してゐるか云へば、 P を中心とし、 $v(t-t')$ を半徑として畫いた球面上に傳播してゐる。即ち圖では、 M' の波面上に傳はつてゐる。

A' を通過し、紙面に垂直な平面を作り、それを A からの球面に接せしめることが出来る。この接點を B' とする。さうすると $A'B'$ なる接平面は、 AA' 間各點からの球狀波面にも接することになる。それを證明するには、 AA' 間の任意の一 P からの球狀波面が $A'B'$ に接することを證明すればよい。

P から $A'B'$ に垂線を立て、その足を M' とする。又第二媒質がないものとすれば、 t 秒間に AB なる波面は、 $A'ND$ に進んで居るに相違ない。

$\triangle AA'B'$ と $\triangle AA'D$ とに於て、 $\angle B' = \angle D$ は直角で、 AA' は共通で、 $AB' = AD = vt$ なのだから、この二つの三角形は全く相等しい。夫故 $\angle B'AA' = \angle DAA'$ 。又 $AB' \parallel PM'$ 、 $AD \parallel PN$ だから、 $\angle M'PA' = \angle NPA'$ 。そこで $\triangle M'PA'$ 、 $\triangle NPA'$ に於て、 $\angle M' = \angle N$ は直角で、 $A'P$ は共通で、 $\angle M'PA' = \angle NPA'$ だから、 $PM' = PN$ となる。然るに、

$$PN = v(t-t')$$

だから、 M' 點は P からの球狀波面の上にあらねばならぬ。即ち P からの球狀波面は $A'B'$ に接し、その接點は M' である。

になる。これは、フーコーの實驗で分かつた通り事實に合ふ。

斯の様にハイゲンスの波動説は反射屈折の事實を能く説明することが出来たが、直進の事實を満足に説明し得なかつたが爲に、光の波動説即ち光がエーテル内での波動であるといふ説はヤングによつて復活されるまでは、生命なきものであつた。

英國の醫者でもあり、又物理學者でもあつたヤング Thomas Young は 1773 年即ちハイゲンス死後約八十年に生れた。彼はハイゲンスの如く、光はエーテル内の波動であるものと考へ、若しさうであるならば、二つの光波が一點に傳播してゐても其處は却つて暗くなる様なことがあるべきであると主張した。これは所謂干渉の原理であつて彼が二十九歳のとき即ち 1801 年にこれを發表をした。ハイゲンスの死後丁度一世紀後波動説が復活したことになる。

この原理によつて彼は廻折の現象を説明した。廻折といふ現象は、或細隙を通る光は中央の尤も明るい部分の兩側に明暗の縞が出来るといふ現象である。ヤングの説くところによると、廻折の現象は細隙から來るエーテルの波と、細隙の縁から來る反射波とが干渉を起す爲であるとした。併しこれは後にフレネルによつて訂正された。細隙の縁から來る反射光は、廻折の現象には無關係である。細隙内に並んでゐるエーテル各點から來る波が干渉する

爲である。

ヤングは又、薄板の色の生ずることや、ニュートン輪の中央が暗くなることなどの説明をやつた。

ヤングは波動説を復活せしめたが、未だ確定したわけではない。なぜならば、第一に光の直進の事實は充分に説明されてはゐないからである。第二には假令光はエーテル内の波動であるとしても、エーテルの各部はどんな風に振動するのであるかといふこともハッキリしてゐなかつたからである。

波動説を堅固にしたものは 實に佛國人フレネル Augustin Jean Fresnel であつた。フレネルは土木技師であり又物理學者でもあつた。彼はヤングと同時代の人であつて、1788 年即ちヤングよりも十五年後れて生れ、1827 年即ちヤングよりも二年先きに死んだのである。

波動には二通りある。一つは綱を傳はる波動や、水面上の波の様に、媒質の各部分の往復運動の方向が、波の進行する方向と垂直となつてゐる様な波であつて、之は横波と稱へられてゐる。今一つは空氣中の音波の様に空氣分子の往復運動の方向と、音波の傳播する方向とが同一方向になつてゐる様な波である。之は縦波と稱へられてゐる。又一般に固體中の各部分の振動に基づく波動

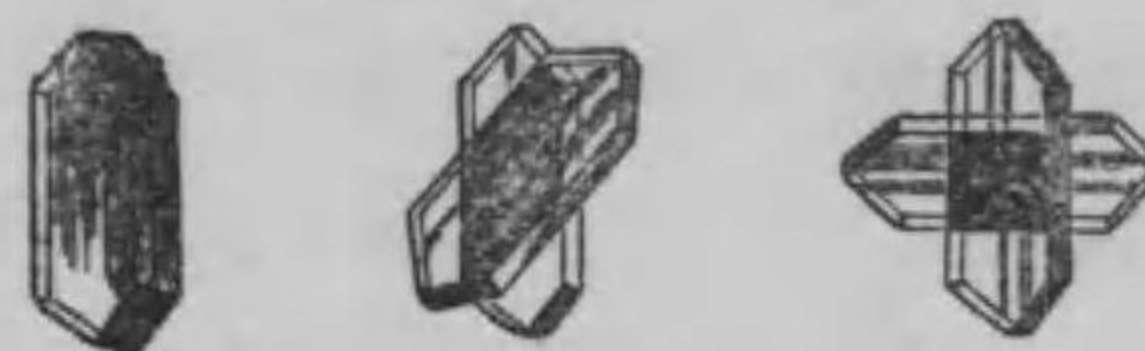
は横波と縦波とから出来てゐる。例へば地震の如きは地球を傳播する波ではあるが、これは横波と縦波との二通りの波から出来てゐる。

