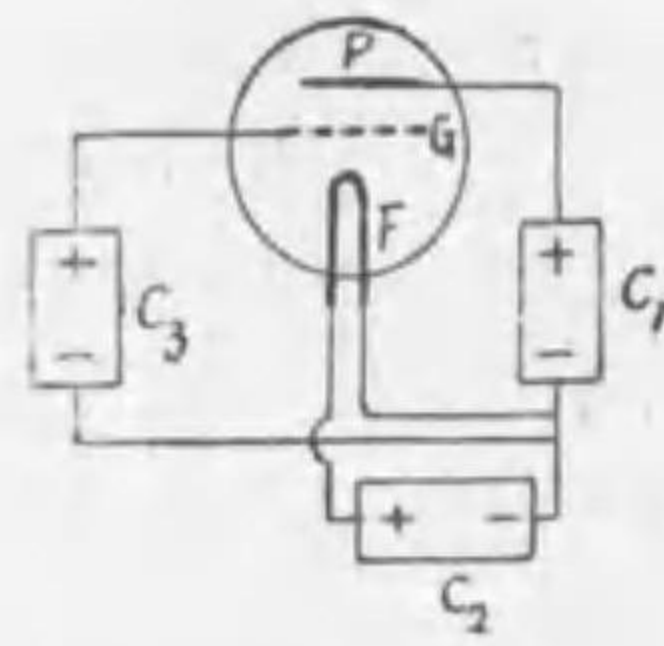


の役目を勤めしむることを得べし。又細線 F の温度を左右することにより熱電子の発射量を自由に變更するを得べく、又 F を流るゝ電流の電位を換ゆれば熱電子の速度を自由に増減し得べし。

其後二極管は改造せられ上極 P と下極 F との中間に螺線若くは格子状の圓筒を挿入し (de Forest's audion) 之を 第六三四圖 に示す如く電池の陰極と結び

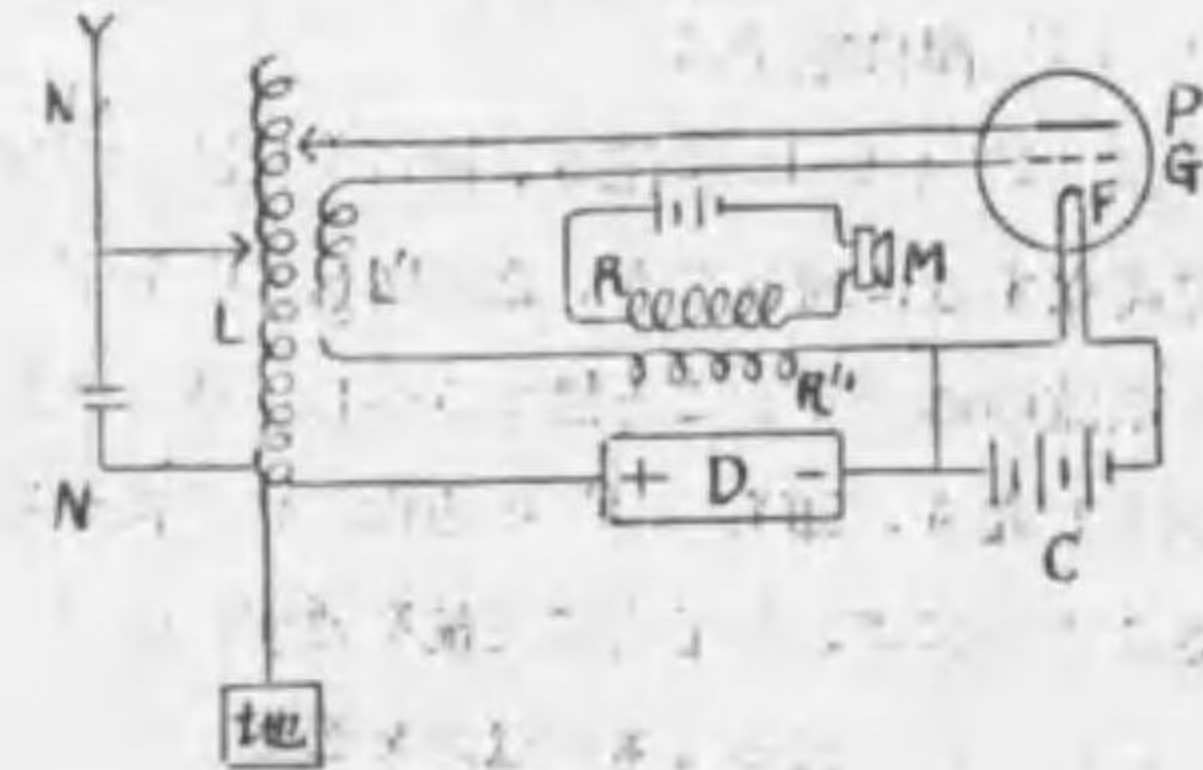
第六三四圖



しに格子は陰荷電を得て熱電子即ち電子を斥け極板 P より来る電流は不通となる、依て格子 G を陽極と結ぶときは格子無き時よりも一層強き電流の通過するを認むるなり、今や真空管は三種電流の往復する處となりしを以て三極管の名を得たり、即ち電池 C1 は上極板環流 anode circuit に、電池 C2 は細線環流 filament circuit に、電池 C3 は格子環流 grid circuit に電流を供給す。格子 G 及び上極板 P は圓筒形をなして細線 F を圍繞するを普通三極管の形状とす (第六三五圖、都合上 P は透明なる如く描きたり)。

上述の理により格子に交流を通過せしむるとき、例へば 第六三四圖 の電池 C2 を廢して交流機を代入するときは電池 C1 より出づる上極板環流は交流と同一週期に於て強弱の變化を呈すれ共、尙ほ同一方向に P より F に向て流動すべし。

第六三六圖



無線電話の送話器に三極管を使用するときは次に記す現象を生ず、電池或は直流發生機 D より出づる電流は DLFPD の順序を追ふて流るゝ際若し其強さ次第に増加する場合には (電池 C に養はるゝ細

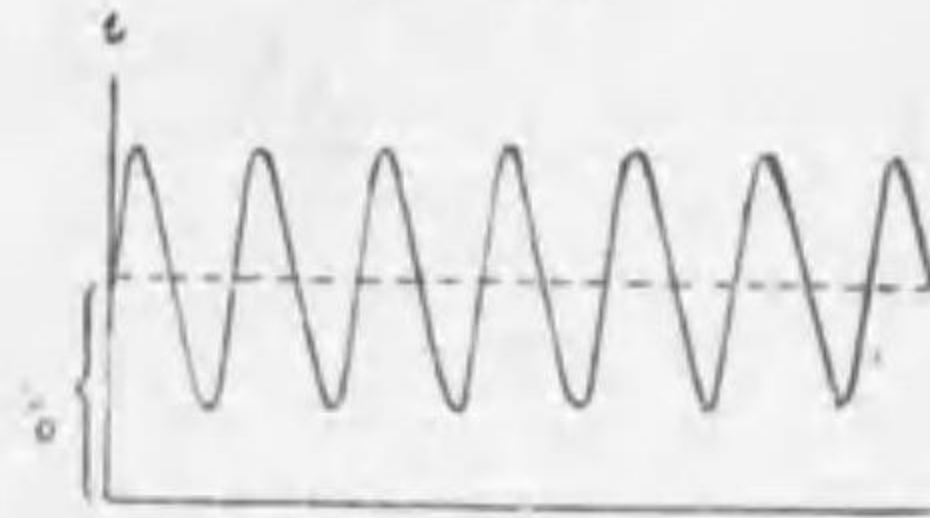
第六三五圖



線 F は既に熱電子を發射しつゝありと假定す) L に對峙せる L' は感應により負性を帯び (レンツ則に依り)、格子 G に陰荷電を生じて F より發射する熱電子を拒むが故に抵抗を生じ上極環流 (P より F に向へる) は次第に衰ふ、之が爲に L は L' に感應して格子に陽荷電を帯びて上極環流盛大となる。斯の如く上極環流は交替的に盛衰する電流をして L を通過せしむるが故に此と連絡せる送波槽 NN に定滯波動を生じ空間に電磁波を傳播せしむるなり。

此理により PFDLP を流るゝ上極環流は交替的變化を呈すれ共普通の交流とは異にして 第六三七圖 の如き形を具へ、直流の強さ i_0 を平均位置となしつゝ上下に振動す從て振動する直流と異なること無く効率は $\frac{1}{2}$ となり殘餘の $\frac{1}{2}$ は上極 (第六三四圖 P) に熱を附與す。

第六三七圖



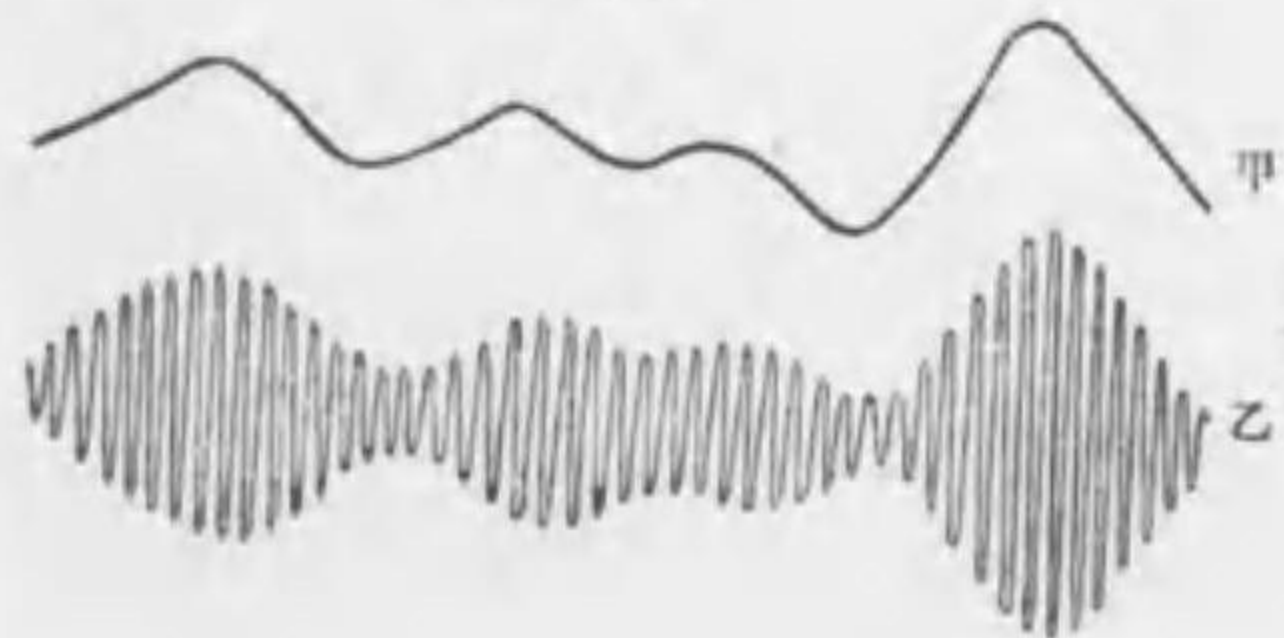
第六三六圖の M は微音器にして筒輪と電池とを有する輪線内に挿入せらる。微音器に語又は音樂を吹込むときは電流は旋律的 (modulation) に其強さを變化す、故に R に對峙する R' に感應して格子環流 R' L' GFR' に同一の旋律的影響を與ふるを以て環流 PFDLP の交流に反應して其強弱を生ず、換言すれば上極環流の振幅は音樂の旋律に從て變化す。故に旋律無き時の交流を

$$i = i_0 + i_1 \sin pt$$

とすれば $i_1 = \text{常數}$ なり、然るに旋律を生ずるときは i_1 は時間 t の函數となり

$$i = i_0 + (\sum i_n \sin \omega_n t) \sin pt$$

第六三八圖

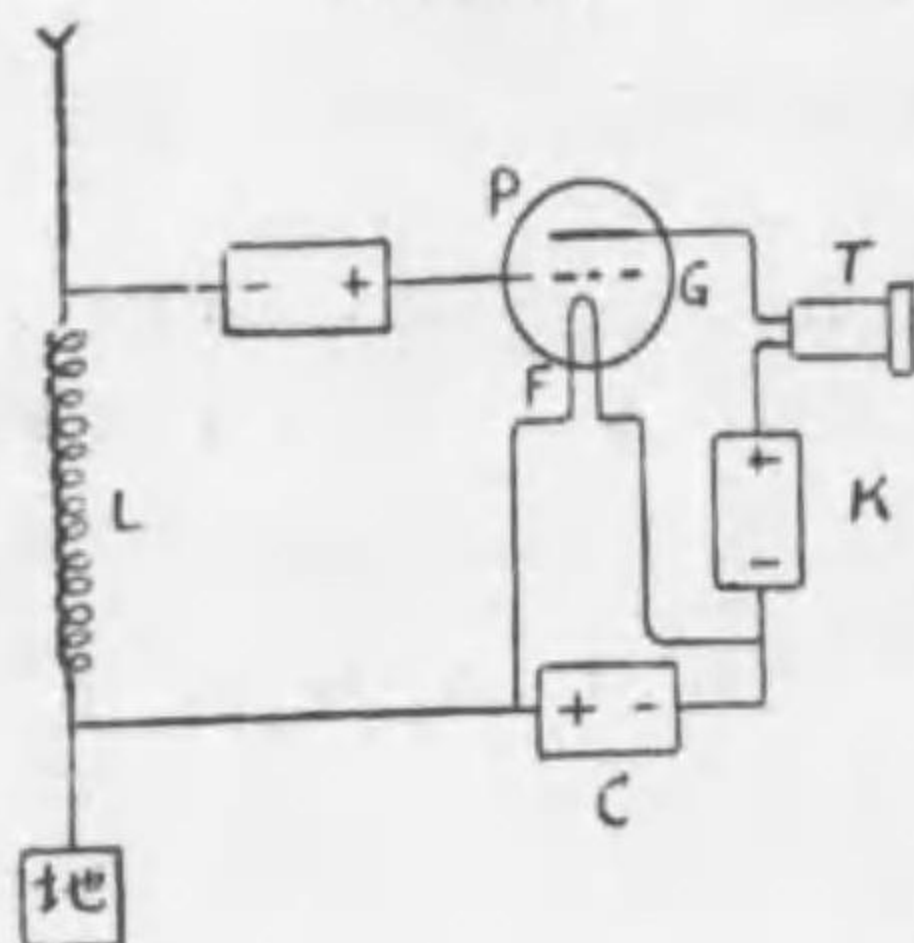


茲に $\sum i_n \sin \omega_n t$ は音の旋律に伴ふて生ずる電流の旋律的變化にして例へば 第六三八圖甲の如し、而して之を振幅となせる交流は $(\sum i_n \sin \omega_n t)$

$\sin pt$ によりて表はされ、乙圖の如き形を具ふ。

受信所に於ては(第六三九圖)空間を通よして傳送せられたる電磁波を吸収す

第六三九圖



るに適當なる長さの受信機を樹て、交流を受取り三極管又は真空管によりて之を直流に整流し、然るのち之を受話器 T によりて聴取るなり、即ち前述の如く F が放射する熱電子は FP の方向に抵抗を興ふる故 PE CF を流るゝ交流の振幅の變化は TPFKT を流るゝ直流の振幅に同一の變化を惹起せしめ、以て受話器 T の銀板を振動せしめて音波に變

ずるなり。整流器としてはカーボランダム(木炭)の如き真空管を用ふることあり(Dunwoody 1906)、此種の真空管は一方に流るゝ電流を通過せしめ其反對流に流るゝものを拒む性質を有するを以て整流器の効を奏す。

第九章 氣體の電氣傳導 ELECTRIC CONDUCTION THROUGH GASES

356 電離 ionization 普通の氣體は電氣の不導體にして空氣中にて行ふ電氣實驗は空氣が絶縁體なる故に可能なることは明かなり、然れ共強力なる電場に氣體を置くときは多少電導的性質を帯ぶることは氣中電氣の現象に依て吾人が既に知るところなり。然るに次に列記する諸法の一に依らば氣體は容易に電流を通過せしむるに到るなり。

第一、氣體を X 線或は紫外線に曝露する時。

第二、放射体より出づる輻射線に觸るゝ時。

第三、陰極線が一度其氣體を通過したる時。

第四、レーナード線が其氣體を通過したる時。

第五、電氣の火花より發する線に觸れたる時。

第六、高熱の金屬又は炭より發する線に觸れたる時。

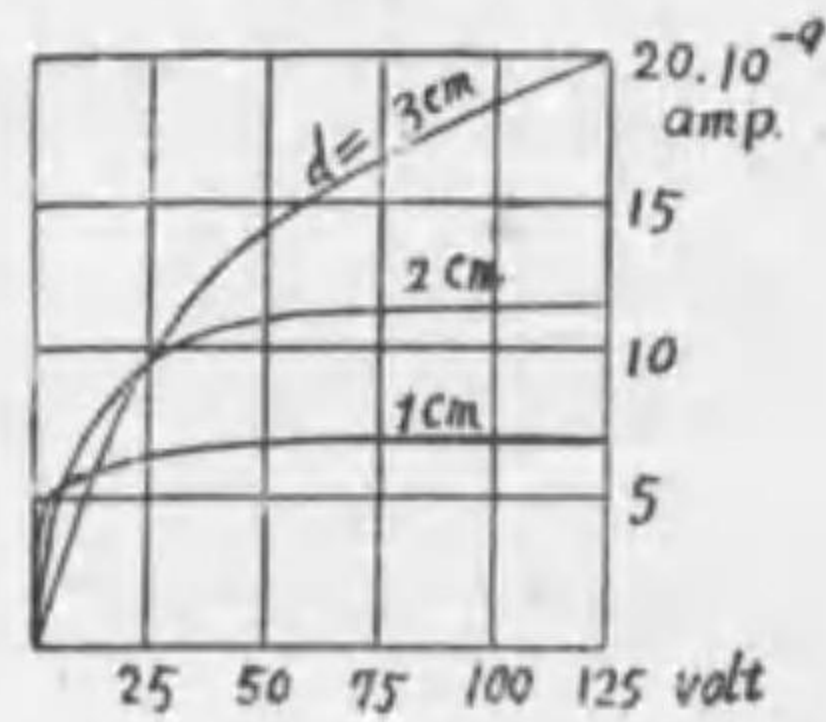
第七、氣體を高熱に熱したる時、炎又は弧燈附近の空氣の如し。

第八、磷、Na、K の如き元素の表面を掠めたる時。

氣體は如上の他働的原因によりて電導的となるも其原因を除去すれば電導性は徐々に衰へて遂に皆無に歸す、然るに其氣體を石棉(asbestosの如き)の栓を有する管にて澆すか、或は水中を潜らしむるか、但しは細孔の金屬管内を通過せしむれば直に氣體は電導性を失ふなり。同様に氣體をして強力なる電場を通過せしむるときにも迅速に電導性を消失す。此に依て考ふれば上記の原因に依り一且電導性を得たる氣體は或物質を含有せるも、其含有物は澆過する事又は細孔を通過することに依て澆し残さるゝものなるや明かなり、又含有物は電場に於て消失する性ある故荷電體なるに相違無かるべし、然れ共其荷電は十と一と等量にして外見何の等荷電無きものゝ如く視ゆるなり。此荷電的含有物を粒子 ions と稱し、上記八種の原因によりて氣中に粒子の發生する現象を電離と名づく。

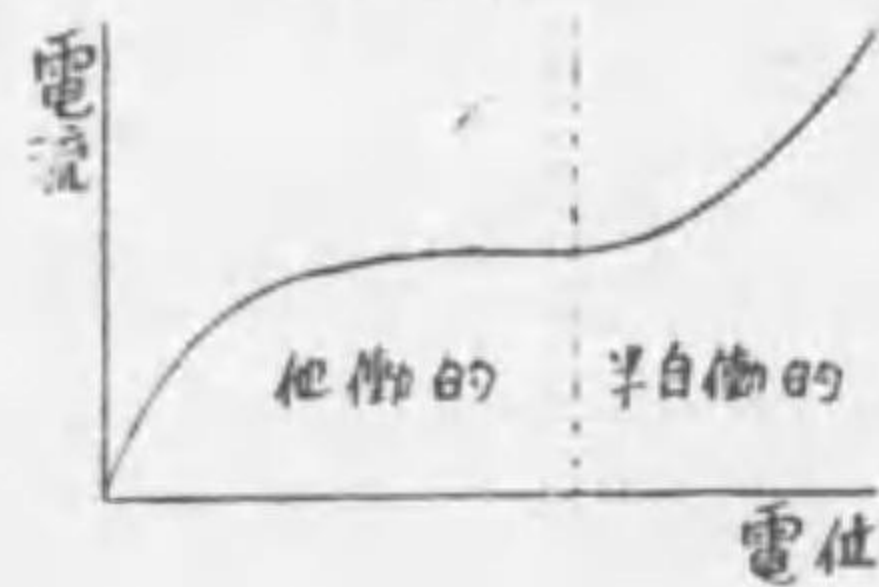
電離作用を受けて電導的となりたる気体は電動力が小なる間は オーム 則に導みて電流を通過せしむるも、電動力増加するに従ひ電流は電動力に正比例する能はざるに到り遂には定滯的となる、之を飽和電流 saturation current と稱す、第六四〇圖の横軸は電動力にして縦軸は電流を示す、最初は電流は電動力に正比例して上れども、久しからずして曲線は横軸に平行して飽和となる、而て飽和電流の強さは電場の兩側に在る電極の距離 d が大なるに従て強きことを視るなり。斯く氣體が早晚飽和状態に達する理由は電離作用を受けて気体内に發生する粒子の數と電極に吸收せられて電流を助くる粒子の數とが互に等しくなるが故なり、即ち電離作用に依て一秒毎に發する $+$ 又は $-$ 粒子の數を q とし、各粒子の荷電を e とし、電流の強さを i とすれば、下極に吸收せらるゝ粒子の數は毎秒 i/e なり、而て最初は $i/e < q$ なるも早晚 $i/e = q$ なる飽和状態に到着するを以て i は定滯的となるなり。

第六四〇圖



然るに尙ほ電位を増加して已まざる時は電極附近に密集する粒子は氣體分子に衝突して氣體の電離を旺盛ならしむるを以て從來の如く純然たる他働的狀態を通り超して、半ば自働的 (自働的 = spontaneous, automatic) となり、電流の強さは頗る増加して (第六四一圖) 遂には次節に説かんとする自働電離と異なる無きに到るべし。粒子が氣體分子に衝突する頻度と運動量とを増加するときは衝突の都度分子より放出せらるゝ陰粒子の數増加するを以て益々電流の流動を助長するを得るなり。