ハイゲンスや、ヤングは光波を音波の様な縦波であると考へてゐた。フレネルは之に反して、光波は横波であると考へたのであつた。その根據は、既にその時代に知られてゐた處の偏光といふ事實であつた。この現象はハイゲンスによつて最初觀測されたのであつたが、彼は光波は縦波であると考へてゐた爲に、之を光の本性に利用することが出来なかつた。その後複屈折をする凡ての結晶體を光が通ると起る現象であることが分かつて來た。この事實によると成程光波は横波でなければならぬと云へる。

細隙を通して一本のひもを引張つて置く。ひもを引張つたり、弛めたりすると、ひもの各部の往復運動がひもの方向に沿ふて縦波となつて傳はり、この縦波は細隙を無事に通過する。又ひもの各部が細隙の方向例へば、縦に往復運動する様にひもを振ると、ひもに沿ふての横波も亦細隙を通過する。併し、ひもを横に振ると、ひもに沿ふての横波は細隙で喰止められて仕舞ふ。縦と横との間の方向に、ひもを振ると、分運動丈が細隙を通過するであらう。

この様な現象が光にも起る。第十圖の様に軸に平行に切つた薄い二枚の電氣石 Tourmaline を軸が平行になるやう重ね透過光を

第十圖



望みつゝ、一枚の板を光の方向を軸として廻轉してゆくと、重なつた部分は段々暗くなり、遂に結晶の軸が

直角になつたとき全く光を通さなくなる。この説明は、斯うである。一枚の板を通過して出た光は、或定まつた方向に振動する様になる。即ち所謂偏つた方向に振動する光、偏光になる。夫故この偏光が第二の板を通過する爲には、第二の板と第一の板とを同じ方向に置かねばならぬ。さうして、一枚の板を廻轉するに従つて、光は通り難くなるのだから、光は横波でなければならぬ。若し縦波ならば、光の方向を軸として、板がどんなに廻轉されても、暗くなるといふことが考へ得られないからである。

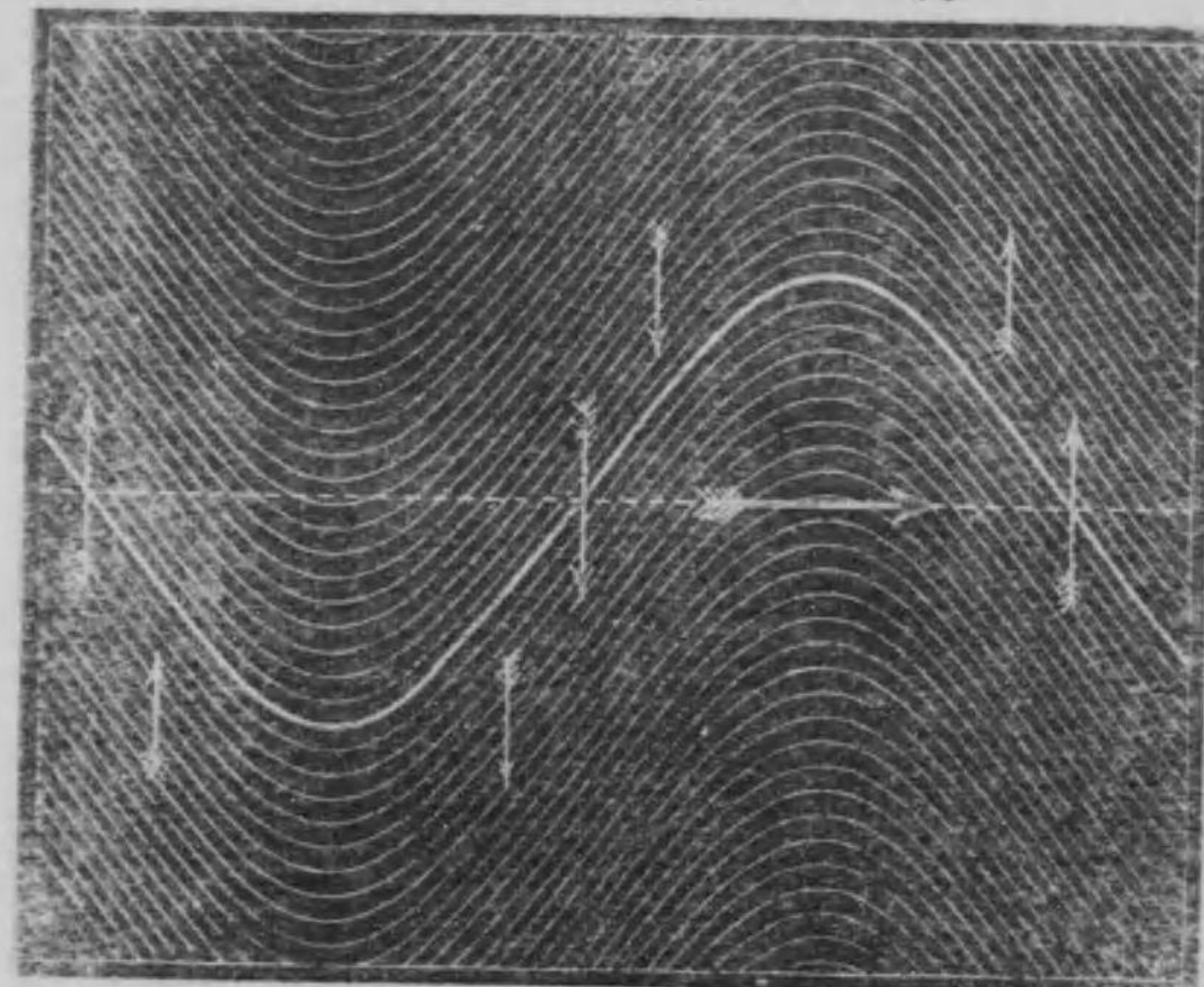
然らば、この説明から云つて、第一の板に投射した光、即ち普通の光をどんな風に考へるかといふと、それは斯うなのである。第一の板の第一面をAとし光がOPの方向に(板に垂直に)投射したとすれば、板の上の一点Pに於けるエーテルは、OPに垂直な平面既ちA面内に於て、常に光線に垂直の方向に振動し、その方向は非常に早く變化してゐるのであると考へるのである。さうして第一板から出て來た振動は、板の軸に對して或定まつた方向に沿ふての分振動の合成であると考へるのである。