第六四一圖

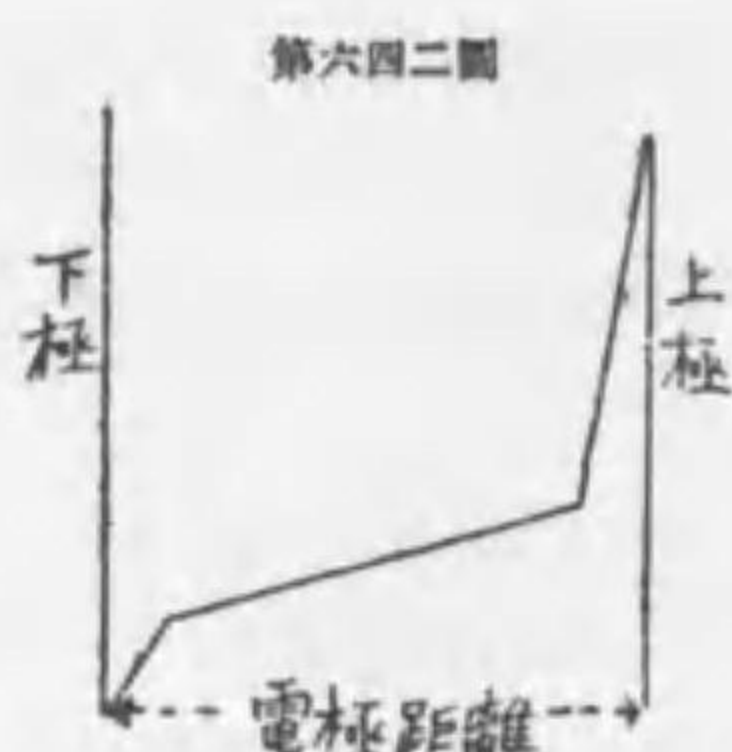


357 火花放電、弧燈放電 spark discharge & arc discharge 蓄電池の兩極に二條の導線を繋ぎ他の放端に金屬板を附著し之を電極となして對峙せしむる

ときは其中間に挿まれる気体は電壓極めて大なる時に限り自働的に電離し頓がて火花を發して電流通過し始む、斯く火花を始むる時の電位差は電極相互の距離と、介在する氣體の性質及び壓力には關係すれ共電池の數には關係なきものなり、例へば氣體が全然乾燥せる時は如何に強大なる電場を設くとも火花を發すること無し、然るに一度火花を發する時は電位差遽に下降し火花は繼續して起るを見るべし。此に依て考ふれば電場が或電位差に達するときは暗性放電 dark discharge なる現象生じて氣體を徐々に電離し、又電離進行の度或程度に達すれば爰に火花を發生せしむるものなり、此暗性放電は未だ之を寫真に採影する能はざるを以て直接に其存在を證明するは困難なれ共、試に磁鐵を携へ來り暗性放電を曲げ一電極より他電極に達せざらしむる様其方向を轉ずるときは火花は何時まで待つも發生すること無し、即ち最初の火花が放たるゝまでの時間に於て電場を徐々に電離して暗性電流を通じつゝあるものなれ共、其力薄弱にして到底驗電器等によりて其踪跡を發見する能はざる程度のものなり。今兩極の距離を l とし電位差を V とすれば V と l との間には $V = a + \beta l$ の如き關係あり、而て空氣中に於て火花放電を生じ得べき電位差の最小値は 341 ヲルト なり。

氣體の壓力を漸減するときは放電に必要な電位差も次第に小にするを得べく、遂に或程度の壓力に到着すれば電流最強となり、電位差は最小の値に達す、故に更に壓力を減ずるときは放電に必要な電位差は却て増加す、然れ共此は氣體の性質と電極の距離 l を不變としたる時の狀況にして、若し l を減ずる場合には臨界壓力を増すも不可なし、 σ を氣體の密度とすれば火花の初發に要する電位差は $V = a + b\sigma l$ の如き公式に依て與へらる。抑々最初より暗性放電の起る理由は空氣は通常の有機に於ては既に少量の電離粒子を含蓄せるが故にして、其粒子の助によりて一層電離を進行せしめ、機會の熟するを待て火花放電を行ふものなり。電極の一方が尖端を有するときは放電作用は多少早く開始せらる、又電位と電流との關係を示す曲線 $V = f(i)$ を電位流圖形 characteristic と名づく。

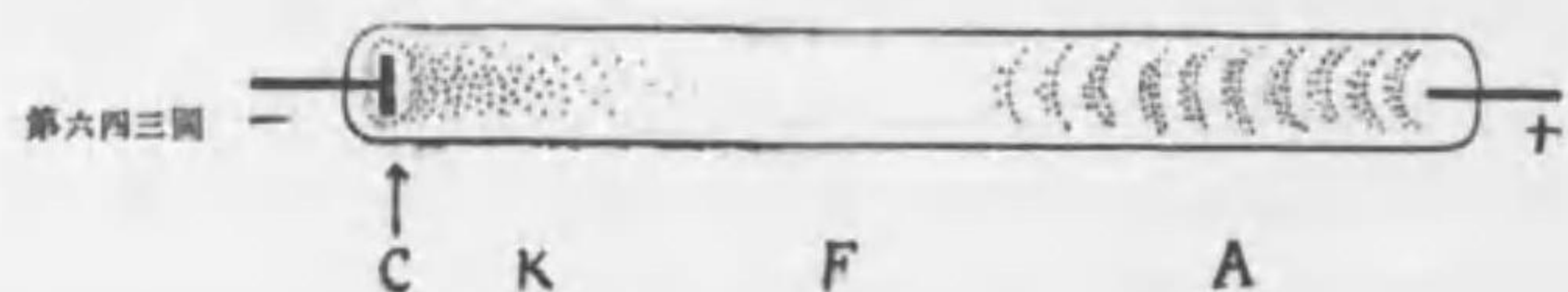
火花放電に於ては電位差大なるも電流は小なり、之に反して弧燈電流に於ては電流は大にして電位差小なり (60 乃至 80 ヲルト)。弧燈の電極間の電位は第六四二圖に示す如く下極 (陰極) に於て電位の大頓挫あり、之がために下極は大に



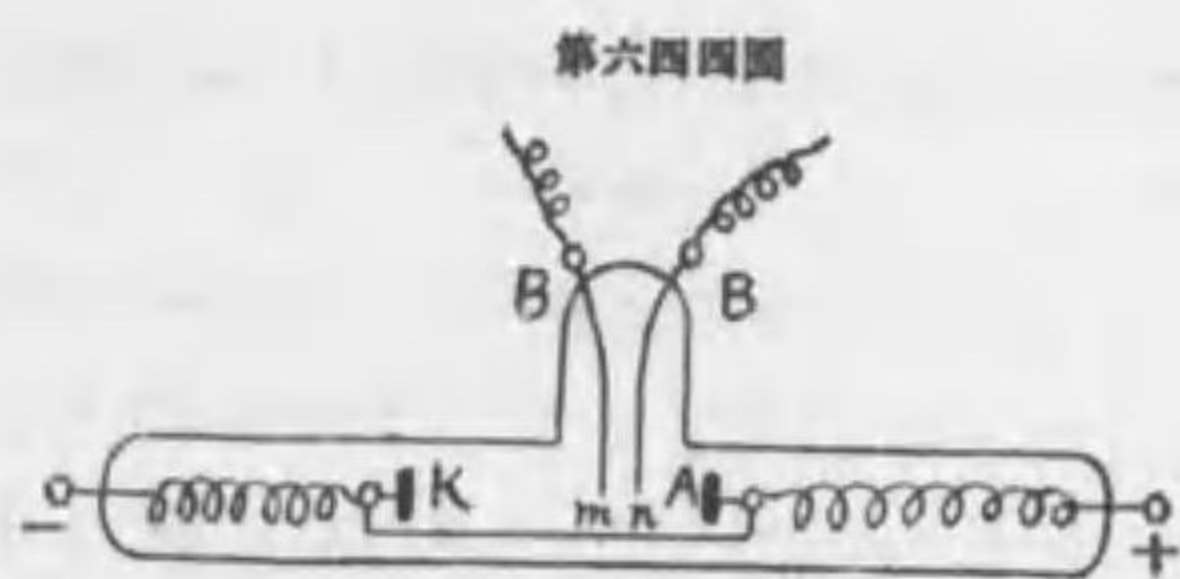
第六四二圖
熱せられ 3500° に達す、電弧は之よりも一層高温に上るべし。電流を増すに従て、上極に穿たれたる噴口は其温度を増すこと無く又光力に變ても増減なし、單に發光する部分の面積増加するを見るのみなり、而て温度は炭素揮發の温度に常任す。電流は粒子によりて運搬せられ、電弧が 2000° の時は陰粒子(電子)は陽粒子の十七倍の速度を有す、電弧が 1000° に降れば速度の比は四倍なり、故に高温に於ては弧燈の電流は主として下極より上極に向て流るゝものと云ふて可なり。

358 真空放電 discharge at low pressures 真空放電とは 10 耗以下の氣壓を有する氣體内に於ける電流にして素より自働放電なるを以て感應 コイルによりて生じたる脈搏式の高壓電流を使用して實驗するを要す。10 耗内外の真空管に於ける放電は通常紅色に輝く細線を發生するのみにして特に記するに足るものなし。

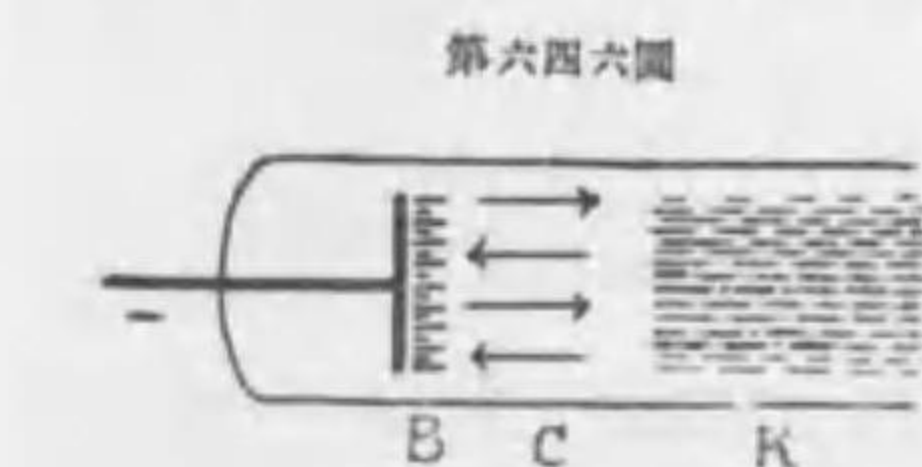
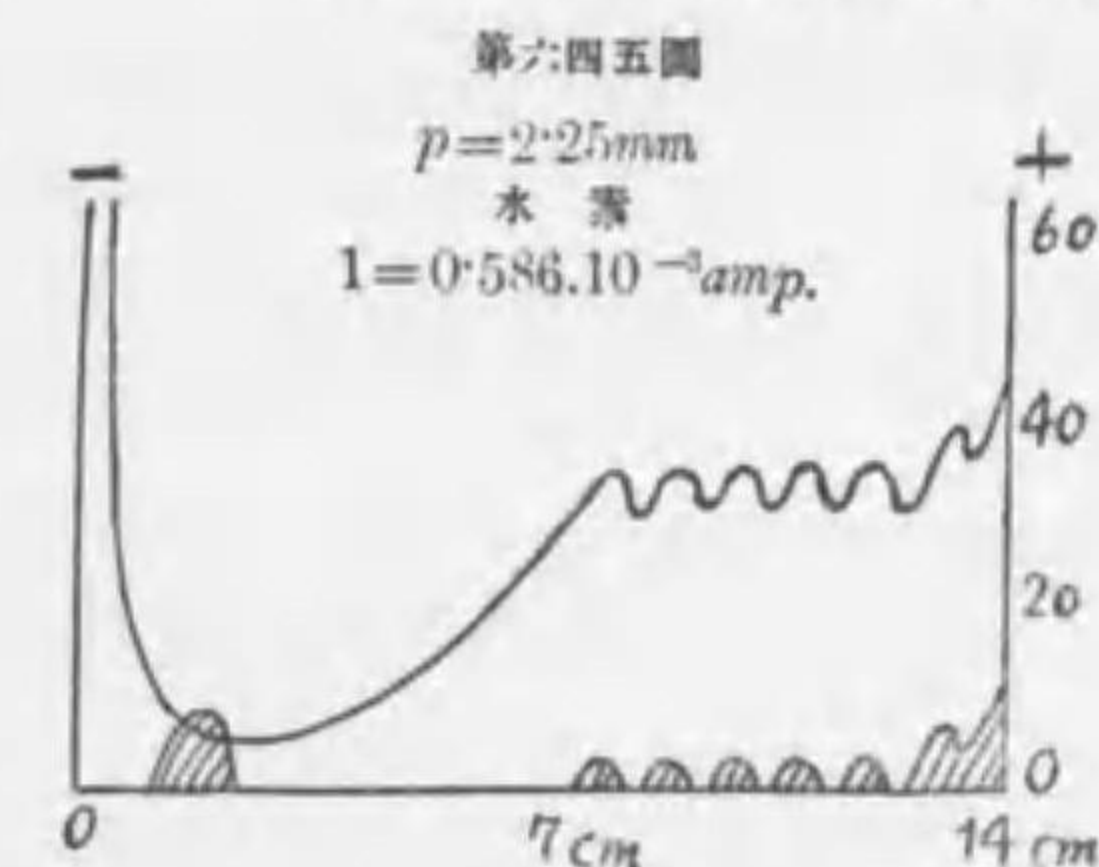
壓力 1 乃至 5 耗に降るときは之を ガイessler 管 Geissler tube (Plücker 1858) と名づく、之に感應 コイルの脈搏流を通ずるときは(第六四三圖)管は



第六四三圖
光輝を以て充たされ下極の前部 K に青色の光芒 cathodic glow 現はる、此はテスラ實驗に於て見し光芒と同程に屬し温度最高く電離作用亦た最大なり。上極の前部には紅色有層の光芒 anodic column 羅列す。兩光芒の間にはファラデー暗處 F (Faraday's dark space) あり、又下極面に密接してクルークス暗處 C (Crookes' dark space) あり。管内に uranium glass、石油、幾那鹽類の如き螢光性物質を容れ置ときは光輝甚美なり、又管内電位の形勢を測るには第六四四圖の如き真空管を製し一定の距離を保てる電極 A, K を磁鐵を用ひて管



第六四四圖
の横軸は電極間 14 ㎝の距離を示し縦軸には電位差を ヲルト/㎝にて示せり、此に依れば電位は上極及び下極に於て頓下し下極に近き場處に於て下降甚しく、下極光芒内に於ては勾配最小なり、是れ下極より放射する電子の爲に電離最も盛なるに因るものにして、電離作用は下極を距るに従て益々大となり勾配次第に増加す、曲線の波状をなせるは上極の成層光芒内に於ける電離の強弱を表はすものにして光層の光度は電離の度の強弱に従て變化す、圖中下部に半影を附したる曲線は上極及び下極光芒の光度を示すものなり。電離の因果的順序は最初上極より陽粒子射出せられ管内を徐行して下極面に群聚して其面に衝突するため下極面上に密著せる氣體分子を電離し(第六四六圖)光輝を發せしむ、之を第一下極光(圖中 B) first cathodic glow と稱す、之がために多量の電子は下極面より奔出し、クルークス暗處(圖中 C)を快走して氣體分子に衝突し下極光芒(圖中 K)を發生せしむ、此際多量の陽粒子を生ずると同時に多量の電子を増加し、陽粒子は下向し電子は上向して、ファラデー暗處(第六四三圖 F)を疾走し上極の光層(第六四三圖 A)に來りて再び電離作用を逞ふす、是れ上極光層に光輝ある所以なり。電離作用を仕遂げたる結果として其速度較々衰ふるも光層間の比較的暗き處を走りつゝ加速して再三電離作用を呈す、斯の



第六四五圖
 $p=2.25\text{mm}$
水素
 $I=0.586.10^{-3}\text{amp.}$
第六四六圖
第六四六圖
第六四三圖 F)を疾走し上極の光層(第六四三圖 A)に來りて再び電離作用を逞ふす、是れ上極光層に光輝ある所以なり。電離作用を仕遂げたる結果として其速度較々衰ふるも光層間の比較的暗き處を走りつゝ加速して再三電離作用を呈す、斯の

如く電離作用と加速運動とを交替的に行ふを以て光層の層々相重さなりて光度に週期的盛衰あるを理解すべし、電子は遂に上極板に衝突して之に吸収せらるゝと同時に陽粒子の多量の放射を促進するものなり。上述の理に依て考ふれば上向下向粒子の發生は最初の自働的放電作用によりて上極より陽粒子を噴出するに基づくものなり、而て陽粒子は質量大なるを以て快速を有せざれば其運動量大なるが故に下極面に衝突して茲に電子の大放出を發生せしむ、故に陰電子（陰電子即ち陰粒子を單に電子と稱す、陽粒子は存在すれ共陽電子なるものは存在せざるなり）の流れと陽粒子の流れは左右より交流し處々に於て氣體分子の電離を促し光輝を發せしむるものなれば、管の中央に金屬の薄片を立つるときは左右の光芒悉く同時に消滅するを視るべし。又上極光芒は其名は上極に因縁あるが如く開ゆれば其質は下極の附屬物に過ぎずして、上極成層光芒は常にファラデー暗處を隔てつゝ下極より一定の距離を保つものなり、故に管内の壓力を變ずること無くして單に管の長さを短くすることを得ば下極と成層光芒との距離は依然として變ずることなく單に光芒の層數の減少するを視るのみなり。

光芒は電子の電離作用に伴ふて生ずる光輝なるを以て磁鐵を管邊に近づくと

きは光芒は電磁力に感じて其位置を變更すること

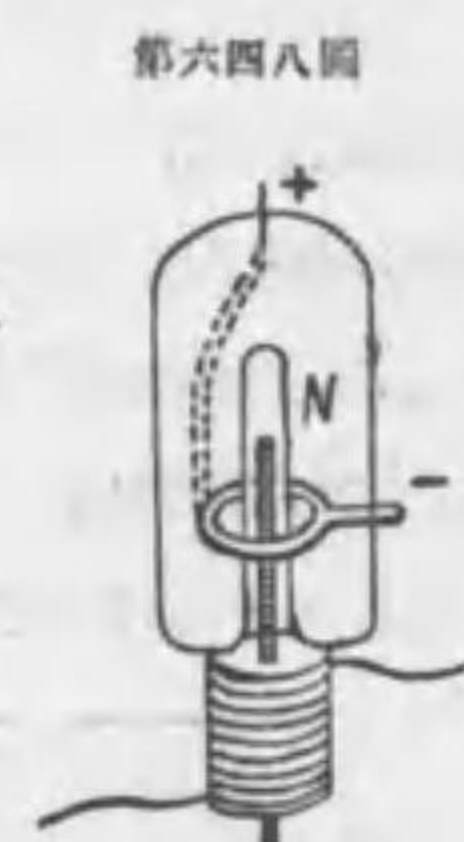
第六四七圖に示す如し、又第六四八圖に示す如く電磁鐵のN極の周圍を、下極の役目を務むる輪道に沿ふて回轉すること恰もファラデー實驗

(§ 318) に於て電流が磁極を公轉したると同一なり。

359 陰極線 cathode rays. (Plücker 1859) 真空管内の壓力を次第に減ずれば上極附近の有層光芒は順次に下極より遠ざかりて遂に管外に出で（即ち管内に於ては消滅す）、此と同時に下極の光芒は前進してクルークス暗處擴張し光芒は淡くなり遂に $p=0.01$ 纒に於て全く消失して管内には何等の光明を残さ

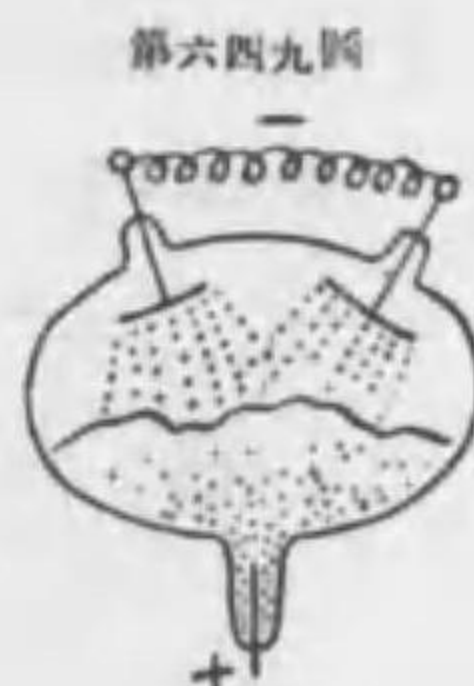


第六四七圖



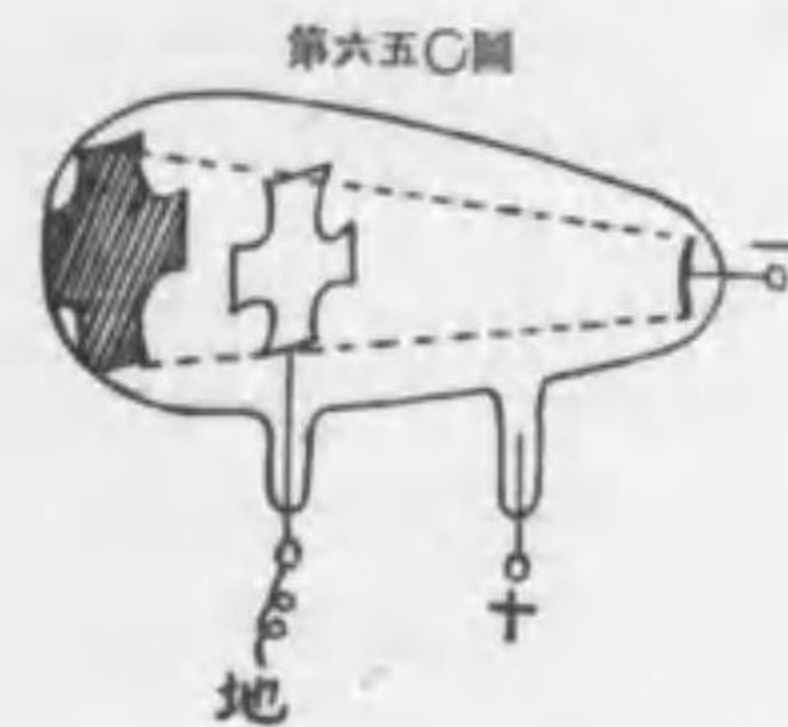
第六四八圖

ざるに到るも管壁は強き緑色の螢光を放ちて輝くを見る、此れ下極より放出せられたる不可視の陰粒子即ち電子はガラス壁に衝りて光波を起すに因るなり。其色は鉛ガラスの場合に於ては青色なり。分光器を以て其色を検するに連続スペクトラを發す、下極より放射せらるゝ此不可視の電子線を陰極線（即ち下極線）と名づけ、此程度の真空管をクルークス管と稱す。一度陰極線に觸れたる物体は之を熱すれば未だ發火点に達せざるも尙光輝を放つを見る此現象を thermoluminescence と云ふ、此現象は $MnSO_4$ 及び $CaSO_4$ に於て最も良く發達す。一般に陰極線は諸種の物体に螢光及び燐光を發せしむ、故にクルークス管内に $CaCO_3$ 又は $CaCl_2$ を納れ置くときは陰極線を浴びて強き青色の螢光を放ち、陰極線の放射已むも尙ほ長く燐光を發するを見る（第六四九圖）。陰極線は常に下極面に垂直に出射し直線に進行す、管内に十字形のアルミニウム板を建つときは (Crookes 1879) 十字板の影は管壁に映ず（第六五〇圖）、又ガラス壁は陰極線に照されて疲勞す、故に此實驗に於て