又この考から云ふと、普通の光にしても又偏光にしても、その

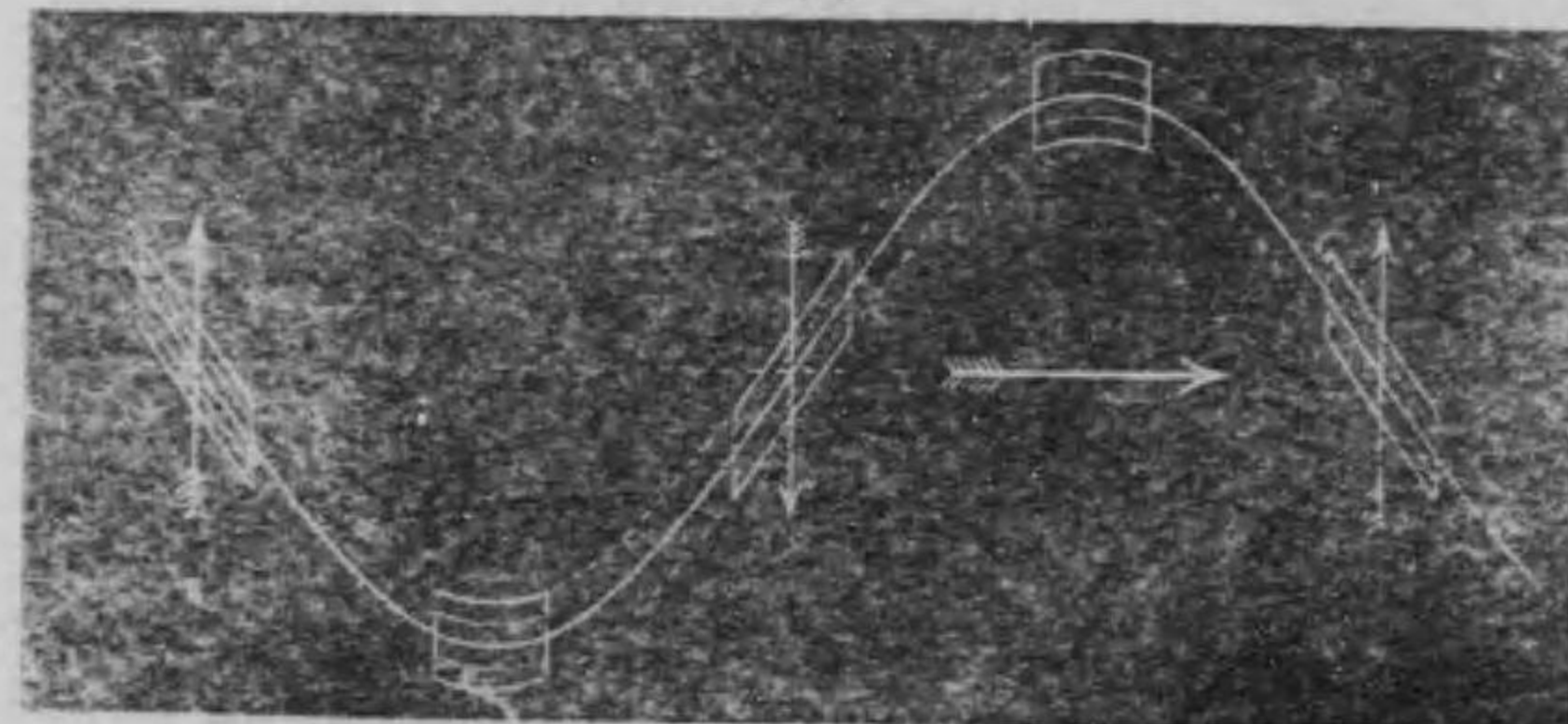
波の形は千差萬別なものであらうが、要するに光波は横波であつて週期的變化、即ち或定まつた時間毎に繰返されるエーテルの振動の傳播なのだから、所謂正弦曲線 Sine curve の集まつたものとして考へることが出来る。夫故に波形が一箇の正弦曲線である様な偏光が存在し得るわけであらう。