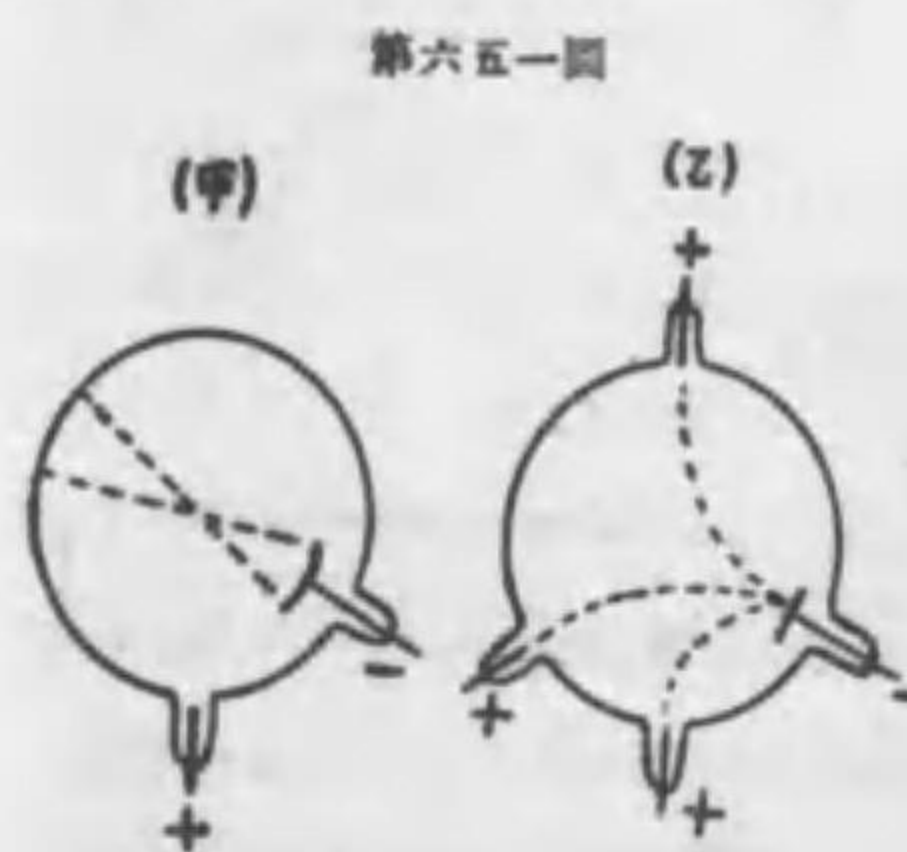


第六四九圖

突然十字板を臥せしめ陰極線を遮断せざるときは元と陰影なりし管壁は疲勞せざるため却て他の部分よりも螢光著るしきを目撃し得べし。陰極線が常に下極面の法線に沿ふて下極面より出射することを實驗するには（第六五一圖甲）四面鏡を



第六五〇圖

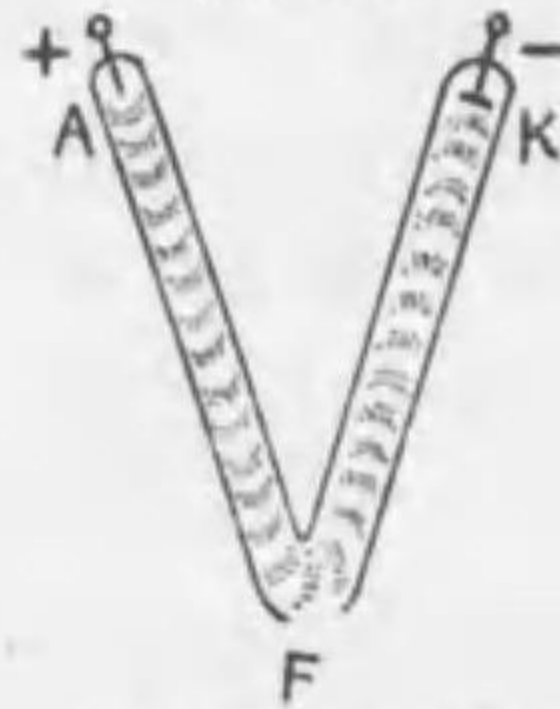


第六五一圖

下極となして陰極線を出射せしむれば陰極線は一旦其曲率中心に集合し（陰極線の相互反撥のために中心よりも少し遠き点に集合す）、然る後再び開きて管壁に衝る、之に反しガイヌラー管程度のもを用ひて同一實驗を行ふときは（乙圖）陰極線は未だ發達せずして單に上極光芒は曲線を書きて下極に向ふを見るべし。

又上極光芒は常に兩極間の最短通路上に並らぶ性を有し、陰極線の如く必ずしも直線進行を爲すことなし、故に管形彎曲すれば(第六五二圖)陰極線は直線進行

第六五二圖



の可能なる部分を進行して管壁に螢光を促し、陽極光芒は管形と共に彎曲して殆ど管の全部を充填せんとす、故に其區域は圖中 AFK に亘れ共陰極線は KF の管壁部を照らして已むなり。陰極線は電子の集合にして各電子の質量は水素原子 1800 分の

一に及ばざる微量なれ共 クルークス 管内に於ける速度は光線速度の $\frac{1}{10}$ に達し且つ電子の數甚だ多きを以て陰極線運動量の和は可測の價を有す、從て之を一点に集中すれば(第六五三圖)白金の薄片を赤熱せしめ(Skinner 1898)、又陰極

第六五四圖



線を風車の隣に衝つれば(第六五四圖)ガラス製の軌道に沿つて風車を回轉移動せしむるを得べし

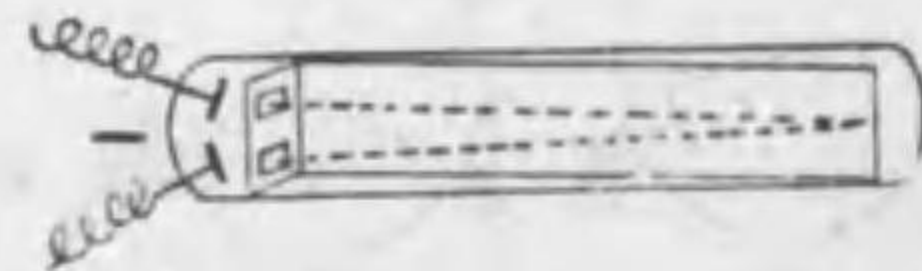
第六五三圖



(Crookes 1879)。下極板は單に電子を射出するのみならず亦自体を粉化して之を拋射す故に極板次第に消耗し之に對する管壁は拋出せられたる粉の爲に黒ズムに到るなり、此現象は白金、金、銀、鉛を以て製したる下極板に於て最も著しく發達す、獨りアルミニウム極板に於て全然此現象を欲ぐ、

360 陰極線の荷電 陰極線(即ち下極線)は電子の行列なるを以て陰電氣の荷電を有するは論無きなり、之を實驗するには(第六五五圖)二個の互に傾きたる下極板より二列の陰極線を發射し之を管内に設けたる遮壁の二個の孔より洩らし、螢光を發する物質を塗りたる板面に突き衝らしむるときは一孔の場合には圖中点線の航路を取るべき陰極線は同時に二孔より洩るゝを

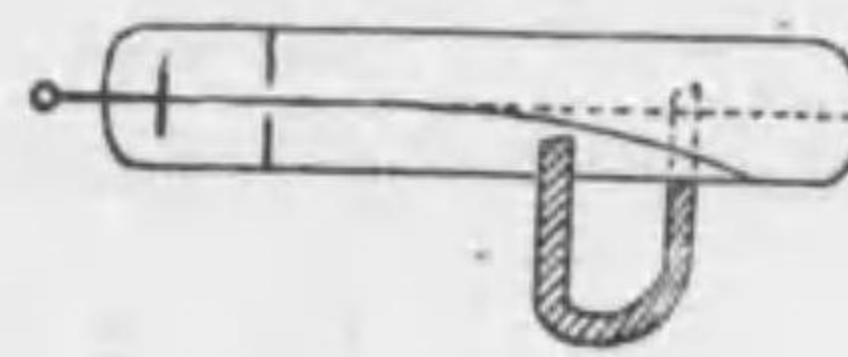
第六五五圖



以て互ひに反撥して平行線となるを認むるなり。

最も明白なる證明は磁鐵を用ひて第六五六圖の如く陰極線を其直線航路より

第六五六圖



曲ぐるに在り(Plücker 1858)、此際 v の速度を以て管内を快走しつゝある電子は一個の電流に比すべきものなるを以て爰に電磁力を生じ電流は磁力線を回轉せんと欲して直線航路より曲がるものなれば、磁鐵の力線の方向を陰極線に垂直ならしめ、磁場の強さを H 、電流を i 、其長さを l とするときにはビロー、サヴール 則に依り電磁力は Hil に等しく、電子が l の長さを畫くに要する時間を t とし電子一個の荷電を e とすれば力は

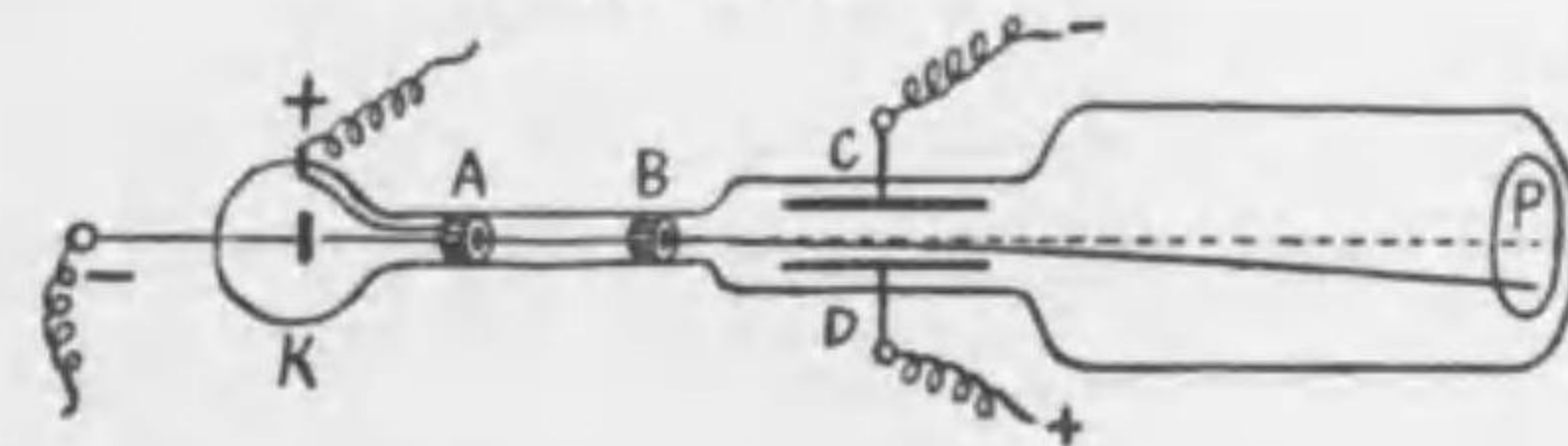
$$F = Hil = Hie, \quad l/t = H e v$$

又曲りたる電子路の曲率半徑を r とし電子一個の質量を m とすれば、圓運動の中心加速度 v^2/r に質量を乗じたるもの mv^2/r は中心力 F に等しからざるべからず、故に

$$\frac{mv^2}{r} = H e v \quad \text{即ち} \quad \frac{e}{m} = \frac{v}{rH} \dots\dots\dots (1)$$

此方程式は三個の未知量 e, m, v を有す、此等を測定するには尙他に二個の方程式、即ち二種の實驗を要す。第二の實驗は第六五七圖の下極 K より出づる陰極線は A, B なる穿孔を通じて線束を整頓し、續ひて C, D なる二枚のアルミニウムの平行板

第六五七圖



の間を通過するに當り D の陽荷電に引かれて其航路を曲げ螢光板面 P の中点を距ること y の處に衝突するなり、 C, D なる平行板は豫め蓄電池の兩極に繋ぎ夫々陰陽の荷電を持たしむるなり。今 C, D 間の距離を d とし、 C, D 間

の電位差を V とすれば電位勾配は V/d なるを以て電気力は eV/d となり、
 加速度は $\frac{eV}{d} + m$ なり、C, D 間を通過するに要する時間を t とし板の長さを
 l とすれば $l=vt$ なるを以て電子が陽板 D に引かれて下降する距離 y は

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{eV}{md} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{eV}{md} \left(\frac{l}{v}\right)^2$$

なり、然るに蛍光板の中心 P と陰極線の到着点との距離 y は実験によりて測
 定するを得べし、従て y は既知数なるを以て上式より

$$\frac{e}{m} = 2y \cdot \frac{d}{V} \cdot \left(\frac{v}{l}\right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

を得、依て (1) (2) 兩式より e/m を消去すれば電子の進行速度を算出するこ
 と容易なり (J.J. Thomson 1897)、此に因り V が 2000 乃至 500000 ヲルト
 の場合には v は 26000 乃至 125000 軒/秒、即ち光の傳播速度に比較して其
 0.09 乃至 0.4 の中間に横はるものなるを知り得たり。

真空管内に於ける電子進行速度の測定は既に其自身に於て重要なものなるに
 は相違無けれ共、此よりも一層吾人の興味を惹起するは e/m の値なり。(1)
 又は (2) に v の値を代入して生ずる e/m の値を吟味するに e/m は総べての
 場合に於て畧々一定の値を有する如くなれ共、 v の値が光の速度の 0.4 倍を越
 るが如き場合には e/m は著るしく減少するものなることを発見せり。 e/m
 の値を定むるには尙他に方法ありて (第十章) 其方法に依りて算出したる結果も
 前記の如く v が餘り大ならざる限りは畧々一定のものなることを確定せり。是
 に於て e/m の意義彌々深重となり其値を定むる爲に惜まざ勞力を注入したる
 結果として クロン 及瓦單位にて

$$\frac{e}{m} = 1.78 \cdot 10^8 \text{ 即ち } \frac{e}{m} = 0.532 \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (3)$$

なる數値に到着したり、試に之を眞に電気分解に於て得たる e/m と比較するこ
 とは興味有らん、抑ミ フェラデー 常數 F なるものは一價元素なる一瓦原子の
 荷電に等しき故、電解の水素 イオンに於ては $e/m = 9374$ クロン を得べし、
 此値を以て今得たる陰極線の e/m を除ずるときは其商は 1850 となる、故に

假に荷電量 e は兩者に於て等量なりと定むるときは水素の質量は電子の質量の
 1850 倍に當ることゝなるなり。然れ共此は單に假定に過ぎずして、荷電は果し
 て兩者に於て相等しきや否やを明にせざる間は粗忽なる結論に達し能はざるを以
 て、物理學者は百方を盡して電子の荷電 e を測定する實驗に従事したるな
 り。從來の化學にては原子を以て最小微粒 corpuscle と見做し、特に水素原子
 を以て最小物質と見做し來りたる事なれば e の測定に對して其大なる興味を有
 せしは想像に餘ありと謂ふべし。

361 電子荷電 (Millikan 1910) 電子荷電の測定に對し初て信用すべき
 結果を齎したる ミリカンは トムソンの實驗法を採用し、第六五八圖に示す如

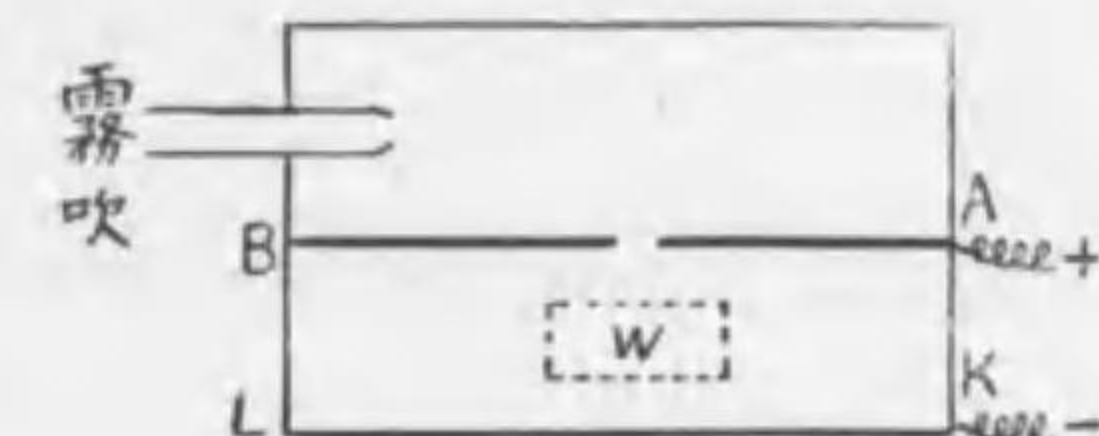
く霧吹を用ひて密閉せる器中に油
 の霧を吹込み ガラス 窓 W を通
 ふして顯微鏡により箱中に於ける
 油霧の運動を観察せり、箱中には
 BA, LK なる平行板を置き各々蓄
 電池の電極に繋ぎて BA には陽
 荷電、LK には陰荷電を持たしめ、AB 板に穿てる細孔を通じて其重さの爲に
 落下する霧粒を見るに其運動頗る遅く空氣抵抗の爲に加速運動を爲す能はず、今
 其速度を v とすれば v は單に重さ mg に正比例するのみにして時間的に常
 定なるを以て

$$v = Cmg \dots\dots\dots (4)$$

と置くも可なり。平行せる金屬板には最初より荷電あるも霧粒には電荷無きを以
 て毫も電場の影響を受くること無きも、霧粒に負性の荷電を附與すると得ば霧粒
 の落下運動を上向運動に變じ、若くは永く一所に定滞せしむることを得べきな
 り。落下速度 v を測るには顯微鏡の接眼子に二條の平行綫を水平に張り、
 ストップ 時計を使用して其二綫間を霧粒が通過するに要する時間を計るを以て
 足れりとす。今電場の強さを F とし油の霧粒の荷電を q とすれば電気力は
 qF に等しく、重力との合力は $mg + qF$ なるを以て落下速度は

$$v' = C(mg + qF)$$

第六五八圖



なり。霧粒を荷電せしむるには陰極線、β線、X線を霧粒に觸れしむるに在り、然して荷電量は豫め制定する能はざるを以て、第二回の荷電 q' による落下速度 v'' は

$$v'' = C(mg + q'F)$$

となる、斯の如く新荷電を與ふる毎に落下速度の新しき値を得るなり、今上兩式を差引くときは

$$v' - v'' = CF(q' - q) \text{ 或は一般に } v' - v = CFq \dots\dots\dots (5)$$

而て q 又は q' は任意なるを以て、從て $v' - v''$ 又は $v' - v$ は自在に小さく撰ぶことを得べき理なり。然るに事實は此と反對なり、其理由は霧粒の負性荷電は電子の附着を意味し而て電子荷電は一定の最小限度を有するを以て霧粒の荷電は常に或最小限度量の整数倍の値を有せざるべからざるを以てなり、從て(5)式に依り霧粒速度の差も速度差の最小限度量の整数倍ならざるべからざる結論に到若すべし、依て n を整数とし e を電子一個の荷電とすれば

$$ne = q$$

となり、(5)により

$$\frac{v' - v}{n} = CF e \dots\dots\dots (6)$$

を得。ミリカン は其實験を次の如き表によりて示せり

v	v'	n	$(v' - v)/n$
-42.7	+ 2.6	4	11.3
-43.1	+ 25.5	6	11.4
-43.1	+ 48.3	8	11.4
-44.9	+ 70.4	10	11.5
-43.9	+ 90.9	12	11.2
-43.2	+ 115.6	14	11.3
-43.8	+ 137.9	16	11.4

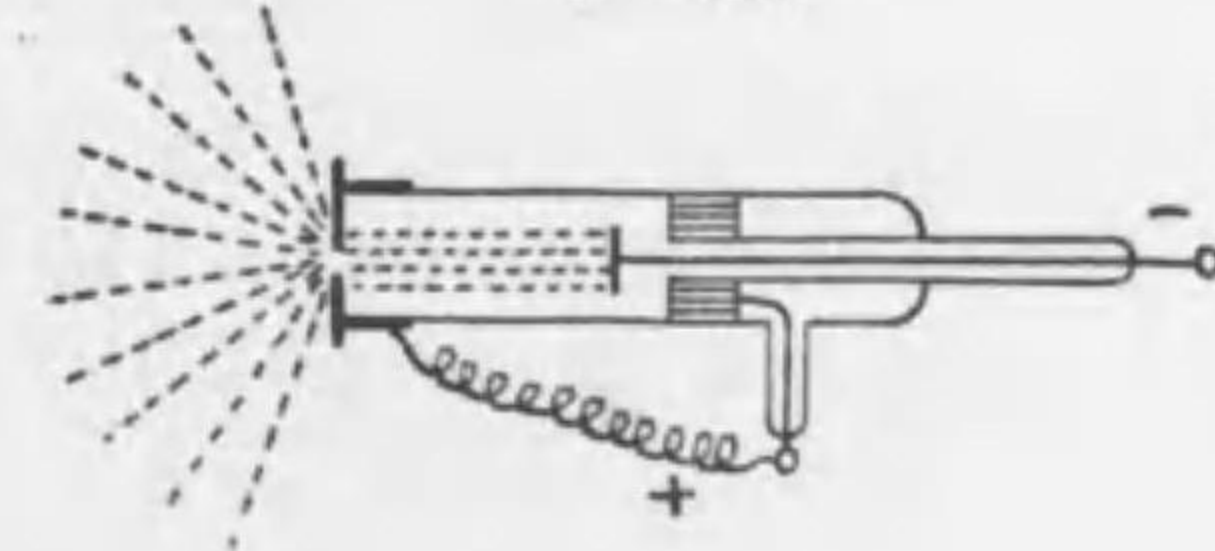
第一行の v は重力に由る速度にして第二行の v' は電力を加へたる時の上向速度なり、第三行 n は霧粒に附着せる電子の数を示すなり、ミリカン は尙 C の値を定めて之を(6)に代入し

$$e = 4.78 \cdot 10^{-10} \text{ 静電 C-G-S 単位} = 1.59 \cdot 10^{-19} \text{ クーロン} \dots\dots\dots (7)$$

を得たり、此即ち電解 (§ 331) によりて得たる電気原子 e と同一の値にして、電子一個の荷電は全く水素一原子の荷電と同一なるを以て曇きに述べし如く電子の質量は水素原子質量の 1860 分の一即ち $m = 0.882 \cdot 10^{-27}$ 瓦の物質として存在し得る最小限量に相當す(因に言ふ、電子 エレクトロン の名稱は Stoney 1881 に創る)。静電單位の電気量は § 291 により 一クーロンの $3 \cdot 10^9$ 分の一なり故に $e = 4.78 \cdot 10^{-10} / (3 \cdot 10^9) = 1.59 \cdot 10^{-19}$ クーロン、而て § 360 に因り $e/m = 1.78 \cdot 10^8$ クーロン/瓦 なるを以て $m = 0.882 \cdot 10^{-27}$ 瓦を得。水素粒子の質量を m_H とすれば § 331 により $e/m_H = F. 96540$ クーロン/瓦 なるを以て $m_H/m = 1.78 \cdot 10^8 / 96540 = 1845$ 。即ち水素原子の質量は電子の 1845 倍なり、從て水素原子の質量は $m_H = 1845 \cdot 0.882 \cdot 10^{-27} = 1.627 \cdot 10^{-24}$ 瓦となる。

362 レーナード線 (Lenard 1894) 元來 ガラス は陰極線に對し不透明にして之を遮斷するを以て クルクス 管より空氣中に誘出する能はざれ共、レーナード は陰極線の衝突たる處に窓を設け、之を厚さ $\frac{1}{400}$ 耗のアルミニウム板を以て塞ぎしに此は氣體分子の通過を拒み又光線を遮斷する力あるも陰極線は此窓を貫きて空氣中に散逸し、約數粒を進行して消失するを認めたり、之をレーナード線と稱す (第六五九圖)。