そこでフレネルは、その様な偏光が傳播しつゝある場合に、エ

第十一圖 (a)



(b)



ーテル内は第十一圖に示す様になると考へた。(a)に於て偏光の振動面は紙面であり、波面は紙面に垂直な平面である。波形は所謂正弦曲線であり横の矢の方向に此の波形が光の速度で傳播する。エーテルの各部の

振動は光の傳播する方向と垂直になつてゐる。エーテル各部の歪む有様を詳しく示したものは(b)圖である。

次にフレネルは、この様な波動がエーテル内に起る爲には、エーテルは、どんな性質を持たなければならぬかと考へた。波動論から云ふと横波の速度は、

$$v = \sqrt{\frac{n}{\rho}}$$

でなければならぬ。 ρ は媒質の密度であり、 n は媒質の形の變化に對する弾力を示す數である。媒質の體積を一定にしておいて、その形狀丈を變化させると、その變化に對して媒質内に弾力が起る。この弾力を示すものは n である。これを剛性率と云つてゐる。併し普通の液體でも氣體でも形狀の變化に對する弾性は殆んど皆無である。夫故、エーテルなる媒質は必ず固體の性質を持つてゐなければならぬ。其處で波動説といふ代りに之を彈性固體説 Elastic solid theory of light といつてゐる。この様に考へられたエーテルはトコロテンの様な性質を持つてゐると考へれば分かり易くなる。今非常に長いトコロテンを考へ、その一端にあたる一面を長さの方向に直角な面内で、左右に往復運動をさせたとすれば、内部の各部の振動やその傳播は丁度第十一圖(a)の様になる。

フレネルは以上述べた様な見解のもとで、廻折の現象の正しい説明をしたり、所謂フレネルの鏡やプリズムなどを工夫して光の干渉の現象を實驗的に示したり、光波長測定又は複屈折に関する

説明に成功した。

この様にして、光の本性は大分ハッキリして来た。加之光の直進の事実も波動説に抵触することはなく、却て波動説によつて、此の事實は決して厳密な意味のものでなく、近似のものであることが分かつた。即ち嚴格に云ふと、音波の様に光も亦直進するものではない。唯波長が極めて短いので直進するかの如く見えるのであると云ふことがわかつたのである。

以上述べた様に、波動説は、光學に於ける基礎の三つの法則を説明し得たのみならず其の他色々の光の現象をも能く理由づけることが出来たのであるが、光の媒質であると考へてゐる處のエーテルは固體であり、密度を有するものであるといふ様な假定を置かねばならなかつた。この假設から、色々の難問が出て来る。第一に、若しエーテルが固體であるとするならば、地震が地球を傳播する様に、その中を傳播する光波は、横にばかりではない、それと共に縦波も傳はらねばならぬといふことである。第二にエーテルに密度があるとすると、異つた物質内での密度は同じであるか違ふものであるかといふ疑問も起る。第三にエーテルが横波丈を傳へるものであるとしても、その彈性を表はす μ 即ち剛性率が異つた物質内で異うかどうかといふ問題も起るわけである。

フレネルはエーテルの剛性率はどんな物質内でも同じであるが

異物質内のエーテルの密度は異なるものであると假定し、投射反射屈折光の勢力の間の關係を論じ、實測と合ふ様な結果を得た。異物質内でのエーテルの剛性率は異うものとし、密度は同じであるとして、同一の問題を論じた物理學者も居る。

つまり、波動説では、縦波の仕未と、異物質の境界面に於ける條件 Boundary conditions とに付いて、色々の假定を設けなければならぬ。光の電磁説は、これ等の不利を一つも持つて居ない點に於て、非常に優れてゐる。

光の電磁説 Electromagnetic Theory of Light

電磁説は英國の物理學者マクスエル James Clerk Maxwell によつて、唱導されたものである。彼は1831年即ちフレネルの死後四年後に生れ1879年に死んだ。割合短命の生涯ではあつたが、彼の不朽の名著「電氣と磁氣とに關する論説」A Treatise on Electricity and Magnetism が出版されてから一躍して一流の大家となつた。この書物が出版されたのは、1873年即ち彼が死ぬ數年前のことであつた。

マクスエルは二つの簡単な電磁氣現象に關する事實を基礎として所謂マクスエルの基本方程式を作り上げた。第一の事實は電流の通つてゐる導體の周圍を、磁氣をして一周せしめるに要する仕

事は電流の強さに正比例するといふこと、第二は、或輪道に起る感應動電力は、その輪道面を通過する磁力線變化の時間に對する割合に正比例するといふことである。又これから得られた基本方程式は次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial X}{\partial t} &= \frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z}, & \frac{\mu}{c} \frac{\partial \alpha}{\partial t} &= \frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y}, \\ \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial \alpha}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial x}, & \frac{\mu}{c} \frac{\partial \beta}{\partial t} &= \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z}, \\ \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial Z}{\partial t} &= \frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial y}, & \frac{\mu}{c} \frac{\partial \gamma}{\partial t} &= \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x}. \end{aligned} \right\}$$

式中 ϵ 、 μ は電力、磁力に關するクーロムの法則中に這入つて來る定數であり、 ϵ は物質の電氣的性質を表はすものであつて、これをデエレキ定數 Dielectric constant と云つてゐる。又 μ は物質の磁氣的性質を表はすものであつて、これを透過度 Permeability と云つてゐる。これ等の定數は各物質に付いて、測定出来るものである。

c は電氣量の電磁氣絶對單位と靜電氣絶對單位との比であつて、これは實測出来るものであり、その値は 3×10^{10} 秒糧となる。

X, Y, Z は ϵ, μ を有する物質内の或一點に於ける電力の、三つの互に直交する方向に沿ふての分力である。 α, β, γ は其處の磁力の分力である。

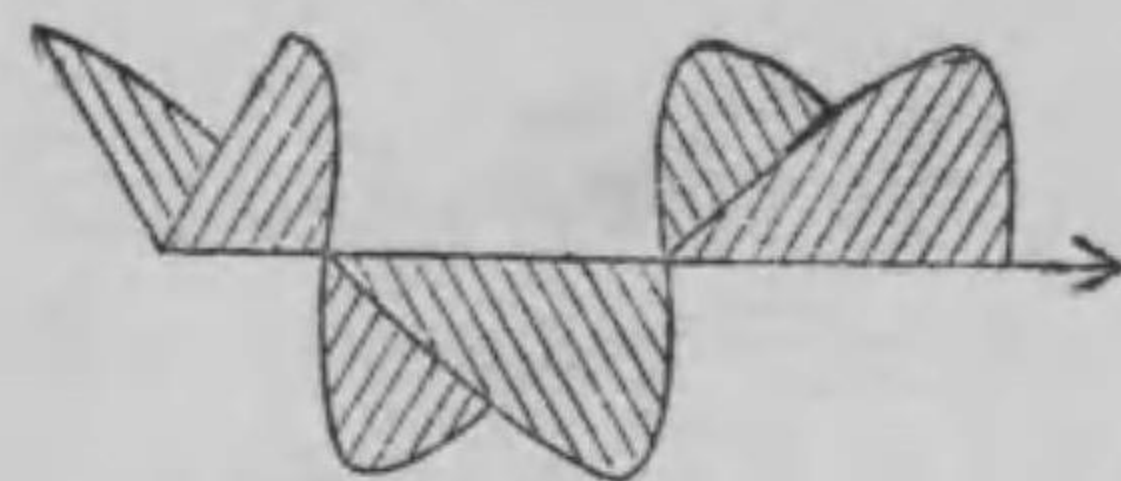
最初の三つの方程式は、時間に對する電力の變化を、場所に對する磁力の變化で表はしたものであつて、次の三つの方程式は、

時間に對する磁力の變化を場所に對する電力の變化で表はしたものである。

此等の方程式から、次の様なことが出て來る。

(1) 電磁波は第十二圖の様に横波である、縦波は伴はない。磁

第十二圖



波と電波とは切離すことは出來ないで、互に垂直になつてゐる。

(2) 電磁波の真空中での速度は電磁氣絶對單位の靜電氣絶對單位に對する比 3×10^{10} 秒糧である。光の真空中での速度は實測によつて知られてゐる通り、 3×10^{10} 秒糧なのだから、電磁波の速度と光の速度とが相等しい。

(3) 若しも光は波長の短い電磁波であるとする、反射及び屈折の法則は容易に出て來る。

(4) その他光に關する色々の現象が、前に述べた説の様に容易に説明出来る。

彈性固體説も電磁説も孰れも波動説である。彈性固體説はエーテルの各部が實際、我等の目撃してゐる物質の様に、振動し、その振動の有様がエーテル内に横波となつて傳播するといふのである。電磁説によると、電氣力、磁氣力の週期的變化がエーテル内を横波となつて傳播するものであるといふのである。さうして、孰れも光に關する色々の事實が説明出来る。併し電磁説の方は優

つてゐる点があるので、現今では、光は波長の短い電磁波であると信ぜられてゐる。

電磁説の有利な点といふのは、

(1) 縦波といふものが這入つて來ないこと、電磁波は純粋な横波であること、

(2) 媒質の境界面に於ける條件に關して何等の假定を要しないこと、従つて、元來性質のわからないエーテルなるものに、特種の密度や、弾性などを與へる必要がないこと、唯その境界面に於ける條件は、實測の出来る且つ物質に附屬する二つの定數 ϵ と μ とで、決定出来ること、

(3) 尤も有利な點は、光の速度は電磁波の速度と相等しいといふことなどである。

處が、1900年即ち今から二十六年前に、プランク Max Planck の量子説 Quantum Theory が發表されたのであるが、この説は電磁説と少しく相容れない點があることになつた。