第六五九圖



空氣分子に觸るゝところに於ては青色の螢光を發し、硫化磷に衝突すれば光明を發せしむ、磁鐵を其附近に持來るときは之に感じて動き、氣體分子を電離して電導的ならし

め、寫真乾板に感動を與へ又アルカリのハロゼン化合物を染色する力を有す、一般に氣體又は固体に吸收せらるゝ量は其物体の密度に正比例す。 e/m の測定をなせしにレーナード線は陰極線と同一物なることを確定せり。

アルミニウム窓板の厚さを $\frac{1}{3}$ 耗に増すときはレーナード線は全く消失す、又管内の壓力を次第に減じて殆ど絶對真空に近からしむるときは陰極線も消失し

管内皆無の状況となる。之に反し普通のクルークス管にて製出したる陰極線をレーナード式の窓によりて前記の絶対真空管内に導くときは陰極線は其儘管内を直線に進行し 130 輦の距離に到着せしむるを得べし。

レーナード管の窓前に驗電器と連絡せる荷電体を持來るときは忽ち其荷電を失ふを見る、此現象はレーナード線が螢光を生じ能はざる程の遠距離に於ても屢々目撃することを得べし、然るに其附近の空氣を扇ぎて荷電体より隔てしむるときは放電の力を失ふを見る、是れレーナード線は先づ空氣を電離し、次いで電離したる空氣は荷電体に來りて之を放電せしむるに由るものなり。陰極線の性質と氣象學的現象との間に存する重要な關係は電子が核となりて水蒸氣を其周邊に凝結せしむる一事なり、之を實驗するにはレーナード管の窓前 1乃至 3 輦に於て水蒸氣を含める氣流を通過せしむるときは蒸氣は突然凝結して雲霧の發生するを見るなり。

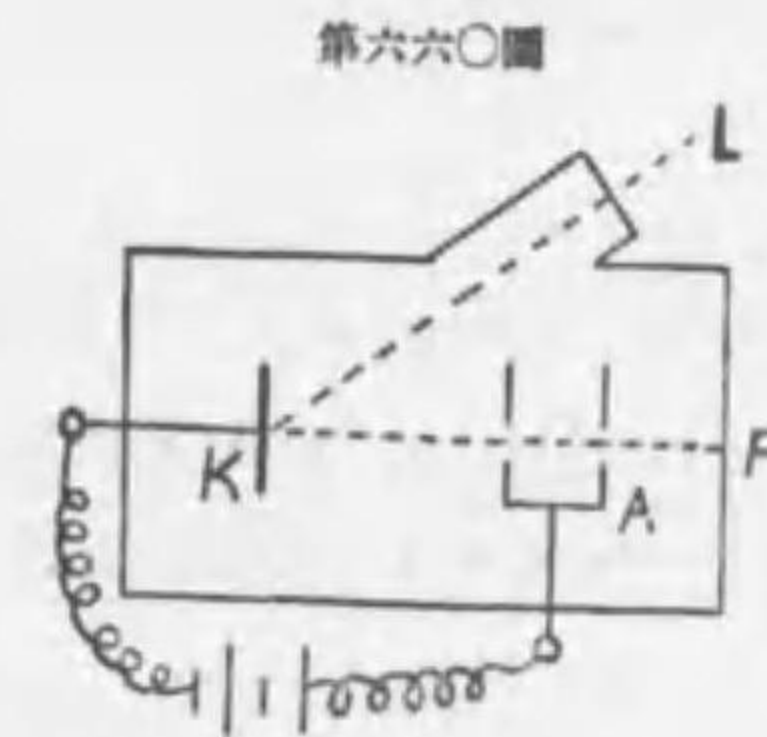
363 光電子 photo-electron 發電機の放電球又はヘルツ振動に用ふる放電球を紫外線にて照すときは放電作用の著るしく敏捷となるを認むべし (Hertz 1887)、又負性荷電を有する物体は紫外線を棄けて直に放電す (Hallwachs 1888)、此に依て考ふれば發電機の放電を速かならしむるは紫外線が其負極に作用するに因るものなるべし。二枚の金屬板を對立せしめ各自驗電器の兩極と結び、平行板の一に陽荷電を與ふると同時に他の板を光源にて照すときは電流の連續的に流るゝを認む。陽電性なる Na, Ru, Cs の如き物質を日光に晒すときは陰電氣を失ふが爲陽性となる、此等の物質が新しく磨かれたるときに於て一層克く此性質を發揮す、然れ共餘り長く日光に照らさるゝときは次第に疲勞して遂に此性質を失ふに到る (Elster & Geiter 1889)、更に精細なる検査を遂げたるに此等の物質は光線に照らさるゝことに依て電子を其表面より射出し、自体は此が爲に陽性に荷電せらるゝものなることを明にせり、此現象を光電氣 photoelectricity と稱し、發射する電子を光電子と名づく。光電子は磁鐵に感じて其方向を曲げ、又其速度及び e/m の値は陰極線の電子の夫等と同一にして、光電作用は其物体の溫度に無關係なるを確めたり。

最初より電荷なき、又克く磨き上げたる亞鉛の表面を光線に晒すときは直に電

子を放出し始め、亞鉛は電子を失ふて益々陽荷電を得、遂に引力の爲に電子を放出し能はざるに到りて己ひべし、此時の電位を V とすれば最初荷電無き時に放出したる電子の速度 v を算出するには、電子の運動のエネルギー $\frac{1}{2}mv^2$ は eV の仕事に等しきを以て $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ より

$$v = \sqrt{2Ve/m} \dots\dots\dots (8)$$

を得るなり。此研究を爲すためにレーナードが使用したる装置(第六六〇圖)は陰極面 K を水銀弧燈(水晶管)の L によりて照らすときは K より發射する電子は陽極 A に設けたる孔を通して螢光板 F (硫酸亞鉛 Zn_2SiO_4 を塗りたる)に綠色の螢光を起すなり、電池を用ひたる目的は疲勞によりて光電子の發射を中止すること無からしむる爲なり。



光電作用は光源の波長が短き程、即ち振動數大なる程其效果著るし、從て紫外線は最も有效なる光源なり、故に此現象を亦た actinoelectric effect と稱することあり。放射の方向は照らされたる物体の表面に垂直なるのみならず其他の方向にも射出せらるゝ、又光源の振動數一定なるときは射出する電子の數は光源の強さに正比例するも、電子の射出速度は光源の強さに關係せずして同一なり、例へば光源を物体面の百倍の距離に移すときは光のエネルギーは曩きの 10000 分の一に減じ從て物体面より射出する電子の數も 10000 分の一となるべき理なれ共、電子の射出速度は何等の増減を齎ること無く、從て各一個電子の運動のエネルギーは同一なり、故に光源の距離の大小に拘らず各一個の電子を射出せしむる仕事は變化無きことゝなるなり。而て此光エネルギーは各電子に向て集中的に作用すべき管のものなるを以て、光源より出で、長距離に到着するエネルギーは決して其廣大なる球面上に平等に擴げられ且つ淡すめらるゝものには非ずして寧ろ不連續的に球面の諸點に粒狀を爲しつゝ散在するものと考へざるべからず、換言すれば光のエネルギーは銃口より射出せられて四方に擴がる散彈の如きものにして、光の波動説よりも寧ろ粒子説 corpuscular theory に親ましむる結論

に到着せしむるものと評すべし。

光電作用、即ち光が物体面より光電子を射出せしむる力は光の振動数に正比例することは諸種の實驗に依り證明せられたり。光線が物体面に到着すれば先づ光電子を其表面より分離するに P の仕事を奏し、次に光電子に $\frac{1}{2}mv^2$ なる運動エネルギーを與へざるべからず、故に光電作用は其和 $P + \frac{1}{2}mv^2$ によりて表はすを得 (Einstein 1905)。今振動数を N とするとき光電作用は振動数に正比例するを以て (§250 を參照すべし)

$$Nh = P + \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (9)$$

なり、h は比例常數にして其 デメンション は運動量の能率に等しく之をプランクの普遍數 universal constant 或は作業量子 action quantum と稱す (Planck 1901)、ミリカン (Millikan 1916) は其實驗によりて (9) 式の正鵠なるを確め同時に h の數値として

$$h = 6.57 \cdot 10^{-27} \text{ エルグ、秒} \dots\dots\dots (10)$$

を得たり、ミリカン 實驗法は先づ (8) (9) 兩式より

$$hN = V\varepsilon + P \dots\dots\dots (11)$$

を得て之を實驗に徴し、次に第二回の實驗に於て他の光源を用て

$$hN' = V'\varepsilon + P$$

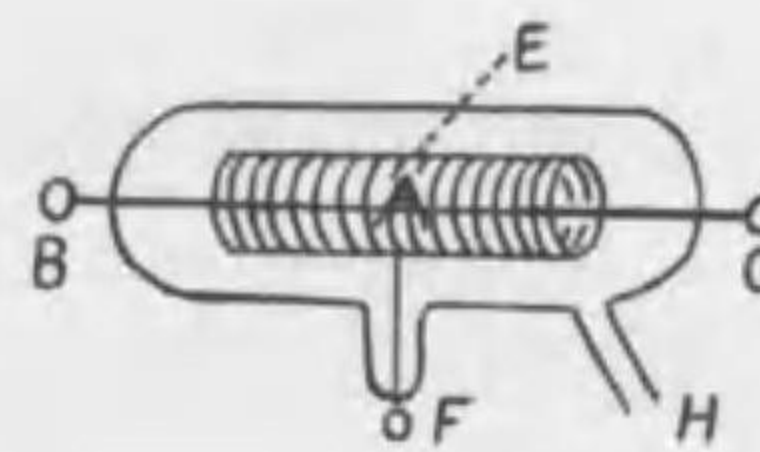
を得、二回の結果を綜合して

$$h = \varepsilon \frac{V - V'}{N - N'} \dots\dots\dots (12)$$

を算出するを以て P を知ることを要せざるなり。此結果はプランクの量子説に有力なる貢獻をなすものにして、此に依り物質の最小限度は原子なるが如く又電氣の最小限度は電子なるが如く、各種のエネルギーにも最小限度ありて之を量子と名づけ、其エネルギーは常に量子の整數倍にて顯はるゝものとなすなり、換言すればエネルギーも物質の如く原子的構造を有し常に量子の整數倍を爲して出現し決して連續的ならざる点に於て舊來の物理學に矛盾するの憾無きに非ず。

364 熱電子 thermion 高温に熱せられたる物体附近の空氣が電導的なるは既に二百年前より知られたる事實なり (Du Fay 1733)、又紅熱の鐵球は負荷電を持ち得るも陽荷電を持つ能はず、一層高温となれば陽陰共に球面上に留まる能はざるに到る (Guthrie 1873)、一般に物体殊に金屬は熱すれば電氣を放射し其附近の空氣をして傳導的ならしむ、例へば白金線を淡紅に熱すれば其近處に置かれたる物体に陽電氣を附與する力を生ず、白熾に熱するときは其物体は全く荷電を失ふ。若し此實驗を氣壓少き處に於て行ふときは白金線紅熱の時は物体は陽電氣を附與せられ、更に高温に熱すれば物体は負電氣を帶ぶるに到る、是れ白金線は始は陽粒子を放出せしが後ち陰粒子即ち電子放出に變じたるに因るものなり、此放出物を一般に熱電子と稱すれ其實はクルークス管内の陰極線と同一物なり。此等の放射線に就き e/m の値を測定せしに陽粒子は白金線上に不純物として附若せる Na, K の如き金屬性粒子にして、放射作用久く繼續すれば皆無となるに反し電子放射は次第に旺盛となるものなり、此を實驗するには (第六六一圖) 白金極 B, C を細線にて結び之を金屬の圓筒 E にて圍み F によりて外界に導くべし、H は内部の壓力を種々に變化し又異なる氣體を以て管内を充たすに用ふ。熱電子現象は管内が極めて清淨なるに非れば生じ難し又内部全く真空なる時に於

第六六一圖



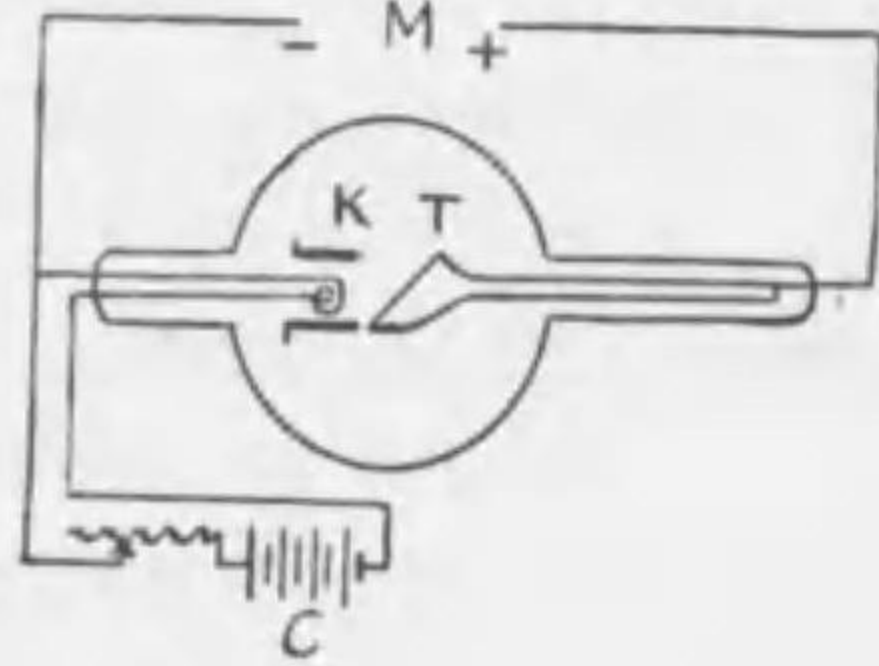
て最も完全に目撃するを得るなり。B, C を電池に繋ぎ細線 A を電流抵抗熱によりて熱するときは前記の如く最初は陽粒子を放射し後ち温度上るに従ひ電子のみを放射するに到る、故に圓筒 E に陽荷電を附與する時は電流は不斷 E より A に流るゝも、E に負荷電を與ふるときは A より放射せらるゝ電子を反撥し電流の運動を妨ぐべし、換言すれば C を他の電池の陽極に、F を其陰極に結ぶときは電流の通過盛んなるも、之に反するときは電流に抵抗を與ふるなり、故に C, F 間に交流を通ずるときは CAF の方向にのみ通過を許し FAC の方向には通過を拒むを以て交流整流器として使用するを得るなり、近來専ら無線電信又は電話に應用せられ熱電子管 thermionic valve (§355 三極管) の名を得たり。又細線 A より拋出せらるゝ電子の數は BC を流るゝ電流の調節、即ち A の温度

を最も完全に目撃するを得るなり。B, C を電池に繋ぎ細線 A を電流抵抗熱によりて熱するときは前記の如く最初は陽粒子を放射し後ち温度上るに従ひ電子のみを放射するに到る、故に圓筒 E に陽荷電を附與する時は電流は不斷 E より A に流るゝも、E に負荷電を與ふるときは A より放射せらるゝ電子を反撥し電流の運動を妨ぐべし、換言すれば C を他の電池の陽極に、F を其陰極に結ぶときは電流の通過盛んなるも、之に反するときは電流に抵抗を與ふるなり、故に C, F 間に交流を通ずるときは CAF の方向にのみ通過を許し FAC の方向には通過を拒むを以て交流整流器として使用するを得るなり、近來専ら無線電信又は電話に應用せられ熱電子管 thermionic valve (§355 三極管) の名を得たり。又細線 A より拋出せらるゝ電子の數は BC を流るゝ電流の調節、即ち A の温度

の高低に従て變化すれ共、電子の速度は全く電位に支配さるゝを以て此性質をX線使用に應用してクーリッジ管 (Lilienfeld 1912, Coolidge 1913) なるものを製し陰極線の速度を調節することに依て X 線の種類を任意に變更するを得せしむ。

従来 X 線發生に使用する真空管は使用久きに亘れば内部は真空の度を増して X 線次第に硬性に變ず、之を治するには管内に挿入し管外に一端を露出せる金屬線を紅熱することに由りて管内に水素粒子を送り以て X 線が極度の硬性に變ずるを避けしが、此方法にては硬度の調節意の如くならずして不便尠からざりしを以て遂にクーリッジ管を製するに到りしものなり (第六六二圖)。下極 K は

第六六二圖



タングステンの細條螺線を用ふ、電池 C より來る電流によりて之を熱するときは螺線が發射する陰極線は之を包圍するモリブデナム製の圓筒 K に指導せられつつ對極板 T に衝突して X 線を發射せしむ、陰極線の量は K 極の白熱の度に從ふも X 線の硬度は感應 コイル M の電位を變ずること

によりて自在に變化するを得べし、斯く X 線の量と硬度とを別々に鹽梅し得るを以て使用上便利大なり。

365 電子の質量

§ 360 に於て學びし如くクルークス管内に於ける陰極線速度 v は平均光の速度の $\frac{1}{10}$ 位のものなり、而て e/m は其假定の下に誘導したるものなれ共 v の値が其以上に増すときは e/m の値は減少する傾向あり、ミリカンの實驗に依れば電子の荷電 e は不變の値を有す、從て v の増加に伴ふ e/m の減少は m 即ち電子質量の増加を暗示するに外ならず。抑々 v の値に變化あることを確定せしはカオフマン (Kaufmann 1901) がラヂウム放射の β 線に就きて行ひたる測定に創るなり、即ち m は v の増加に従て増大なる事實精確となり、靜止せる電子の質量 m_0 と運動せる電子の質量 m_v との間に區別を設くるの必要を生ぜり。ローレンツ及びアインス

タインの研究によれば兩者の關係は

$$m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots\dots\dots (13)$$

によりて表はさる但し c は光の傳播速度なり、故に v の値 c に接近すれば m_v は極りなく増加すべし、然るに

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

なるを以て上式は

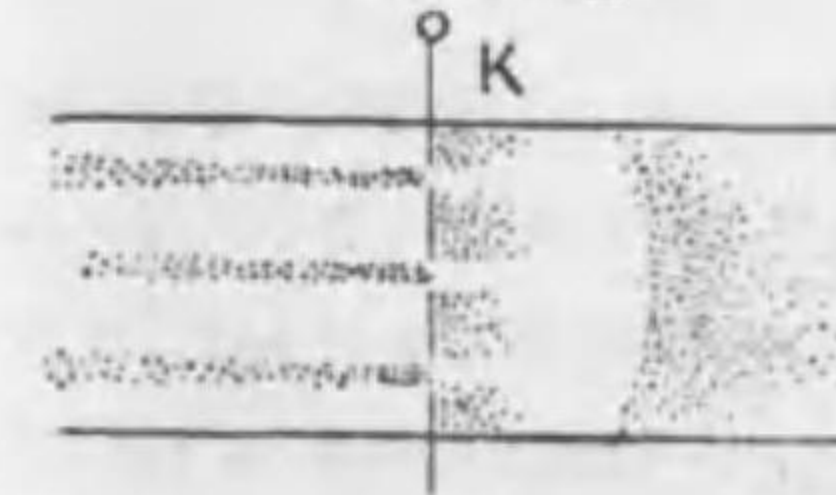
$$m_v = m_0 + \frac{1}{2} m_0 v^2 / c^2$$

となる、即ち運動電子の質量は靜止電子の質量にエネルギーと c^2 との商を加へたるものなり。

366 陽極線 (Goldstein 1886)

陽極線はクルークス管内の上極より發し管の全長を貫きて下極に到着するものなれ共通常之を認むるは難し、之を視るには下極板に三四の孔を穿ちて筒状となし下向する陽極線の一部を筒孔より漏らしむるときは下極の背後は比較的暗きを以て爰に漸く其真相に接するを得べし (第六六三圖) 筒線 canal rays の名稱は筒状の穿孔板より起れり。圖中 KK

第六六三圖



は下極板にして三個の穿孔を有す、陽極線は右方より來り筒板の左方に於て漸く可視的となる。色は管内に残留せる氣體の性質に従て異なり、空氣又は窒素の場合には黃金色を呈し、水素は紅色、酸素は橙色、炭酸瓦斯は灰綠色を呈す。磁鐵を近づくときは筒線は其行路を曲げ其方向は陰極線が曲げらるゝ方向に反す、是により筒線の陽荷電を有するを知るなり、又電場を設けて筒線を極板の方に吸引することを實驗し得べし。然れ共屢々筒線は完全に陽性にあらざるを示す事あり、即ち陽極線は逆行中突然負電氣を帶び、次で放電し、最後

磁鐵を近づくときは筒線は其行路を曲げ其方向は陰極線が曲げらるゝ方向に反す、是により筒線の陽荷電を有するを知るなり、又電場を設けて筒線を極板の方に吸引することを實驗し得べし。然れ共屢々筒線は完全に陽性にあらざるを示す事あり、即ち陽極線は逆行中突然負電氣を帶び、次で放電し、最後

に元の陽荷電に歸ることあり、一般に陽線は陽荷電を有するものと見るも不可無し。

第六六四圖の如き管を用て次の如き観察を行ふことを得べし。

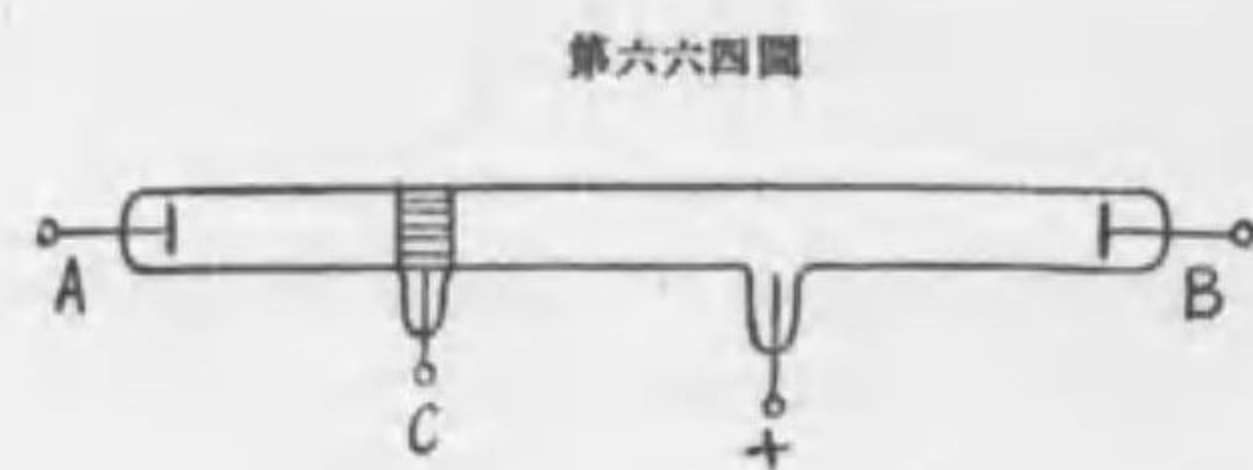
實驗第一、A を下極とし C を地下に導き B を

驗電器に繋ぐときは陰極線は A より射出せられ B に衝突たるが故驗電器は直ちに其荷電あるを示す。

實驗第二、C を下極とし同時に C を地下に導くときは上極 + より出でたる陽極線は曲りて C の筒に來り其孔を通過して筒の背後に所謂陽線を現出す(第六六三圖)。