プランクは獨乙の物理學者であつて、1858年に生れ、今六十九歳になつてゐる。

プランクの量子説によると、發光體から出る目に見える光、目に見えない光の勢力といふものは連続的に出るものではない。勢

力の元素とも云ふべき微量の勢力が不連続的に輻射されるものである。この元素を量子 Quantum といつてゐる。

「この考を基礎として、或特別な物體所謂暗黒體と名づけられてゐる物體から輻射する見える光見えない光の勢力が理論上推定せられた。」その結果は所謂プランクの輻射公式である。この公式は實驗上の結果と能く一致することが分かつた。

然るに、電磁説では、光は波動なのだから、音波は音波の勢力を波動によつて連続的に空間に傳播する如く、又水面波は、その勢力を波動によつて連続的に空間に傳へる如く、光波も亦連続的に光の勢力を傳へるものと考へねばならぬであらう。

電磁説も量子説も孰れ劣らず、確實な根據の上に立つてゐる。現代の物理學者に與へられた一つの問題はこれをどう調停すべきであらうかといふことであらねばならぬ。

そこで、最近、タムスンが光の構造 Structure of Light と題し、一つの調停説を發表した。

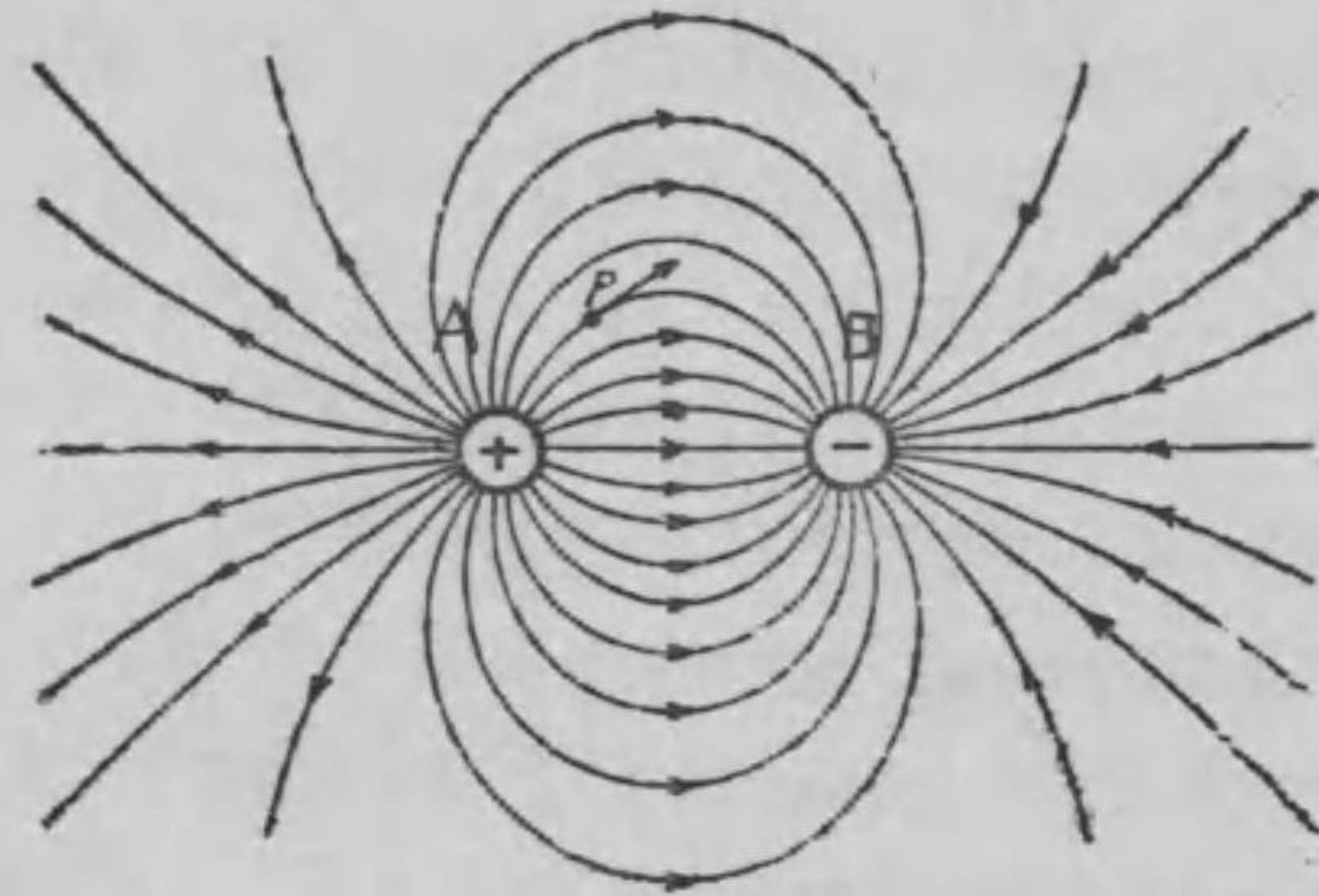
タムスン Sir John Joseph Thomson は英國の物理學者であつて1856年に生れ今71歳である。

この調停説は、今迄二度に發表されてゐる。發表學術雜誌は、Philosophical Magazine である。第一の論文は「光の構造に關する

サゼスチオン」A Suggestion as to the Structure of Light といふので、一昨年十月の Phil Mag に載つてゐる。第二の論文は前の続きで「光の構造」The Structure of Light と題し、昨年十二月の Phil. Mag. に發表されてゐる。

この説の要旨を述べて見る。茲に陽電氣、陰電氣を帯びてゐる

第十 三 圖



二箇の物體A' Bがあるとする、その周囲は特別な状態になつてゐなければならぬ。なぜならば、陽電氣を帯んだ小さい

い物體Cを、Pといふ様な處に置くと、Cは或電力を受けるが、A、Bが帯電されてないと、Cは何等の力を受けないからである。A、Bの周囲は、何處でもCに電力が作用する場所だといふ意味で、その場所を電場と云つて居る。さうしてPにCを置いたとすれば、Cに作用する力を、Pに於ける電場の強さといふ。この電場は、どんな風になつてゐるか云ふことを云表はす爲に、電力線といふ曲線を考へる。電力線とは、AからBに引いた曲線であつて、その上任意の一點Pに引いた切線の方向が、Pに於ける

電場の強さの方向と同じになる様な曲線である。これは、クーロムの法則によつて、畫くことが出来る。第十三圖はA、B兩帯電體に基づく電力線である。電力線は陽電氣から陰電氣の方へ無數に引くことが出来る。今Aの表面Bの表面に小さい表面 S_1 、 S_2 を考へ、 S_1 の縁から出て、 S_2 の縁に終る電力線で一本の管を考へることが出来る。この管のことを力管(Tube of Force)と稱へてゐる。陰陽兩電氣が相吸引するといふことは、この力管が收縮しやうとしてゐることなのであるから、力管は恰も、ゴム管の様な作用を持つてゐるものと考へてよいわけになる。

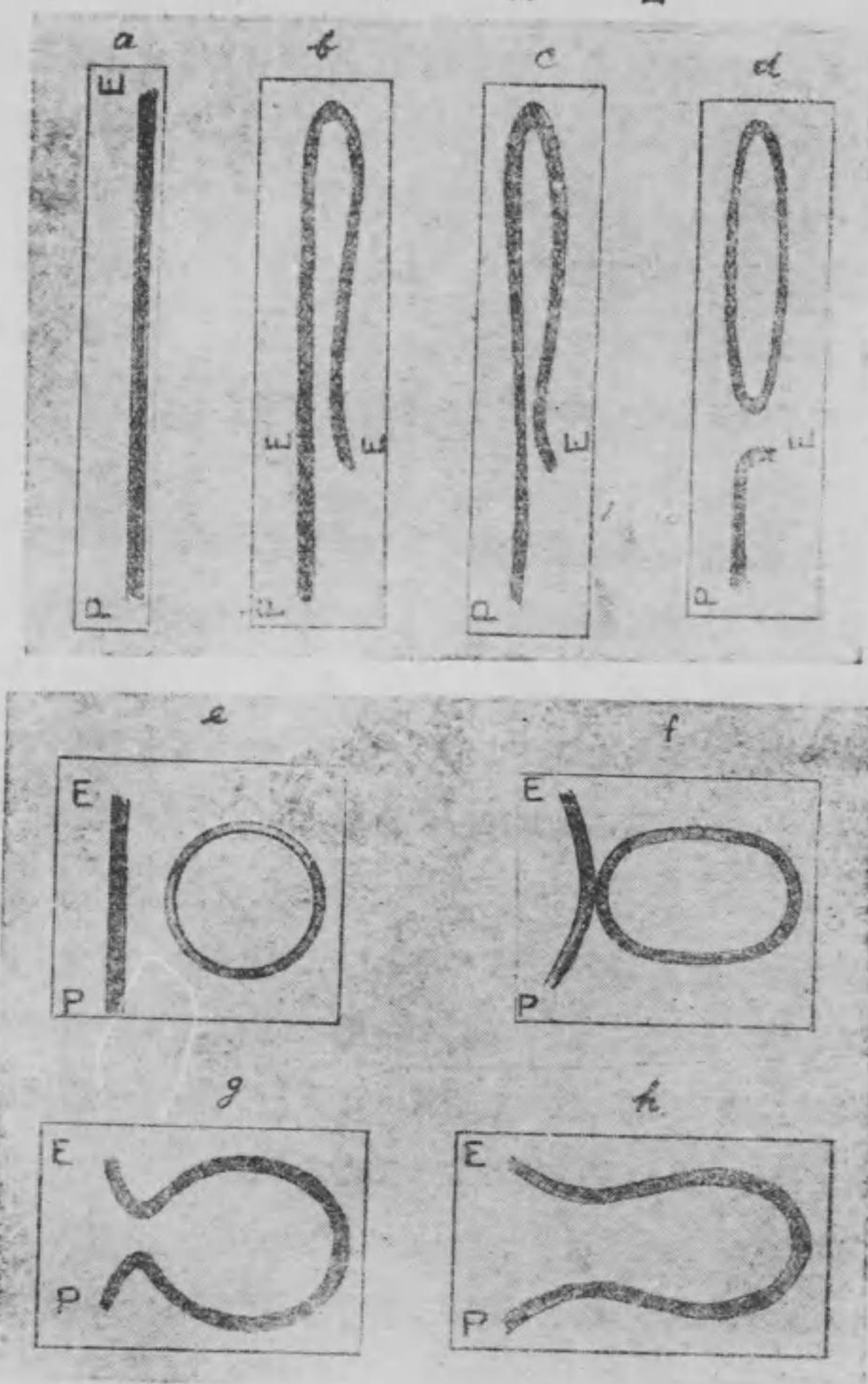
近年原子 Atom の構造が段々わかつて來たが、それによると、原子の中心には陽電氣の核があり、その核の周囲を陰電氣の微粒子即ち電子が運動してゐるといふのである。電子の數や、その配置によつて、原子の種類が異なるのである。例へば水素原子は、陽核の廻りを一箇の電子が運行して居る。