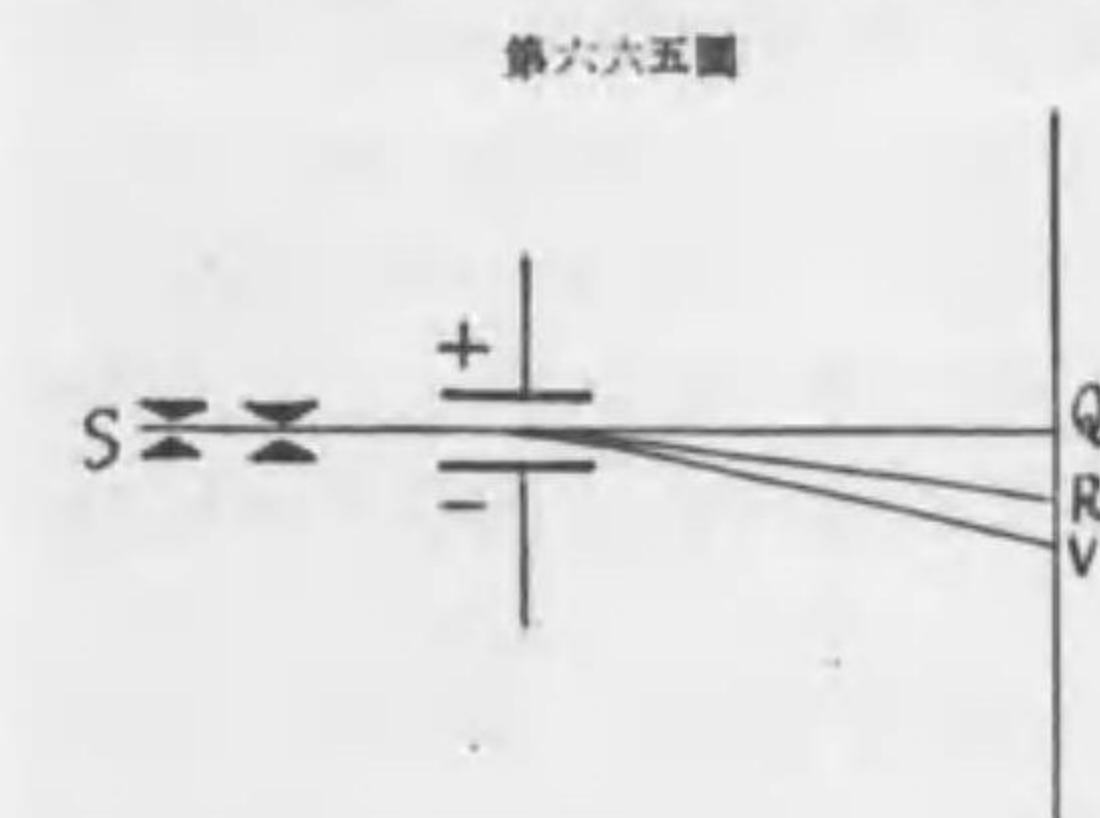
陽線の長さは管内の壓力に反比例す、陽線は未だ筒孔を漏れざる以前に既に陽極線として存在するものなれ共筒板の一方は光量多くして視分け難きなり。今上陳の實驗に於て鐵棒を持來り筒の近傍に於て動かすときは陽線も亦動揺するを見る。分光器を使用して陽線を驗すれば ドップラー 効果により陽線は變位す、之を第六六四圖の A の側より視れば陽線は紫の方に偏すべき理なり (§ 254)、然して横方より見れば粒子は視線に垂直に運動せるを以て ドップラー 効果を呈すること無し、此に依て考ふれば吾人は運動せる陽粒子其物を視つゝあること明かなり、換言すれば電子は不可視なれ共陽粒子は各自光輝を發して可視的なるものと知るべし。

ギーン (Wien 1898) 測定の結果に依り陽極線の e/m は陰極線の場合に較べて極て小なり、而して種々異なる氣體に就て驗するに e/m は殆ど共通の値を有す。ギーンの後 トムソン (Thomson 1907) の研究により陽線には三種ありて從て e/m の値 $1: \frac{1}{2}: \frac{1}{4}$ なることを確定し、陽線は水素とヘリウム原子とより成立するものならんとの説を立てたり。又 ミリカンの實驗により陽線が屢々其速度を變更することあるは進行中新しく陽荷電を増すに因るものなるを知りたるのみならず、陽荷電の最小限度を測定せしに全く一個電子の荷電と同一なるを確め得たり。然るに其後 アストン (Aston 1919) は電氣力及び磁氣力



第六六四圖

を使用して陽線を其直線行路より曲げたるに陽線を構成せる各粒子に作用する力は同一なれ共粒子は種々ありて各其質量を異にするを以て質量大なるものは變位最も少く質量小なるものは變位最も大となり。其結果として恰も光線がプリズムによりて分色さるゝが如く、陽線は其に働く外力の爲に所謂質量スペクトラ mass-spectrum となりて分色せり。今第六六五圖の S なる細隙を漏るゝ陽線をして電場を通過せしむるときは、



第六六五圖

電場の力零なる時は陽極線は寫眞乾板上の一点 Q に映すべき筈なるも電場の作用を受けて各粒子は拋物線を書きて下方に曲げられ質量スペクトラ RV はとなりて分色す。此時に當り陽線を構成する粒子が悉く同質量のものならんには

曲げられたる線は乾板上の同一点に映すべき筈なれ共、種々の粒子は種々の質量を有するに依り RV 間の各所に散開して映することとなるなり。全然吾人が豫期せざりし此現象は各元素は決して一種に非ずして、例へば同じ鹽素にも數種の別ありて、從て種々の鹽素化合物内の鹽素は必しも同一種の鹽素にあらざるを證明し、從來定め來りし原子量なるものは同一元素の數種原子の平均値を示すものに外ならざることを教示するなり。同一元素の原子に二個又は二個以上の種類あるに拘らず、化學的反應に於ては何等の差違を呈せざるのみならず、分光器によりて其スペクトラを吟味するも全く同一の輝線を同一の位置に示して、化學的物理學的性質に於て全然無差別に視ゆるも、上記アストンの質量スペクトラ實驗に於て始て各元素に種別の存在するを明白にし得たるなり。而て爰に奇とすべきは C=12, O=16, He=4 の如く原子量の整数なるものに於ては原子も各皆一種存在するのみなれ共、他の原子量の整数にあらざりて混分數なるものに限りて必ず數種原子の原子量の平均値なるを確定し得たる事實あり。尙一層興味あるは從來最も輕き水素より最も重き Ur に到るまで九十餘個の元素を其重量に從て週期律的に陳列し置きたるに幾度も新元素(放射的元素)發見せられたる時化學者は其新元素を入るべき適當なる位置を見出す能はざるが爲に當

惑したること屢なり、何となれば新元素の當然占有すべき位置は既に舊元素の占有地となれるを以てなり。然れ共此事たるや今日となりて見れば新元素は即ち舊元素の變種なるを證するものにして新舊兩元素は共に同一地位を領すべき筈のものなり、斯の如き元素を等位元素 *isotopes* と名づけ、等位元素群を共棲元素 *pleiades* と稱す。又同一元素に數個の變種ありて原子量に差違ある故へ、最も輕き水素を一番とし最も重き Ur を 92 番とし其中間に位ひするものに悉く原子量の順序に従て番號を附し、變種は同一番號に一體となす習慣を生ずるに到れり、所謂原子番號是れなり。

等位元素の例を舉れば ネオン Ne の原子量は 20.2 と稱し來りしが、其實 Ne に二種ありて $Ne_1 = 20$, $Ne_2 = 22$ なる故、化學者は其平均を測定せしなり、鹽素 Cl も $Cl_1 = 35$, $Cl_2 = 37$ にして平均 $Cl = 35.46$ なり、亜鉛は $Zn_1 = 64$, $Zn_2 = 66$, $Zn_3 = 68$, $Zn_4 = 70$ にして平均 $Zn = 65.37$ なり、錫 Sn の如きは約八個の變種より成立せるものならんと云ふ、(平均とは爰に與へたる數の平均には非ず、例へば鹽素瓦斯測定に於て各變種の鹽素が等量に含有せらるゝ理由無し) 此に附記すべきは此等の原子量は總べて酸素 O を 16 と定めて起算したるものにして、此場合には水素 H は 1.008 となる、故に $H = 1$ と定めて起算せば上陳の結論は無効となり又質量 スペクトラ の意義を空くすべし。

上記の理により元素の原子量は悉く整数にて表はすことを得るものならざるべからず、此興味ある結論は諸元素は水素の聚合に依て生ずと論ぜし プラウト (Prout 1815. 英國の病理化學者なり) の水素基本説に復歸するものにして簡線の研究は實に此舊來の臆説に大援助を與ふるものと謂ふべし。

367 導體内の電子運動 爰に導體と云ふは酸類、鹽類又は鹽基類の稀薄溶液或は稀薄氣體等の如く電離作用によりて電導的となる物質に非ずして、金屬の如く元來電流を傳ふる能力ある物に就て云ふなり。金屬が電流を傳ふるは陽性の粒子が金屬分子の間隙を潜りつゝ疾走するに因るならんとの思想は既に舊く (Weber 1862) 唱へられしところなり、然るに其後電子の存在すること並に其荷電量の既知となれること、同時に ラヂウム の如く陰極線陽極線 X 線と同一のものを放射する物質の存在することの發見あり、又他方に於ては最初 Krönig

及び Clausius によりて唱へられ Maxwell 及び Boltzmann によりて數學的に敷衍せられたる氣體力學説 (§110) は 1895 年より 1905 年頃までは陳腐説なりとして不問に附せられしも (何となれば熱力學説により却て輕便なる説明を得し故) 徐々ニ舊日の面目を回復して今や電流傳導説によりて採用せらるゝに到れり (Riecke 1898)。現代物理學に於ては物質は陰粒子即ち電子と陽粒子即ち水素原子の如きものとより成ると信ぜらるゝが故に物体内部には多量の電子と及び重さに於て少くとも 1800 倍なる陽粒子多量に存在し、陽粒子は移動し難く電子は陽粒子の附近を徘徊するを常とすれ共良導體に在りては電子は電位の勾配を追ふて導體の内部を輕快に移動し得るものと信ぜらる、而て遊離電子の數は物質の性質及び溫度によりて異なるのみならず電子が移動する際物体原子は多少其運動に妨害を與ふるなり、又原子なるものは輕々に移動し難く一處に常住して單に振動を行ふのみなり。陰粒子即ち電子は既に發見せられ其荷電量も精確に測定せられたれ共陽粒子としては原子の外に存在するを認むる能はず、然るに陽電氣の最小限度は既に確定し電子の荷電と等量なること明瞭となれり、是に於て物理學者に昔時 フランクリン が唱へし電氣一液説に傾き單に陰性粒子即ち電子の存在を認むるも陽性粒子の存在を認めず、所謂陽荷電とは電子一個を失ひたる原子の別稱なりと説くに到れり。斯の如くなるを以て遊離電子が導體内に移動する途中に於ては或は陽性の原子に捕へらるゝことあり或は他の固定電子に反撥せらるゝものあり、而て途中何の障害も無くして自由に疾走し得る距離は甚だ尠なるに相違無かるべしと云へ共大体に於ては電導體内の遊離電子の狀況は海綿質物体の内部に含まれたる氣體の有様に髣髴たるものあらん、從て氣體力學説を電子運動に應用するは甚だ適當を得たるものと謂ふべし。今導線と電池と結びて生ずる電位勾配を V 、電子の荷電を e 、電子の質量を m とすれば力は Ve なるを以て電子の加速度は Ve/m なり、故に電子が何の障害も蒙らずして自由に疾走し得る距離を l 、其時間を t とすれば t 秒後の平均速度の増加は

$$\frac{1}{2} \frac{Ve}{m} t \quad \text{即ち} \quad \frac{1}{2} \frac{Ve}{m} \cdot \frac{l}{u}$$

なり但し電子の速度を u とす、上記の速度は電位差の結果として得たるものにして u に比すれば極めて小なり。次に一立方體内の遊離電子の數を n とす

ば其荷電 ne に上記の平均速度増加を乗じたるものは電流の強さに正比例す、依て S を導線の横断面とすれば、電流 i は

$$i = ne \cdot \frac{1}{2} \frac{Ve}{m} \cdot \frac{l}{u} \cdot S \quad \text{即ち} \quad i = \frac{ne^2 l}{m u} VS \dots\dots\dots (14)$$

此式は オーム 則 (§ 321) を表はすものにして、 V は電動力なるを以て電導度 k は

$$k = \frac{1}{2} \cdot \frac{ne^2/S}{m u}$$

然るに熱學の教ゆるところに依れば原子又は分子の運動の エネルギー は其絶對溫度に正比例す、而て此場合に於ては原子も電子も同様に取扱はんとするを以て電子の エネルギー $\frac{1}{2}mu^2$ は絶對溫度 T に正比例し

$$\frac{1}{2}mu^2 = aT$$

と書くを正常とす、爰に a は ホフマン 常數と稱せらるゝものなり、依て前式は

$$k = \frac{ne^2 u/S}{4aT} \dots\dots\dots (15)$$

となる。偕て電子が電位勾配に追はれて疾走する爲に得たる運動の エネルギー は原子と衝突する際熱に變化して金屬を温む、此れ即ち デウル 熱と稱せらるゝものなり (§ 325)。

熱學に於て學びたる熱傳導の現象を再考せんとするに當り金屬線の一端を熱し暫時の後溫度は定滯に入りしものと假定し、起点よりの距離を x とすれば (§ 132) 溫度の勾配 $\partial T/\partial x$ に従ひ一秒毎に断面 S を貫流する熱量 Q は電子が l の自由間隔を疾走して得たる速度の變化即ち $l \cdot \partial u/\partial t$ に電子の壓力 (電子は群をなす故へ氣體と同様に壓力を有する理なり) を乗じたるものに等し、而て電子は氣體同様に取扱ふて可なるを以て § 110 (47) により $p = \frac{1}{3}mnu^2$ に等しく

$$Q = \frac{1}{3} mnu^2 \cdot l \frac{\partial u}{\partial t} S$$

然るに $\partial(\frac{1}{2}mu^2)/\partial t = mu \cdot \partial u/\partial t$ 即ち前式により $a\partial T/\partial l = mu \cdot \partial u/\partial t$ なる故、上式より

$$Q = \frac{1}{3} nul a \frac{\partial T}{\partial l} S$$

を得、此式に於て $\partial T/\partial l$ は曩きの $\partial T/\partial x$ 即ち溫度の勾配と同一なり。§ 131 (2) により單位面積を貫流する熱量は $Q = -k' \cdot \partial \theta/\partial x \cdot S$ によりて與へらるゝを以て前式と比較し熱の傳導率 k' は

$$k' = \frac{1}{3} nul a \dots\dots\dots (16)$$

依て (15) (16) 兩式より

$$\frac{k'}{k} = \frac{4}{3} \left(\frac{a}{e}\right)^2 T \dots\dots\dots (17)$$

即ち熱傳導率と電氣傳導率の比は絶對溫度に正比例す、此は金屬の場合には 18° より 100° 間は實驗結果と符合し ローレンツ 則 (Lorenz 1882) と稱せらるゝものなり (或は キーヂマン 及び フランツ 則 1852 とも稱せらるゝ)、然れ共低溫に於ては此法則全く成立する能はず。

電子説は上記の法則を或程度まで旨く説明し得るも、接觸電氣、ゼーベック効果、ペルチエー効果、トムソン効果、螢光、磷光、電磁氣感應等の諸現象に對しては今日の進歩の程度にては未だ快答を與ふるものとは稱し難し、殊に ホール効果の説明に到りては電子説は無能なりと評するの外なし。

368 X 線 (Röntgen 1895) X線は レンチエン が レーナード 線研究中偶然發見するところなり、クルーネス 真空管に於て陰極より發射する陰極線は管壁に衝突して螢光を發すると同時に振動數甚大なる一種の線を管壁の其部分より四方に輻射し數米を隔てたる螢光板が恰も日光に照されたる時の如く輝くを見て此新線の發見に及びしものなれ共、其後 (Cambell-Swinton 1896) 陰極線を

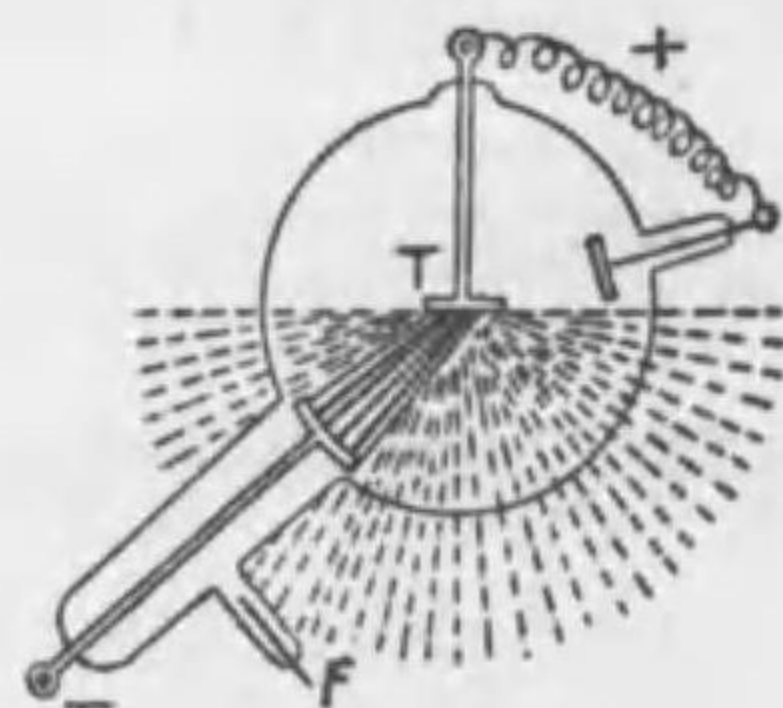
白金又は タングステン 製的に衝突せしめ同時に陰極板を凹形に造り (Jackson 1896) 陰極線をして其凹面板の焦点に設けある、即ち對極板 anticathode に集注 (陰極線は電子の流れなるを以て斥力の爲に焦点を外づれたる處に集合す) せしむるときは對極板 (第六六六圖 T) を中心として X 線は四方に輻射して三種

の作用を呈す、第一螢光性の物体をして發光せしむ、第二寫真乾板に反應を起さしむ、第三空氣を電離せしむ。第一の作用を検するには青化白金 バリウム barium-platinum cyanide を雁皮紙の一面に塗り他の面を黒く塗りたるものを用ふ、其黒き面を X 線に向け同時に其上に透視せんとする物体を置き他の面を眺むるときは X 線は日光

とは違ひ通常不透明と稱せらるゝ物体を透過して板面上に螢光を生ずる故へ物体の内景を瞥見するを得べし。X 線は物体を構成する原子の原子量の平方 (委く云へば $5/2$ 乗) に正比例して吸収せらるゝを以て有機体の大部は透明なるも骨はやゝ不透明なり、金屬板も厚さ 16 耗の アルミニウム は全く X 線を遮断する力無し、之に反し 1.5 耗の鉛板は完全に X 線を遮断する力あり、故にガラスも含有鉛分の寡多により X 線に對し透不透の差を生ず、而て吸収により遮断せられたる X 線の エネルギー は電離作用を惹起するなり。

X 線を發生するに要する電位は直流なれば 20000 ヲルト 以上なり、故に一般に交流を單方向に直したるものか (此は對極板上に多量の熱を生ず) 或は一層簡單なるは感應 コイル の孤搏式電流を使用す。何れの場合に於ても陰極線は對極板に衝突して熱を生ずるを以て、之を避けんが爲に對極板に冷水を流通せしめ或は木き棒にて之を造り熱の傳導を速かならしめる装置あり。又 X 線に用ふる真空管は使用久きに亘れば管内に残留せる氣體益々稀薄となり従て電位を法外に増すに非れば陰極線を發射する能はざるに到るを以て、發生する X 線は硬性となり通過力を増加し使用上の危険を伴ふ、之を治せんが爲に 第六六六圖 F に示す如く管壁に白金又は パラジウム 片を封入し、X 線發生困難と成る時は其露出せる端を紅熱すれば火炎中の水素は白金線の内部を浸透して管内に入り以て X

第六六六圖



線を發生し易すからしむ (即ち X 線を軟化す)。然れ共 グローリッチ 管 (§364) を用ふれば管内の壓力如何に拘らず (即ち氣體分子の電離作用の媒介に由らずして) 單に熱電子の媒介によりて管内を電導的ならしめ、熱電子を發生する多少によりて電流の量 (従て X 線の量) を左右し得べく、又硬軟の程度は感應 コイル の電圧を加減することに依りて任意に変更するを得て兩者の加減を各自獨立ならしむることを得るなり、管 グローリッチ 管の短處と云ふべきは モリブテナム 管によりて方向の制限を受くるに拘らず陰極線を對極板上の一点に集中し難く従て螢光板上の物体の映象聊か鮮明を缺くに在り。

369 X 線の性質 X 線發見後十餘年を経過し醫術上の應用は年々隆盛となりたるも X 線本來の性質に到りては何等の説明を得ず、電氣力又は磁氣力を以て X 線に作用せしむるも陰極線の如く其方向を曲ぐることを無きを以て X 線は電子の放射線に非ずして一種の迅速なる電磁的擾亂ならんとの説 (Stokes) 行はれたるも、光線の如く反射、屈折、偏光の現象を呈せざるを以て、之を一種の光線的振動と見做す能はざるを感ぜり。然るに マルクス (Marx 1910) は實驗によりて X 線の進行速度は光線速度と同一ならんと結論に到着せり。又細長なる V 字形細隙より漏るゝ X 線は光の如く干涉して細隙の幅よりも廣く寫真乾板上に映ずるを發見し其より起算して波長は約 $4 \cdot 10^{-8}$ 厘米 即ち 紫光の波長の 1000 分の一のものならんと考へし人あり (Haga, Wind 1899)、然るに此等の結論は何れも一般人の是認するところと成らずして果はれり。若し果して斯も小さき波長を有するものならんには人工を以て製出したる格子は餘りに粗大にして此に依り X 線の干涉を観測するは全く望むべからざる事項に屬す。

X 線の研究は斯く行詰りの姿となりし時 ラオエ (Laue 1912) は當時の結晶學者が唱道せし如く結晶体に於ける分子配列の狀を利用し、之を一種の空間的格子 space grating と見做し X

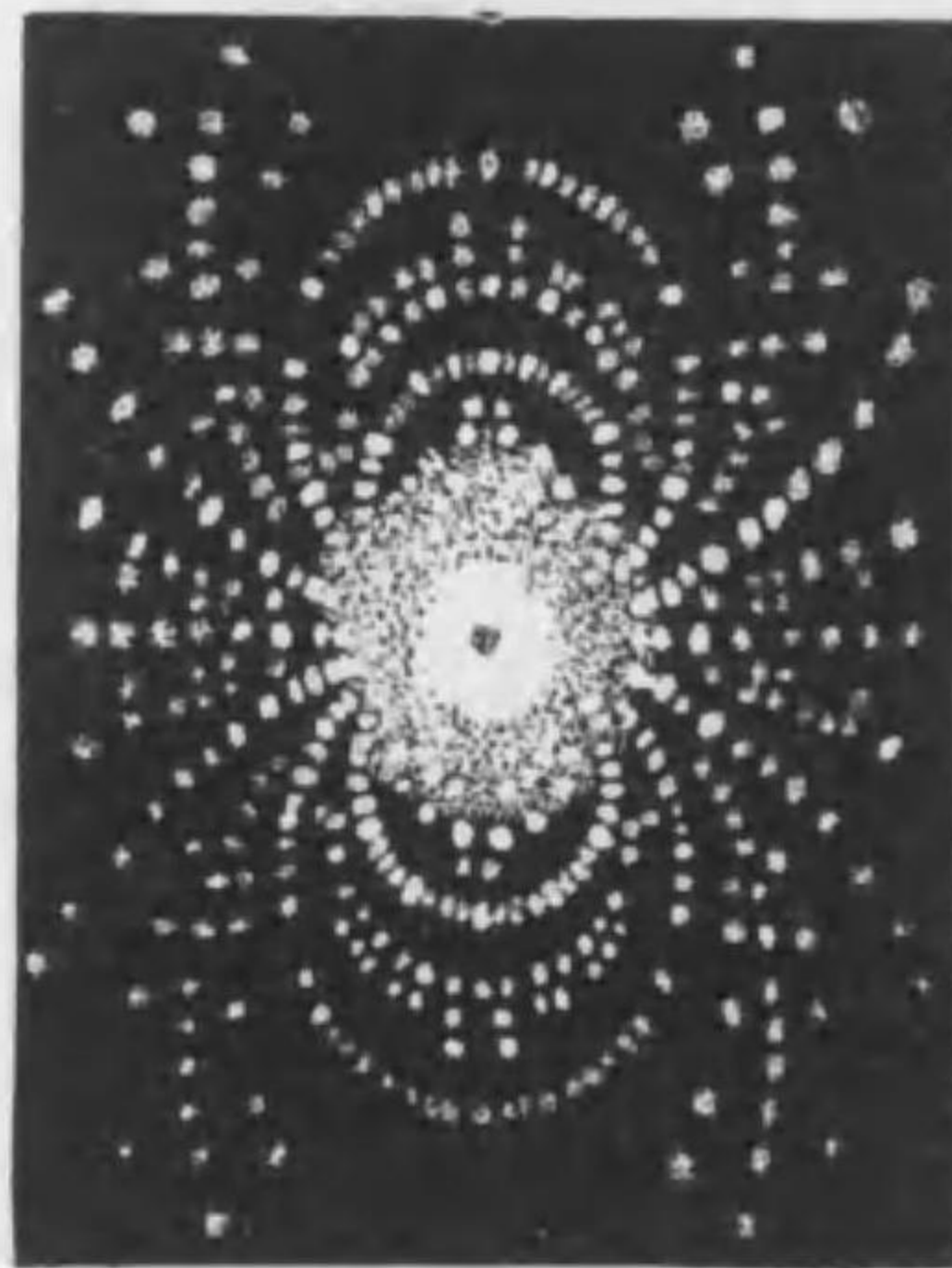
線を結晶面に垂直に投じ其背後に寫真乾板を置かば X 線の干涉線を求め得るならんと思想に達著し、ブロードリヒ 及び クニッピ

第六六七圖



ング (Friedrich u. Knipping) 兩人をして之を試験せしめたり、即ち(第六六七圖) X 管の對極板 T より發する X 線をして鉛塊間の細隙を通過し其方向を一定ならしめ然る後之を厚さ 0.5 耗の閃亜鉛礦 ZnS の面上に垂直に當らし

第六六八圖



めたるに、其背後に設けたる乾板 PQ 上に先づ中央の極大点を印し其周圍に干渉の結果として各邊四角より成り約圓形に整列する極大点を得たり、第六六八圖に示すものは硬石膏 (anhydrite) によりて得かる X 線の干渉紋なり。

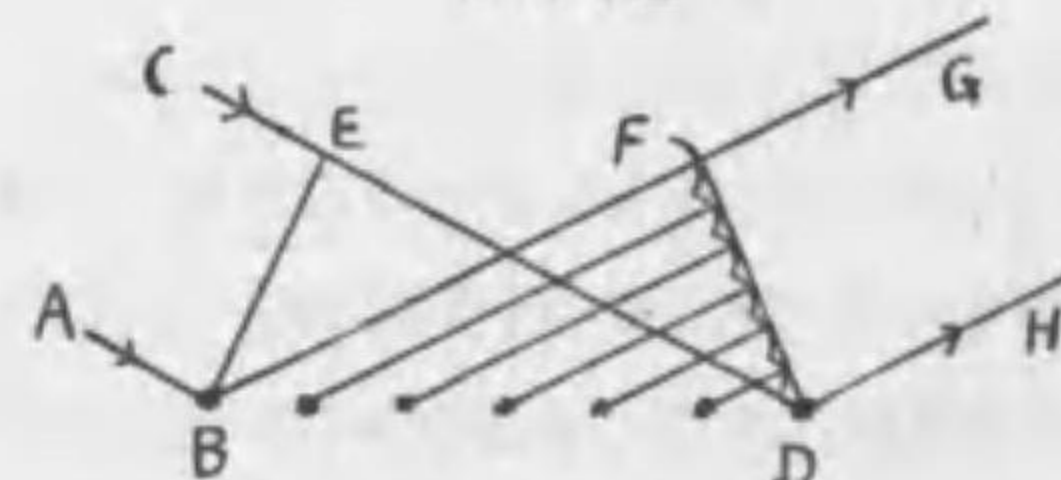
上述の研究により X 線は光線と同種類の振動なるを確定したるも未だ X 線の波長を定むるに到らず、次節に述べんとする方法によりて X 波動をスペクトラ的に調査するに到れり。

370 X線分光學

結晶体の内部に於ては分子は格子細工的に整列するを

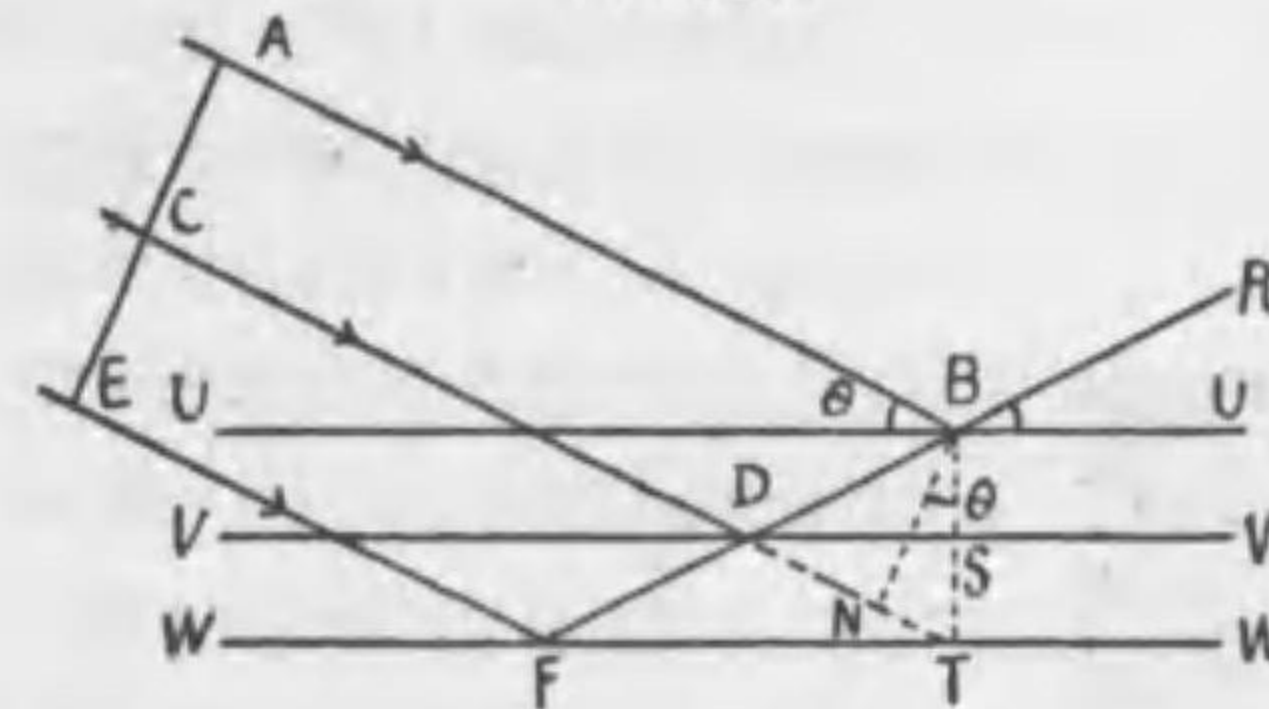
以て、假に第六六九圖の點列を以て分子の列と見做し其列面上に AB, CD の平面波動 plane wave が入射するものとせば、各點は所謂ホキヘン波動の起点となり干渉の結果として大部は互に打消し

第六六九圖



管位相の一致せる部分のみ残留し元の波面 BE は恰も反射光線作圖の場合の如く波面 FD に變じて FG, DN の方向に進行すべし、故に此現象は點列に於ける反射現象と見るも不可無きなり。然るに結晶体の内部に於ては斯の如き點列は等距離を保ちつゝ層々相重さなれるものと考ふるを得べきが故に第六七〇圖の UU, VV, WW ... を互に等距離なる点列の平行面とし AB, CD, EF を入射 X

第六七〇圖



線、 θ を入射角の餘角とするときは、二面に於て反射し同一の方向に向ふ ABR と CDR とが干渉して互に強むるには其行差が波長の整数倍に等しからざるべからず。

今 BST を平行面に垂直

に引き BN を入射線に垂直に引くときは $DB=DT$ となり、二 X 線の行差 $=CD+DB-AB=CD+DT-CN=NT=BT \sin \theta = 2d \sin \theta$ 、茲に d は平行層の垂線距離を示す、故に反射量が極大なるときは $2d \sin \theta$ は波長 λ の整数倍となる、即ち

$$2d \sin \theta = n \lambda \dots\dots\dots (18)$$

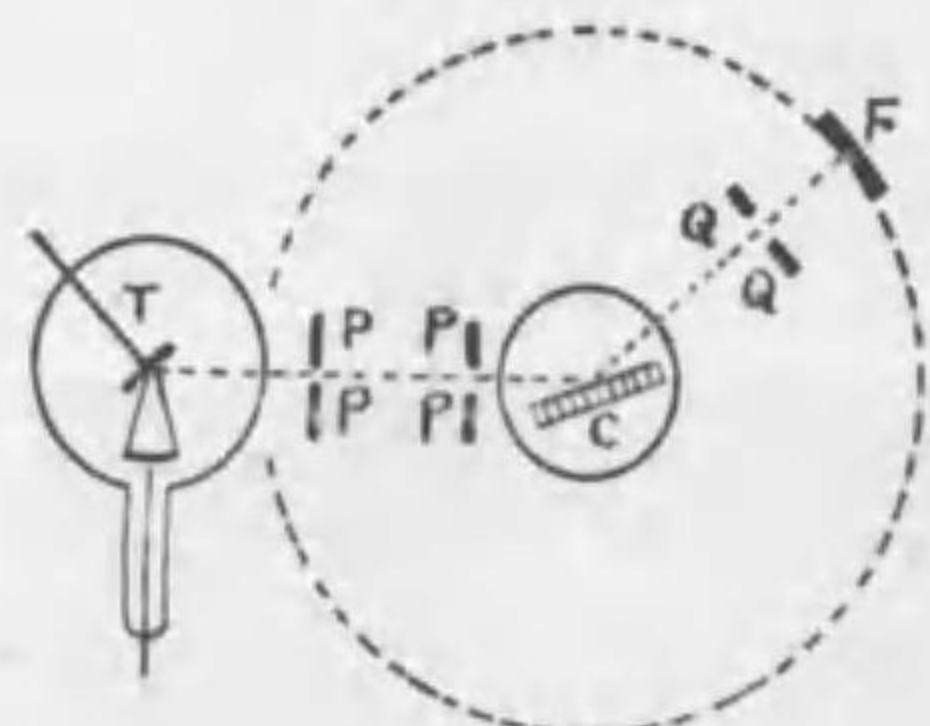
故に格子干渉の場合 (§ 274) と同一に $n=1, 2, 3 \dots\dots$ に相當して第一位、二位、三位 $\dots\dots$ のスペクトラを得べし。先づ $n=1$ なる場合を取り入射 X 線は單に λ_1 と λ_2 より成立するものと假定すれば反射角 θ も二様となり $2d \sin \theta_1 = \lambda_1$ 及び $2d \sin \theta_2 = \lambda_2$ を得、依て

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

此式に依り X 線中に含まるゝ異なる二線の波長を比較すること容易なり。若し結晶内に於ける分子配列の平行層の相互の距離 d を測定するを得ば從て波長 λ の値を算出すること容易なり、逆に既知の波長を有する X 線を使用して種々の結晶体に就き θ を測るを得ば、平行層の距離 d を算出し得て結晶体の内景を想像する好材料を得べし。此種の實驗法はブラッグ父子 (Bragg 1913) の創めしところにして X 線分光學も亦實に爰に起源す。

X 線分光器の構造は極めて簡單なり (第六七一圖)、對極板 T より出づる X 線は鉛片又は金片 PP の間隙を通過して細き線束となり結晶板 C に入射す、故に PP は分光器の整光管に相當す (§ 243)、結晶片 C は回旋角を讀み得べき

第六七一圖



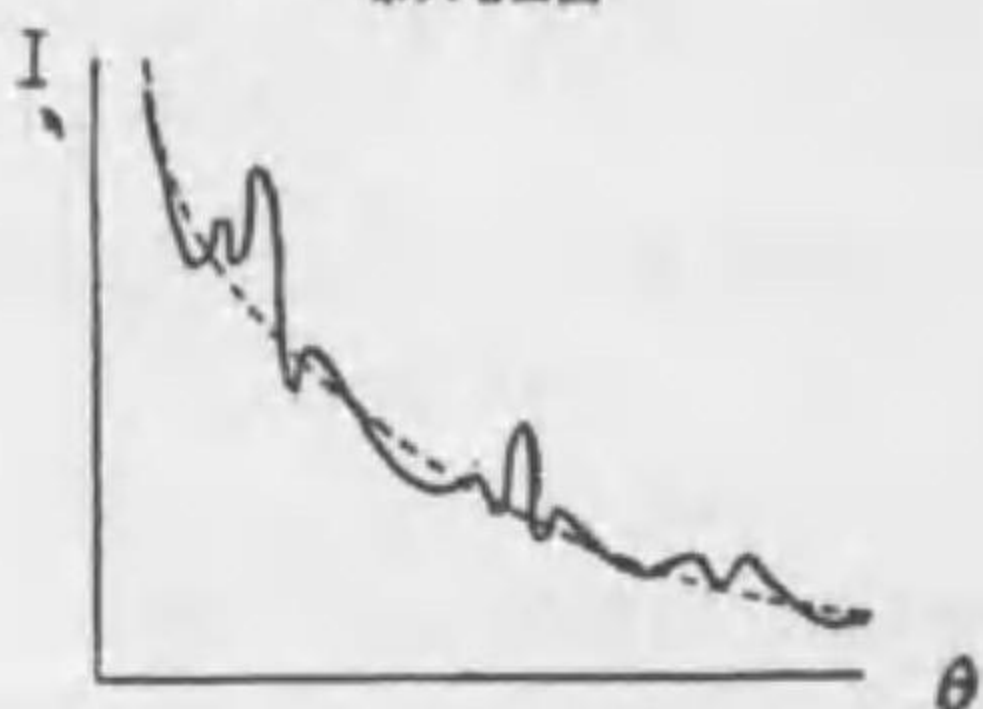
獨立の台上に固定す。C面に於て反射的干渉を経たる線は鉛片 QQ の間隙を過りて (此部分は分光器の望遠鏡に相當す) F に來り電離法或は寫眞採影法 (Moseley 1914) に依りて反射線の強弱を吟味す。反射線の方角を測るには別に度盛りを設けたる臂上に QQF を固定し中点 C を中心となし

て回轉するを得せしめ、此臂を廻はすと同時に其回轉角の $\frac{1}{2}$ に等しく結晶板台 C を廻はさざれば入射角と反射角とを同一ならしむる能はざるは明かなり。波長 λ なる X 線は (18) 式に従ひ一位、二位、三位 … の極大線を約 $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots$ の處に生ずるを以て極大線は位數 n に従ひ等距離に整列す。

普通の X 管を用ひ其對極板より發射する線を上記の分光器によりて検査せしに反射干渉線の強度 I と入射角の餘角 θ との關係は 第六七二圖 に示す如し、即ち点線にて示せる連續スペク

トラ上に各位 order に対する輝線スペクトラ (輝線の名を附するも X 線は元來自ら光を有せず單に物質に觸れて電離する際螢光を發するものなれ共爰に述ぶる現象は光學にて學びたる輝線に相當するを以て暫く此名稱を存ず) 重さなり生ずるを視る。

第六七二圖

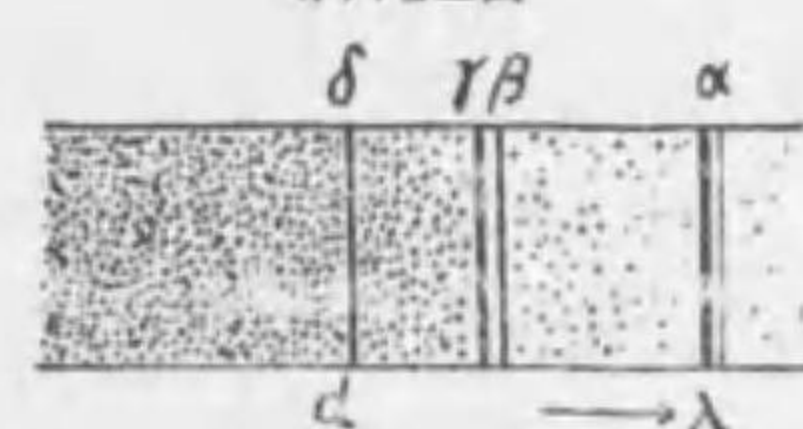


ブラッグの研究によれば各位の輝線は (圖中各三箇の峯形にて示す) 如何なる結晶体を用ひて實驗するも (岩鹽、螢石、黃鐵礦等にて實驗せり) 殆ど同一にして單に對極板の性質に従て少差を生ず、實に此輝線スペクトラは對極板を構成する物質の特有線 characteristic lines (§249) とも稱し得べきものなり (上圖に於ては對極板は白金なり)、斯の如く X 線スペクトラは二重にして第一は連續スペクトラより成り、第二は此に重さなり生じ、對極板に特有なる線を有する輝線スペクトラなり。X 線發生の電位高く従て硬度大なる X 線に於ては連

續スペクトラは充分に發達し輝線スペクトラ弱し、之に反し電位低く従て軟線を以て實驗するときは反對となる現象を見るなり。

光學に於て學びし元素特有線は元素異なるに従て其趣を異にし相互間に共通性を有せず、此に引換へ X 線スペクトラに於ては各種の對極線が發する輝線は相互に多少の類似点を有して其關係は比較的單純なり。即ち對極板より放射する特有線は對極板が如何なる元素なるにせよ通常二群の輝線より成立し、其一群は K 群と稱し波長甚だ短く、他の群は L 群と稱し波長比較的長し、然るに原子重の大なる元素に於ては K, L 二群の外に M 群を有し其波長一層長く、更に原子重の最高なる元素に在りては尚ほ N 群を加ふ、K, L, M, N の四群は波長の順序に従て配列せらるれ共此四群を同一元素に於て同時に目撃するは難く、原子量の大小に従て可視區域は一端に偏す。而て理想的完全なる場合に於ては各群五條の線より成立し、之を $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$ によりて區別す、例へば $K_{\alpha}, L_{\beta} \dots$

第六七三圖



と云ふが如し、第六七三圖は白金對極板の L 群を示す。此に依て視れば X 線の輝線スペクトラは凡べての元素に共通なる点を有し、各必ず K, L, M, N 群中の二三より成立し、各群は一般に

$\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$ 線より成立す。斯く共通点は存ずれ共種々の元素のスペクトラを彼此比較するに一定輝線、例へば K_{α} の振動數は元素異なるに従て異なり。今 92 個の元素を原子量の順序に並べ (等位元素は其代表者一員を撰ぶ) 一々番號を附し此を原子番號と稱し ϵ を以て之を示し、任意定線の振動數を N とすればモーズレの研究 (Moseley 1914) により次の公式を得

$$N = R \cdot z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \dots \dots \dots (19)$$

爰に R は一定數にして之を Rydberg constant と名づく、 m, n は他の常數にして K, L, M, N 群の場合には夫々 $m=1, 2, 3, 4$ なり、 n は自然數にして K 群に於ては $n=2, 3, 4, \dots$ 、L 群に於ては $n=3, 4, 5, \dots$ と置くべし。今番號 ϵ なる元素の輝線の振動數を N とし、番號 $\epsilon+1$ の元素の相當

輝線の振動数を N' とするときは m, n は兩者に共通なるを以て (19) より

$$\sqrt{N'} - \sqrt{N} = \frac{\sqrt{R(n^2 - m^2)}}{mn} \dots\dots\dots (20)$$

故に一元素より其次の番號の元素に移るときは振動数の平方根は常に同一の増加を呈す、従て横軸を原子番號とし縦軸を振動数の平方根とする曲線を書くときは其曲線は直線なり、同一理により L, M, N 群の輝線も同一の結果を生ず (第六七四圖)。(19) 式は吾人が水素輝線に就きて學びたる **バルマー式** (§ 250) と同一型なり、**バルマー式**を

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{A} \left(1 - \frac{4}{n^2} \right)$$

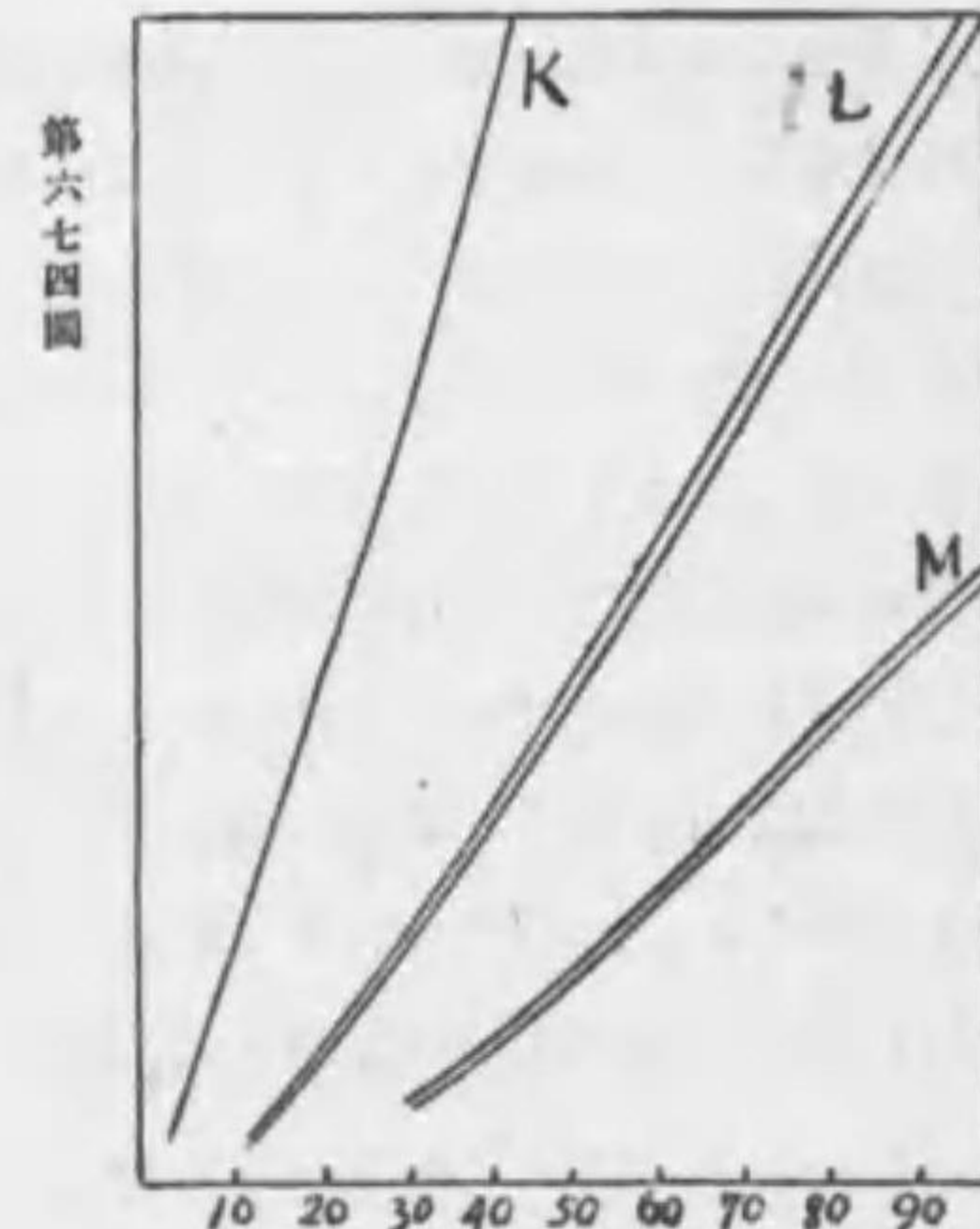
と書替へ、 $A = 364.613 \mu\mu = 364.613 \cdot 10^{-6} mm = 364.613 \cdot 10^{-7}$ 程なるを記憶しつゝ光線速度 V を兩側に乗ずるときは $V/\lambda = N$ なる故

$$\begin{aligned} N &= \frac{V}{A} \left(1 - \frac{4}{n^2} \right) = \frac{4V}{A} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \\ &= \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{3.646 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) = 3.29 \cdot 10^{13} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \end{aligned}$$