水素瓦斯を封入した硝子管の兩端に電壓を加へ、管中で放電させると水素に固有の光が出る。この光の輻射は、管の兩端に加へた電壓に基づく放電の際に、陽核と電子との間にある力管が激變を受けた爲に起るものと考へ得るであらう。

偕タムスの考は斯うである。第十四圖(a)は一本の力管であるとする。例へば、Pは陽核に終り、Eが電子に終つてゐるもの

とする。この管は電氣的激變を受けると、(b), (c), (d), (e) といふ様な風になつて、引きちぎられたる管は一箇の輪を作る様な

第十四圖



場合がある。この輪は、次の様な性質をもつて居る。

- (1) 輪を形成してゐる電力線は、輪に沿つて廻轉してゐる、
- (2) 輪は、その面に直角な方向に運動する、
- (3) 最初 P, E 間に貯へられたる勢力は大部分、この輪に收められてゐる。

其處で、タムソンはこの輪こそは勢力の元素たる量子であると考へた。尙、力管が電氣的激變を受ければ、この輪が作られる外に、マクスエルの電磁波が輪と一緒に、傳播され得るものと考へた。併し光の勢力は大部分輪に貯へられるから、電磁波と共に傳へられる勢力は極めて微量であると思つたのであつた。夫故に物を明るく見せるのは、この電力輪内に貯へられてゐる勢力であつて、電磁波の勢力ではない。

又電力輪が物質に吸収される場合は、丁度前の逆を行く。第十四圖 (e) の EP なる力管の附近に輪が圖の様な位置に動いて來ると、(f), (g), (h) といふ様な風になつて、輪がなくなる。

要するに、タムソンの説は未だ發表された計りであつて、他の學者の批評を見受けないが、電磁(波)説と量子説とを融和させる説として、甚面白い新説であると私は信じてゐる。[終り]

大正十五年九月十日印刷
大正十五年九月十五日發行

複製不許

『光の構造』

定價金五十圓

編者 太田代唯六

群馬縣桐生市下久方町二百二十一番地

發行者 野田健治

東京市芝區愛宕町三丁目二番地

印刷者 大西岸惠

東京市芝區愛宕町三丁目二番地

印刷所 東洋印刷株式會社

群馬縣桐生市下久方町貳百貳拾壹番地

發行所 化學工藝社

東京市京橋區元數寄屋町三丁目七番地

元賣捌所 北隆館

西田博太郎主 工學博士

化 學 工 藝

○最も古き歴史を有する本邦唯一の通俗的化學工業雜誌
○世界のあらゆる事物は化學によつて活動す
○化學なき國に文化なし
○本誌を翻いて世界の新知識を注入せよ

△購讀料
半年二圓八十錢 (送料不要)
一年五圓五十錢 (送料不要)

「化學工藝」特別號

染織工業號

本邦染織界の權威三十餘名執筆の一大論文
總頁數二百頁 壹圓 (送料不要)

製紙工業號

本邦製紙界の權威四十餘名の執筆せる大論文集
總頁數二百四十頁 壹圓五十錢 (送料不要)

滿洲工業號

滿洲工業の現在及將來を論じたる三十名士の大論文集
總頁數百五十頁 壹圓 (送料不要)

人造絹糸號

人絹工業に關する總てを網羅し現在及其將來を論じたる學者當業者四十名士の大論文集
總頁數二百頁 壹圓 (送料不要)

發行所 化學工藝社

桐生市下久方一二番 振替東京二〇六一番

書圖版出社藝工學化

工學博士 A. i. C. 山路 西田博太郎 信藏 共著	工學博士 西田博太郎著	桐生高工 教授 加藤淺四著	桐生高工 助教授 吉岡春之助著	文學士 久野真吉著	桐生高工 教授 山田 廣著	農學士 山賀益三著	理學士 北村友圭著	工學士 佐藤 雅著	工學博士 澁澤元次著	帝國工場協會編纂	理學博士 太田代唯六著
硫化染料製造法	人造絹絲業の現況と我々の將來	家庭染色法	科學と生活	詩と人生	毛織物の虫害豫防法	煙草の話	比例選舉法の話	最近の農村電化	最近電氣界の發達と其將來	最新工場關係法令全集	光の構造
送料價 十三圓	送料價 四十六圓	送料價 四圓	送料價 二十五圓	送料價 二十五圓	送料價 二十五圓	送料價 三十圓	送料價 二十五圓	送料價 八圓五十錢	送料價 八圓五十錢	送料價 八圓八十錢	送料價 四十五圓

目丁三十町麴區谷四市京東 社藝工學化 一二二町方久下市生桐
 番三四四四谷四話電 番六一〇五二京東替振

46
304

終