を得、然るに水素は $n=1$ なる故上式を (19) と比較し K 群の公式と見做すことに依りて

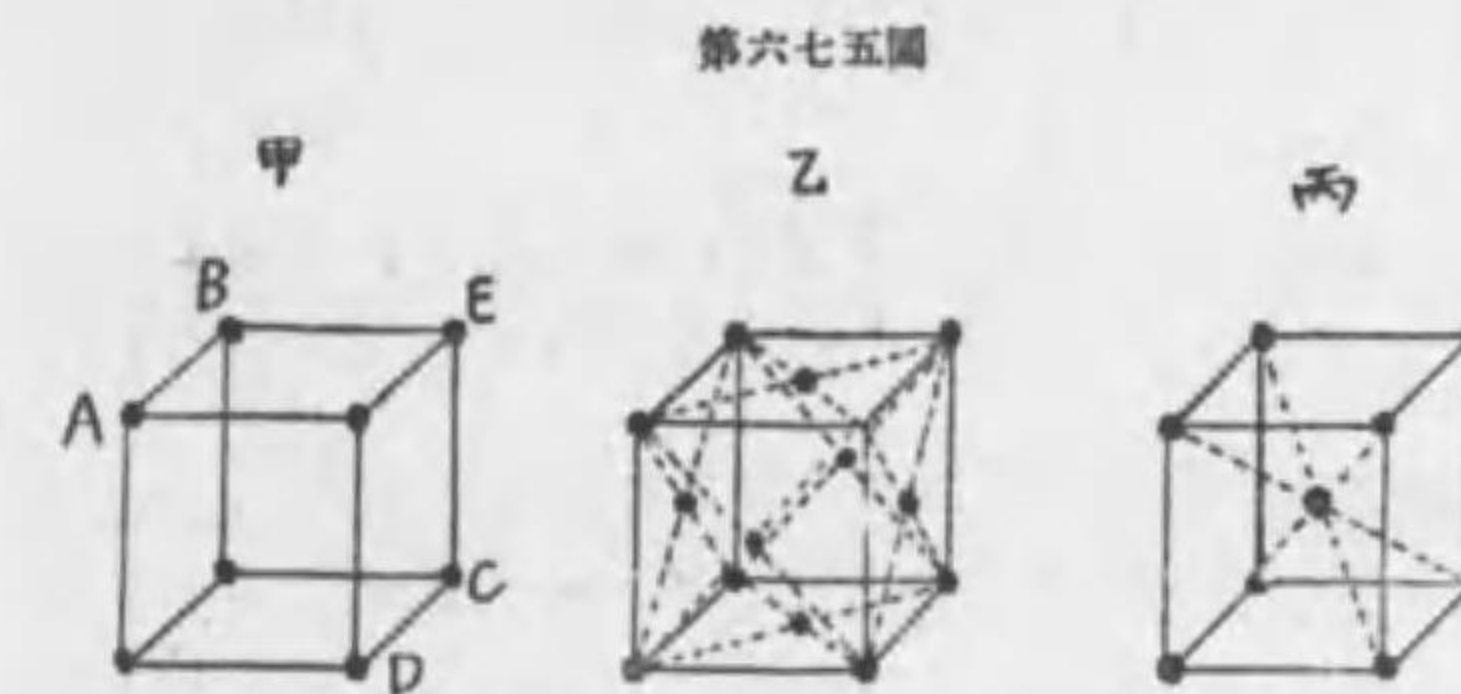
$$R = 3.29 \cdot 10^{13} \dots\dots\dots (21)$$

なるを知るべし、又上述の理に由り原子番號なるものに深大なる意義あるを悟ること容易なり、原子量小なるに隨て X 線の波長増加し H, He, Li の如き最輕元素の X スペクトラの K 群は既に紫外線として之を観ることを得るなり、而して L 群は一部可視 スペクトラ 中に現はるゝに到るなり。



第六七四圖

371 波長測定 X 線の波長を測定するには § 370 に述べたる式 $2d \sin \theta = n\lambda$ ($n=1, 2, 3 \dots$) を使用す、 θ は實驗によりて定むるを得るも d は結晶体の構造に関する一種の臆説を立て、算出するなり、**ブラッグ** (Bragg 1913) はアルカリ 金屬の **ハロゼン** 鹽類の結晶形より其研究の端緒を得たり、此等の結晶は皆な等軸系 cubic system に屬し此にも三種の型ありて (第六七五圖) 甲を單立方格子 simple cube lattice 乙を面心立方格子 face centred



第六七五圖

lattice 丙を中心立方格子 cube centred lattice と名づく。

凡そ結晶体を分割するときは常に元の結晶に相似なる立体を得るが故に之を分割

して已まざれば最初の形に相似る微分晶体に到着すべし、上圖は各微分晶体の一にして、等軸系に屬する結晶は必ず甲乙丙の何れかを其微分晶体となせるものなりと假定す。§ 370 の初部に於て假想したる原子列の面は必しも此微分晶体の表面に平行なるを要せずして、尙ほ甲圖 ABCD に平行なる平面 及び AED に平行なる平面ありて三者何れにても空間格子の平面と見做すことを得べし。結晶學に於ては上記三種の平面を夫々 $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$ を以て示す、然るに此三種の場合に於ては平行面間の距離は同一ならずして距離 d は

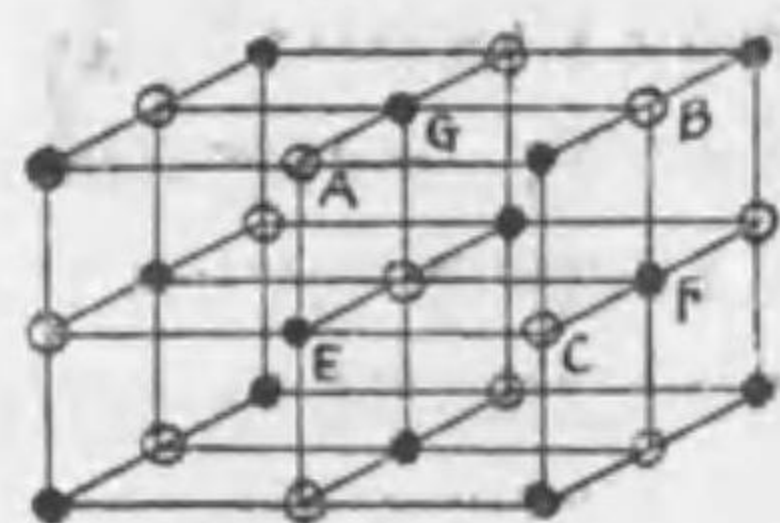
$$\text{甲に於て } \frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$$

$$\text{乙に於て } \quad \quad \quad = 1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{丙に於て } \quad \quad \quad = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \sqrt{3}$$

の比を有す、而て $d_{100} : d_{110} : d_{111}$ の比は X 線分光器を使用し三種の平面より反射干渉する線の觀測によりて定むるを得べきが故に、隨て等軸系中何づれの種類 (甲乙丙の) に屬する結晶体なるかを判定するに便宜を與ふるなり。

第六七六圖



然るに、ハロゲン鹽類の結晶体は第六七五圖に示す如く其原子は無差別なるものにあらずして、原子量を異にせる二種の原子が交互に配列せられたるものに相違無かるべく、隨て原子より反射する振動は原子番號に正比例して其強弱を異にするならん。

例へば KCl の場合には $K=19$, $Cl=17$ なるを以て殆ど同一の反射力を持つものと見做し得べきも、 $NaCl$ の場合には $Na=11$ なる故 (111) 面列より反射する X 線には大なる不同あるは第六七六圖を見れば明かなり、此圖に於て黒球は Na を示し白球は Cl を示すものとすれば ABC 面は Cl 原子の列をなし EGF 面は Na の列をなすが故に此兩面の反射力は等しからずして實に 17:11 の比を有すべき筈なり、恰も光學に使用する干渉格子の平行線の距離に不同ある場合と同一の結果を呈すべき理にして、此もブラッグの観測によりて實證せられたり。

上述の理論及び實驗により結晶体の内景に關する臆説は正當を得たるものと考へ得可きが故に第六七五圖甲に立返へり此に該當する岩鹽 $NaCl$ に就き d_{100} の値を算出せんとす。微分立方体の容積は d_{100}^3 にして岩鹽の密度は 2.17 なるを以て質量は $2.17 \times d_{100}^3$ に等し、然るに原子量は $Na=23$, $Cl=35.5$ なるを以て平均の値は $\frac{1}{2}(23+35.5)$ 即ち 29.3 なり、故に Na と Cl とを同一と見做し之を 29.3 の質点にて代表せしむるときは岩鹽一分子の質量は此に水素原子の質量 (§ 361) $1.627 \cdot 10^{-24}$ 瓦を乗じたるものなり、即ち

$$2.17 \cdot d_{100}^3 = 29.3 \cdot 1.627 \cdot 10^{-24}$$

依て $d_{100} = 2.8 \cdot 10^{-8}$ 糎を得、之を $2d \sin \theta = n\lambda$ に代入し、 $n=1$ とし、 θ は白金對極板によりて得たる實驗値 $\theta = 11.4^\circ$ を代入すれば X 線の波長は $\lambda = 1.1 \cdot 10^{-8}$ 糎となるべし。從來實測したる X 線波長の最大なるものは $\lambda = 6.6 \cdot 10^{-8}$ 糎にして最小なるは $\lambda = 5.7 \cdot 10^{-10}$ 糎なり。

結晶体を粉末となし之を貫きて X 線を送り其正面に乾板を置くときは粉末は小結晶を種々の方向に置きたるもの、集合体と見做し得べきが故に X 線は種々

の点列面より反射し $2d \sin \theta = n\lambda$ なる公式に隨て干渉の極大を生ずるが故に謂極大線は入射 X 線を軸とし 2θ 角の傾きを有する方向に於て乾板に作用す、故に乾板上に生ずる印象に由り直に λ を算出し得るを以て曩に第六七一圖に示せる装置に依りて證明したる方法よりも一層簡便なりと稱すべし。

372 二次又は副 X 線 secondary X rays 恰も音波が其と同一振動数を有する樂器に共鳴を起さしむる力あるが如く K 群又は L 群の X 線が物体に入射すれば同一振動数の K 群又は L 群の X 線を其物体より發射せしむることを得べし之を二次 X 線と稱す、此二次 X 線が復た他の物体に入射し其物体より同一振動の X 線を發射せしめ得るときは之を三次 X 線と稱す。

又光が金屬面を照らすことに由りて其金屬より光電子の發射を促し得る如く、X 線が金屬に入射する時にも金屬より電子を抛射せしむることを得るなり。X 線の振動数が N なるときは其エネルギー量子 Nh は金屬より光電子を出射せしめたる如く X 線の場合にも先づ電子を金屬より分離せしめ次で之に若干の加速度を與ふる力あり、今電子を金屬面に引留まらしむるに必要な電位を V とし電子荷電を e とすれば既に § 363 於て説明したる如く

$$Nh = Ve$$

なり、茲に電子を金屬より分離する仕事は甚だ少量にして Ve に對して無視するを得るなり。

第 十 章 放 射 能 RADIOACTIVITY

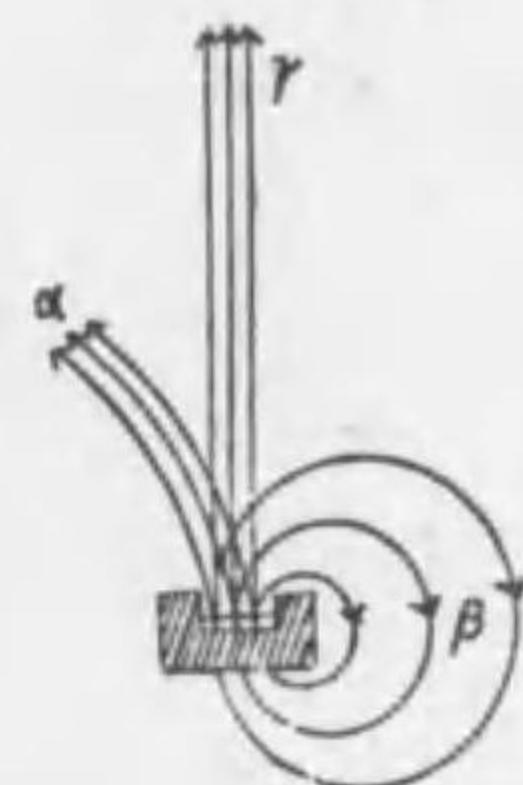
373 ベクレル線 真空管内に X 線を発生せしむる際、管壁は X 線の刺激を蒙りて壁に螢光を發する事實より類推して、ベクレル (Bequerel 1896) は uranium の鹽類の如き螢光燐光を發する物体を紙にて包被し寫真乾板と重さねて暫時暗室内に放置せしに果然寫真作用あるを發見し種々取調べたるに酸化ウラニウム U_3O_8 は X 線に酷似せる線を放射するものなるを確定せり。引續きキュリー夫人 (Curie 1897) は他元素の鹽類にも此に似たるもの無きかを研究中 U に似たる Thorium 元素の發見に及べり。發見の當時は放射能は U の混在するに由るものならんと想像せしも、研究を重さぬるに及び Th の放射能は却て U よりも大にして兩者全然別物なるを明にせり。然れ共最初は斯く想像せし故 U の諸鹽類中より放射力最大なる物質を取出さんとの大志を抱き奥國政府より一噸の pitchblende 礦滓を得て此が分析に著手し莫大なる努力の後 U よりも放射能遙に大なる元素 Polonium を發見せり、此は蒼鉛と共存し性質も亦之に似たり。之に引續き 1898 年遂に Radium を發見す、同重量に就きて比較すれば之は初めの U の二萬倍の力を有せり、原子量は 226 にして性質は Barium に類似す。Ra は最初は白色の金屬なれ共空氣に觸れ其窒素と化合して直に黒色となる。翌年臭化 Ra の形に於て廣く世間に販賣するに到れり。ドビルヌ (Debierne 1899) 同礦滓より他の放射的元素 Actinium を發見し、ボルトウッド (Boltwood 1908) は U 鹽類より Th に似たる放射的元素 Ionium を取出せり、此元素の強さは U の數千倍にして暫時にして Ra に變化するものなるを認めたり。上述の元素の放射能は單に寫真力に依るのみならず亦た螢光作用及び電離作用によりて測定せられたるものなり。

斯く多くの放射体は發見せられ放射線に關する事實の報告は累積せしも事實間の連絡不明にして諸學者は途方に暮れ居たる折柄、ラザフォード (Rutherford 1899) 出で、此に對する明快なる解答を與へたり。今一個の放射体を取り之を薄

き錫箔にて包被するときは放射能は元の $1/10$ に減ず、更に同厚の錫箔を之に重さね包むも放射能力に於て殆ど減退するを認めず、然るに厚さ 1 耗の鉛板を以て之を蓋ふときは更に $1/100$ の減退を見るなり、尙ほ鉛板を重疊するに従て能力次第に減少し遂に全く放射線を遮断するを得るに到る。此事實より結論してラザフォードは放射線を以て三種の線より成立するものとなし、之を α 線、 β 線、 γ 線と命名せり。

當時既に陰極線現象は研究されしを以て此等三線も陰極線の如く荷電せるものに非るかを験せんと欲し、放射線に垂直なる力線を有する磁場を設けて實驗せしに放射線は忽ち三方に別れ(第六七七圖)甲は一方に乙は其反側に曲がり丙は右にも左にも曲がらずして直進するを見る、甲乙丙は夫々 α β γ 線と稱せらるゝものにして α 線は陽性 β 線は陰性 γ 線は無荷電なるを證す。今アルミニウム 薄片を以て鉛箱内の Ra 粒を蓋ふときは陽荷電を有する α 線の射出は中止す、厚さ一耗の鉛片を以て蓋ふときは陰荷電の β 線も消失す(前記ラザフォード實驗参照)然るに無荷電なる γ 線は數厘厚の鉛片を使用するに到りて漸く其全部を遮断するを得べし。 α 線の磁場による轉向は微少にして研究の初めに於ては α 線は全く轉向せられざるならんと思はれし程なり(1903 に到り多量の Ra を用ひて初めて證明せられたるなり)、之に反し β 線の轉向は容易にして圓形を書きて回歸す、故に寫真板を鉛箱の下に水平に置くときは乾板は明かに β 線の印象を受くるなり。

第六七七圖



§260 の(1)式により α 線 β 線轉向の度を測りて其速度 v を推算し得べし、之に依れば α 線は光速の $1/10$ 乃至 $1/20$ の速度を有し、 β 線は遅きものは光速の $1/3$ 早きは $99/100$ に達す。放射体を著けたる針金を硫化亜鉛の如き螢光板の上へに支へレンズにて廓大して見るときは(此装置を Crookes' の spintharoscope と稱す) α 線放射の状及び射出粒の数を概算し得べし、即ち一瓦の Ra は毎秒約 $3 \cdot 7 \cdot 10^{10}$ 個の α 粒を射出するものなりと云ふ。然るに γ 線は全く轉向せざるを以て磁力に由り其速度を測る能はざれ共、他の方法に依り其速度は光速

と同一なるを知れり。 γ 線は其性質上光線と同種に属すれ共振動数は X 線の如く甚だ大、従て波長極めて短く、今まで物理学が研究したる波動中の最短者なり。此等三線は何れも空氣に吸収せられ易く空氣中進行の途次に於て多少の障害を受く、此裡にも α 線最も甚しく僅に 3 乃至 8 呎を進行し得るなり従て氣體を電離する力最大なり。 β 線は其性質上電子と同一物にして陰極線に類似し速度甚大なり従て電離力最も尠し、即ち同長の距離に就きて比較するに電離作用を起さしむるイオン数は α 線は β 線の百倍なり。 γ 線の進行力は最大にして鉛板を貫通する力を較ぶるに遂に X 線に優れり、 γ 線を空氣中を進行せしむれば十米の距離を貫通して漸く強度最初の 1/2 に衰ふ故に電離力に於ては同一距離を貫くものと假定して β 線の百分の一に過ぎず。

發見の當時は $\alpha\beta\gamma$ 三線が有するエネルギーの由來に關して解答を興ふること困難なりしも下に記する三種の性質は確定したるなり。第一、三線の電離力は其を放射する物体が鹽化物なるも、臭化物なる時も果た硫酸鹽類なる時も Ra 元素の儘の時と全く同一なり、換言すれば電離力は放射体の化學的構造には關係せざるなり。第二、放射体を低きは液化空氣の温度より高きは弧燈の温度に處して種々温度を變化するも放射線は毫も其性質を變ずることなし、温度變化すれば物質を構成する分子及び原子の振動速度變じ従て其運動エネルギーに大差を呈するに拘らず放射作用は全然之と沒交渉なるは實に奇なりと云ふの外なし。放射体の種類は今日既に三十に達せんとするも其放射能は何れも温度に無關係なり、此に依て見れば放射作用は分子と分子若くは原子と原子との間に働く力に由るものに非ずして單に各原子の内部構造の變化を示すものと考へざるべからず。第三、の性質は各放射体の温度は常に其周圍の温度よりも高くして不斷四方に熱を輻射する性質なり、其熱は放射体が劇烈なる化學作用によりて發生し得る熱量の數百萬倍に達す、即ち放射体の体熱は其分子間又は原子間の消息を傳ふるものに非ずして寧ろ原子内部に貯藏せられたるエネルギーの發射するものと視ざるべからず。

374 放射體の崩壞 暫く放射体に接觸したる物体は自ら放射線を拋出するの能力を帯ぶるに到る此能力を感應放射能 induced activity と稱し最初 キウ

リー夫妻の目撃するところ (1899) なりしが其一年後諸學者の研究により總べての放射體は不斷放射能を有する氣體を噴出するものなるを明かにし此噴出物を emanation と名づけたり、感應放射能は全く此 エマネーションの附着するに依るものにして、其證據としては強酸を以て洗滌するか、摩擦によりて之を削ぐるときは其物体は放射能を喪失し、又之を熱するときは飛散して近處に在る冷物の表面に凝結するを見るなり。然るに物体面に附着せる エマネーションも時を経るに従ひ漸く飛散して遂に踪跡を留めざるに到る。例へば Ra のエマネーション即ち Ra-Em は 3.85 日にして其力元の二分の一となる更に 3.85 日を経て其二分の一となる、斯く常に等比を減じて衰ふ、此場合には 3.85 日を半減期 half-value period と稱し T を以て之を示す。T は エマネーションの種類に従て異なり、短きは一秒時に足らず長きは數億年に達す。

上述の事實に基づき ラザフォード (1902) は從來化學者が懐抱せし思想を振盪し新たに物質論を考出せり、是れ即ち原子崩壞説なり。元來放射の現象は放射体の原子内部の構造に大變化の行はれつつあるを教示するものにして、原子は α, β, γ 線を放射することに依りて既に其成分を失ひ併せて其成分に内住せるエネルギーを失ひつつあることは説明を要せず。斯く成分を失ふときは其殘部は全然新元素にして其物理的化學的性質に於ても一段の變化を生じたるなり。例へば Ra 原子一個が其 α 粒子を失ふときは殘部は エマネーション (Ra-Em) 原子として存在す、而て此 Ra-Em は Ra に非る他の新元素 (沸騰点 -71°) なるを以て元素表中の適當なる處を占有する資格を有するなり。此 Ra-Em も亦崩壞して其放射能は 3.85 日を以て元の 1/2 となる、斯くして生じたる殘物は他の新元素にして原子量は更に減少し通常氣温に於ては固体なり之を Ra-A と名づく、Ra-A の半減期は僅に 3 分時なり。Ra は Ra-Em を産み、Ra-Em は Ra-A を産むも一族共様し祖體 Ra の表面に附着して存在するを常とす。

放射體が崩壞する法則は次の如し。t=0 時に於て或放射體の原子数を N_0 とし t 時に於ける原子数を N とすれば崩壞の爲に一秒毎に分かれ行く原子の數は $-\partial N/\partial t$ なり、然るに實驗的事實に徴すれば此値は其當時の原子數に正比例するものなり、故に

$$-\frac{\delta N}{\delta t} = \lambda N \dots\dots\dots (1)$$

と書くを得、此式を解くには $N = ae^{bt}$ と置き (a と b は常數、 e は自然對數の基數) 原式に代入すれば $-abe^{bt} = \lambda ae^{bt}$ 即ち $b = -\lambda$ を得、故に $N = ae^{-\lambda t}$ なるを知る、次に $t=0, N=N_0$ の關係を代入すれば直に $a=N_0$ を得、依て

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2)$$

t 秒間に分かれ行きし原子の數は $N_0 - N$ 即ち $N_0(1 - e^{-\lambda t})$ にして、亦是同時に發生したる新元素の原子數に等し。又半減期 T 後には放射能 $1/2$ となるを以て $t=T, N = \frac{1}{2}N_0$ を (2) に代入すれば

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \text{ 即ち } T = \frac{\log 2}{\lambda} \cdot (\log 2 = 0.69315) \dots\dots\dots (3)$$

なり。 $1/\lambda$ 即ち $T/\log 2$ を平均壽命 average life と稱す其理由は (1) により δt 時に崩壊する原子數は $\lambda N \delta t$ 即ち $\lambda N_0 e^{-\lambda t} \delta t$ なり、此は δt を壽命とする原子の總數なるを以て平均壽命は

$$\frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda N_0 t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

なり。

Ra の崩壊速度 $-\delta N/\delta t$ は甚だ小にして半減期は $T=1800$ 年なり、從て崩壊速度は殆ど常數と見るも不可なし、然るに同時に新生する $Ra-Em$ の崩壊速度は大なるを以て Ra より發生する $Ra-Em$ の原子數は最初は零にして漸次に増加すれ共其と同時に $Ra-Em$ も崩壊するが故に早晚發生數と崩壊數とが等しくなる時期到着し母體 Ra に附著する $Ra-Em$ の原子數に増減無きに到る、之をエマネーションは Ra と鈞合を得たりと稱す。今爰に多種の放射體ありて其崩壊常數を夫々 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots\dots$ とし、第一放射體の現在數を N_1 とし其壽命は長年なりと假定すれば一秒間に崩壊する原子數は (1) により $\lambda_1 N_1$ なり、斯くして生ずる新元素の原子數を N_2 、崩壊常數を λ_2 とすれば一秒間の崩壊數は $\lambda_2 N_2$ な

り、若し $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$ なるときは此物質は母體と鈞合の状態に在り、順次斯の如く其子孫と鈞合を保つ場合を想像すれば (3) 式により

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots\dots \text{ 即ち } N_1 : N_2 : N_3 : \dots\dots = T_1 : T_2 : T_3 : \dots\dots (4)$$

375 α 粒子 吾人は陰極線の荷電章 (§360) に於て學びたる如く (1) (2) 兩式より e/m を消去して α 粒子の速度 v を測定し得たるのみならず亦同時に e/m の價を測定したり、斯く得たる結果に依れば α 粒子の e/m は水素イオンの $1/2$ に等し、尙又た磁場により α 線を轉向せしめて實驗したる結果により α 粒子の荷電は水素イオンの二倍なることを確定せり、依て兩結果を綜合すれば α 粒子の質量は水素原子の質量の四倍なること明白なり。總べての放射體より出づる α 粒子は悉く同一種のものなるを以て α 粒子の原子量は 4 にして Helium の原子量に等しきものなりと云ふて可なり。He は最初 (1868) ジャンセン及びロッキヤーが太陽スペクトラ中に D_3 線として発見し後ち (1891) Hillebrand により U 鎖中に発見せられたる氣體なり。總じて放射性の礦物は皆な其成分として He を含有するを以て礦粉を熱すれば He は氣體となりて噴出せらるゝなり。ラザフォード及びロイド (1909) は普通の氣體を完全に遮断する薄ガラス (厚さ $1/100$ 耗) を取り $Ra-Em$ より出づる α 線をして之を貫通せしめ然る後ちスペクトラ管内に挿入せしに數日を経てガラス管壁は黄色の光明を發せし故へ分光器にて之を検せしに He のスペクトラに相違無きを確定せり、此實驗により α 粒子が其二個單位の陽荷電を失ふときは全く He と同一物に變ずるものなるを知るに到りしなり。

放射體には三系あり、甲は U を祖體とし Ra は其變形の一なり、乙は Th (Thorium) を祖體とす、丙は Ac (Actinium) を祖體とす、此裡丙は甲の分系を形成し UII は變じて Ac 系の祖體 UY となるなり。各元素は α 粒子を射出しつゝ崩壊し同時に原子量 4 を減じ、三系共に遂には鉛に變じて安定となる。各系の崩壊史は次表に明かなり。

U (Ra) 系			Ac 系			Th 系		
元素及び 原子量	放射能	半減期	元素及び 原子量	放射能	半減期	元素及び 原子量	放射能	半減期
UI 238.2	α	4.5.10 ⁹ 年	UY 230	β	24.6時	Th 232.1	α	16.5.10 ⁸ 年
UX ₁ 234	β	24日	U ₁ Ac 230	α	13.10 ³ 年	MeTh ₁ 228	β	6.7年
UX ₂ 234	β	6.7時	FrAc 226	α	約 50年	MeTh ₂ 228	β	6.2時
UZ 234	β	1.14分	Ac 226	β	18.9日	RdTh 228	α (β ⁻)	1.9年
UII 234	α	約 10 ⁹ 年	RdAc 226	αβ	11.2日	Th ₂ X 234	α	3.64日
Io 230	α	1.3.10 ⁸ 年	AcX 222	α	3.92秒	Th ₂ Em 230	α	54.5秒
Ka 226	α	1580年	AcEm 218	α	2.10 ⁻³ 秒	ThA 216	α	0.14秒
Ra-Em 222	α	3.83日	AcA 214	α	2.16 ⁻³ 秒	ThB 212	β	10.6時
RaA 218	α	3.05分	AcB 210	β	36分	ThC 212	αβ	60.8分
RaB 214	β	26.8分	AcC 210	αβ	約 5.10 ⁻³ 秒	ThC' 212	α	約 10 ⁻¹¹ 秒
RaC 214	αβ	19.5分	AcC' 206	β	4.76分	ThD 208	β	3.2分
RaC' 214	α	約 10 ⁻⁴ 秒	AcX' 206	β	永	ThD' 208	β	永
RaC'' 210	β	1.32分						
RaD 210	β	16年						
RaE 210	β	4.85日						
RaF(Po) 210	β	136.5日						
RaG(錒) 206	α	永						

放射的元素表

ダルトンが原子説を唱へし以來化學的物理学的事實及び理論により總べて物体は分子より成立し又分子は原子によりて構成せらるゝことは明白となりしも未だ曾て原子の實在を證明する能はざりしが放射体の原子より射出せらるゝα粒子を研究するに及び彌々原子の實在性精確となれり。近來精巧なる驗電器を製出し空气中を飛行するα粒子が空氣分子に衝突して生ずる電離作用を實驗し、更に強力なる電場にて此實驗を行ひα粒子に加速度を與へて衝突度數を頻繁ならしむるときはα線の一粒子は克く1/10靜電單位の電氣量を發生せしむる力を有することを測定せり、又自記驗電器を製して電離作用を寫真せしに放射線は全く連續性を缺き從て電離作用も常に不連續的に行はれ一種の衝動的現象なるを確定せり。尙又驗電器的測定の他の結果を記せん、一瓦Raが毎秒放射するα粒子の數は3.7.10¹⁰なり、今Raの原子量は226なるを以てRaの一瓦原子は226瓦なり、此裡に含まるゝRa原子の數をNとし放射常數をλとすればλ=1.4.10⁻¹¹なるを以て(1)により

$$N\lambda = 226 \cdot 3.7 \cdot 10^{10} \quad \therefore N = \frac{226 \cdot 3.7 \cdot 10^{10}}{1.4 \cdot 10^{-11}} = 60 \cdot 10^{21}$$

此値はロシユミット數又はアヴガドロ數と稱せらるゝもの(一瓦分子内の分子數)と合す。

α線が空气中を進行する状況を目撃するには曩に述べたる spintharoscope (§ 373) と稱する装置の外に キルツン 實驗法 (Wilson 1912) あり、此は密閉したる器中の空氣の壓力を突然減ずるときは器中に置きたる放射体より發するα粒子は核となりて氣中の濕氣は其上に凝結するが故に各粒子は雲霧狀の包被物を携へつゝ進行す、故に外部より日光を當てゝ之を照らすときはα線は明瞭に現はれ之を寫真することを得べし、α粒子を包む雲霧は久しからずして消失す。α線は一般に直線を爲せ共其進行の途中に於て空氣分子と正面衝突を爲すときは行路は此が爲に突然屈折するを見る。

376 原子新説 放射能を有する元素中 U, Th, He は放射能の發見以前既に化學者に知られたる元素なるを以て元素の連列表中の適當なる位置に編入するを得たり、其後多くの放射性元素發見せられたるも多數はα粒消失の結果

として出産する元素なるを以て原子量は 4 の整数倍にて減じ、従て原子量は既知数となるを以て元素の週期表中に難なく適處を尋ね當りたるも、倍て爰に困難なるは新元素中 α 粒の放射に依らず單に β 線の射出によりて産出したるものあり、此等は其原子量に於て母体のと殆ど同一なり、加之らず Ac の如きは Ra 系の分系なるを以て兩系中互に原子量を同ふする元素尠からず、斯の如きは其發生の履歴を異にするに拘らず化學的性質及び分光的性質に於て些少の差違を呈せざるを以て化學者は此等元素の處置法に關し大に當惑したるも幸にして（既に § 366 に述べたる如く）等位元素 isotopes の思想に逢著し週期律の表中の任意の場處は共棲元素 pleiades によりて占有せらるべきものなる事に確定せり。

從來原子は分割すべからざる且つ永劫不變のものゝ如く思惟せられ、物質不滅原子不變の法則を固執する習慣なりしも上述の如く物質乃至原子は必ずしも不變永劫の物にあらずして吾人は舊原子消へて新原子現はるゝ有様を面前に目撃親炙し従て物質に關する思想を一變すべき秋の到來したるを覺ゆるなり。原子變化の最も盛なるは常に U 又は Th の如き重き元素にして崩壞の都度 He ガス 新生するを學びたり。然れ共原子の崩壞現象は一般的にあらずして寧ろ少數の原子量大なる元素間にのみ行なはるゝ現象なるを以て、今物質世界全体に亘りて物質の無常性を語るは聊か早計に失する憾無きに非ず。即ち U, Th, Ac 系に屬する二十三個の元素は α 粒を吐出する毎に新元素に遷り易る故此等は元素中少數の不安定なる種類に屬し他の多數の元素は悉く安定乃至永劫にして從來の思想は其儘に持續せらるゝ價值あるものなりと論定するも何の不可なる事あらん。

依て更に放射体に獨特なる性質を通覽するに此等は悉く不斷變遷の途次に在るものにして、常に或は殆ど重さなき β 粒を放逐し或は原子量 4 なる α 粒を射出し従て此種の元素の原子量は皆互に 4 の整数倍の差を有す、此事實に基づき諸元素の元祖は原子量最大なるものなりと論結するは果して不當なりや。斯く考ふれば寧ろ物質界は統一せられ元素全部は皆互に類縁を有し物質界は諸種元素の相を爲して現はるゝも其實悉く一系に屬するものなりとの感を催ふすなるべし。而して此等の元素は諸相無常の流を辿りて不斷の變遷を遂げ、其壽命にも長短の別あり短きは一秒に達せず長きは數億年に亘り、長命者は有り觸れたる元素の種類に屬し短命者は稀金屬乃至稀元素の部に屬するものと考ふるを得べし。

如上の思想果して正嫡を得たりとせば吾人は覺に (§ 157) に學びたる エネルギーの衰微と同一の事を物質に就ても云ひ得べき理なり、即ち物質界を構成する諸元素は不斷變化して原子量大なるものより原子量小なるものとなり、其反對に原子量小なるものより大なるものに昇級する元素の存在を絶へて發見する能はざるを以て、物質界の大傾向は重き元素より輕き元素に退歩し、又一步を退く毎にエネルギーを輻射して、恰も遠き未來に於て物質全体は一團の He ガスに變ぜんとなつて努力しつゝあるものゝ如し。

今や原子の内景に關する思想も一變せり、原子は彈丸の如く或は水滴の如く想像せられしも原子崩壞の事實に徴すれば内景構造は頗る複雑ならざるべからず。原子は崩壞する毎に比較的少量の エネルギー を失ふ其 エネルギー は早晚然に變ずるものなれ共最初は電氣 エネルギー の形を具ふるを以て適當に之を集むることを得ば少量の電氣 エネルギー を生ずることならん。又 α 粒の速度を光速の $1/20$ と考ふるも之は快速なる砲彈速度の 15000 倍に當る、加之、放射体の多數は崩壞の都度 α 粒を射出し従て 1 瓦の U が一時間毎に輻射する熱量は 10^4 瓦カロリに達す、然るに U が一時間毎に崩壞する量は全部の $17.6 \cdot 10^{-10}$ に過ぎざるを以て 1 瓦が有する全 エネルギー は $5.7 \cdot 10^9$ カロリなり、是れ實に 700 疇の炭素が發する熱量に相當す、此は一例を引きたるに過ぎざれ共他の放射体も各相當の エネルギー を貯ふるものと思惟せざるべからず、而て崩壞する毎に He 原子を放逐する故放射体の原子は He 原子の集合なりと云ふも不可なし。

He 原子は最後の建築材料なりや、He よりも尙ほ輕きものあり水素是れなり、然らば各 He 原子は遂に復た四個の水素原子に分割し得べきものならずやとの思想は ラザフォード の頭腦を專傾し、氏は窒素 ガス を以て充たされたる器中に α 線を射撃し窒素原子より水素原子を射出せしむる實驗を行ひて之を成就せり。其後諸學者の協力により同一の實驗を繰返へしたるに窒素原子より射出せらるゝ水素原子は一氣壓の空氣中に於ても數分 (cm) の距離を潜行する力ありて其エネルギーは射撃したる α 粒の エネルギー よりも一層大量なりと云ふ。尙引續き水素原子逸出の實驗は總計 27 個の元素に就きて行はれしを以て多數の元素は He の形に非ず單獨に H の形に於て水素と含有せるものよることを確せり、

又放射体の崩壊する毎に斯く頻繁に荷電せる He (即ち α 粒子) の射出せらるゝを觀れば He は比較的安定なる元素なること疑ふべくもあらず。

昔者鍊丹家は鉛の如き劣等金屬より黄金を獲んことを夢想して努力せしが (而して此鑿定的本能は今も尙ほ其勢力衰へず) 近代に到り鉛は遂に金に變ぜざりしも、少くとも其道の變化は事實となりて現出せり。

377 原子構造 ガイガー 及び マースデン (Geiger u. Marsden 1909) はレーナード線實驗 (§362) に類似せる實驗を行なひて α 線を薄き アルミニウム板に衝き當らしめしに α 線は無難に金屬板の分子間隙を潜りて板を貫き平行 α 線は僅に散行線となりたるのみにて無難に直線行路を持続するを見たり、嘗て 8000 個に 1 個の割合に於て α 粒の直線進行は妨げられ板の分子の爲に反射せられたるのみなり。此事實より出發し ラザフォードは原子構造に關する一説を立て給へて原子は正荷電を有する粒子と負荷電を有する粒子とより成り、正負等量なるを以て外より見れば無荷電の姿を呈す、然れ共正負荷電は原子内に於て中和して零となれるにあらず寧ろ各分離して存在し輕き粒子は重き粒子を中心とし其周圍を公轉す、而して其中心の重き粒子は He 又は H が集合して所謂中心核を形成せるものなりと。故に上述の實驗に於ては 8000 に 1 の α 粒は偶然此中心核と正面的衝突 (central impact) を爲すこととなり α 粒子の陽荷電と中心核の陽荷電の反撥力に由り斯くも反射せられたるなり。然れ共中心核は小形なるを以て正面的衝突は寧ろ稀有の出來事なりと謂ふべし。中心核の周圍には負荷電の粒子即ち電子は種々の距離に於て纏繞し核を公轉すること恰も諸惑星が太陽を公轉するに等しく、太陽系統の直徑は即ち此小原子の直徑に相當し最遠電子が畫く軌道は核の勢力範圍を示すなり。

中心の陽核が其を公轉する電子に對しては重力作用せずして電氣力のみ作用す、故に電氣引力は求心力の役を務め其反力なる遠心力と釣合を保ちつゝ楕圓運動をなす狀は全然太陽と惑星との關係に異ならず、而て太陽と惑星の距離は其容積に比較して甚大なる如く陽核と電子の大きさに比すれば兩者の距離極めて遠し。通常の有様には原子の陰陽荷電は等量なるを以て全体としては原子は無荷電なるも其實陽荷電は中心核に固著し陰荷電の電子は陽核より離れて公轉しつゝあ

るなり。去れど時機によりては電子は永久に系統を脱出し得るが故に残る系統は普通の原子にあらずして一個の陽粒子に變じたるなり。之に反し系統内に餘分の電子存在するときは陰粒子となる、陽核の荷電は之に附着して不變なれ共荷電量は元素異なるに従て其値を異にし常に電子一個の荷電量に等しき陽荷電 e と元素番號 Z との積に等し、即ち陽核荷電 E は

$$E = Ze \dots\dots\dots (5)$$

番號は $H=1, He=2, Li=3, \dots, U=92$ にして E は此に正比例するのみならず、普通の元素に於ては亦同時に番號數は陽核を公轉する電子の數に等しき理なり。例へば水素の場合には陽核には $+e$ の荷電固著し一個の電子は之を公轉するを以て天文學に謂ふ所の二體問題に相當し電子運動の説明簡單なれ共電子數多き元素の場合には軌道の説明困難なり。然れ共此等の元素間にも多少の法則ありて其關係を了解し易すからしむるなり、即ち空氣の成分元素なる He, Ne, Ar, Kr, Xe は他の元素と化合せず又同元素の數原子集まりて所謂異量體を形成する能はざる性質を有す、此によりて考ふれば上記元素に於ては各陽核は他の元素に優れて強き力を以て電子系統を抱擁せるものなるを想はしむるなり、果然實驗に徴するに此等元素は電離作用を呈せしむること最も困難なる種類に屬するなり。然るに週期表に於て此等の元素群に近接せる第一群に屬する Na, K, Rb, Cs は各唯一の電子を失ひ易き性質を有し從て容易に一貫の陽粒子に變ずるを得るものなり、換言すれば各陽核を公轉せる電子群中唯一個だけ失ふも差支へ無き性質を有するなり。之に反し他側に列せる第七群の元素 F, Cl, Br, I, At は一般に陰性元素として認めらる、其理由は各陽核は電子の定數以外に尙ほ一個の電子を攝取し得るを以てなり、換言すれば此等の元素は其系統内に剩餘の空隙を有して新電子の來を待つものゝ如し、其次に列せる元素群は陽性にして各々二價元素なり即ち容易に二個の電子を放逐する性質を有す、又其次に列せる元素は三價元素なり、順次に斯の如し。

378 ボールの原子模型 前節には主として ラザフォード の原子模型を説明したるが其後典抹人 ボール (Niels Bohr, 1918) は更に之を敷衍し氣體の輝線スペクトラを説明せんが爲め プランク の量子説 Quantum Theory に有

力なる聲援を爲せり。凡そ氣体を ガイスメーター 管内に密閉し之に感應 コイル より来る脈搏式電流を通ずるときは氣體は發光し其元素に固有なる輝線スペクトラを現出す。氣體は何故に斯く發光するか、分子間の相互距離は分子の大きさに比すれば頗大にして分子は互に獨立なりとするも不可無し、故に發光の源因は分子内の原子的振動に因るものなりと思惟せられ來りしも、ボールは、更に一步を進め發光 エネルギー の出所を公轉電子の エネルギー 變化に求めんと試みたるなり。

先づ陽核を中心とし種々の半徑を有する同心球を想像し之を電子のエネルギー層と稱す、然るときは陽核に最近なる層は最少数の電子を有し半徑増すに従て電子數を増すものと想像すべし、此等の層は實在するにはあらず單に了解を助けんが爲に假設したるものにして又電子の軌道の多くは橢圓なり。層の半徑は陽核の引力大なるに従て、即ち元素の原子量大なるに従て小なるべき理なり、故に原子量大なるときは系統電子の數も從て大なるに拘らず原子は比較的小形なるべし。而て各層に屬する電子の公轉軌道の半長軸は皆な同一にして其層の半徑に等し、吾人が §61 宇宙重力の條下に於て學びし如く全 エネルギー は單に半長軸 a に関するのみなるを以て (§61(40)) 同一の層に屬する電子は悉く同一 エネルギー を有する理なり。從て原子 エネルギー に變化無きときは電子軌道の半長軸に變化あるべからず、若し外部より エネルギー 來りて原子に入るときは電子は從來の軌道を捨て半長軸大なる軌道に遷らざるべからず、之に反し原子が エネルギー を失ふときは電子は從前よりも小なる軌道に遷るなり。

電子軌道が圓なる場合に於て陽核の荷電を Q 、電子荷電を e 、軌道半徑を a とすれば引力は Qe/a^2 なり、又電子質量を M 、速度を v 、週期を T とすれば遠心力は Mv^2/a 即ち $Ma \cdot 4\pi^2/T^2$ なる故電子の ケプラー 則

$$\frac{Qe}{M} = v^2 a = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \dots\dots\dots (6)$$

を得べし。然るに光電子現象 (§363) 又は二次 X 線現象 (§372) に於て學びし如く、プランク 量子説によれば エネルギー は原子的構造を有し常に作用量子 h と振動數 N との積 hN の整数倍をなして原子を出入す (§250 ボーラー式説明參考)、ボールは此に獨創的 假説を附加し電子の運動量の能率の積分 $Mv \cdot 2\pi a$ は h の整数倍に等しく

$$2\pi Mva = nh \dots\dots\dots (7)$$

と假定せり、爰に n は或整数なり。(6)(7)より v を消去すれば

$$a = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2 QMe} \dots\dots\dots (8)$$

$n=1, 2, 3 \dots\dots$ に對して $a=a_1, a_2, a_3 \dots\dots$ と定むれば上式より

$$a = n^2 a_1 \dots\dots\dots (9)$$

となる、故に陽核を包む各層の半徑には一定の法則ありて、最小層の半徑を a_1 と定め此に屬する電子の數を 1 とすれば、次ぎの層は $2^2 a_1$ の半徑を有し電子數は 2 なり、 n 番目の層は半徑 $n^2 a_1$ にして 電子數 $=n$ なり。此結果は §250 に於て單に ボールの假定として説きたるところにして同 §の r_0 は爰に a_1 と稱するものと同一なり、依て $V=Nh$ を用ひ同 §(7) を變形すれば振動數 N は

$$N = \frac{Qe}{2ha_1} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

次ぎに (8) より

$$a_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 QMe}$$

又陽核の荷電 Q は電子荷電 e に元素番號を乗じたるものにして (5) により

$$N = \frac{2\pi^2 e^4 M}{h^3} Z \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \dots\dots\dots (10)$$

を得、上式の係數 $2\pi^2 e^4 M/h^3 = R$ を リドベール 數 (§370) と稱す。水素の場合には層の半徑は $a_1 = 0.532 \cdot 10^{-8}$ 厘米なり。 h は作業量子 action quantum 又は プランク 常數と名づけられ hN は エネルギー 量子と稱せらる。

379 橢圓軌道 陽核を抱擁せる n 番目の層の半徑は $a_n = n^2 a_1$ にして其層に屬する電子數 n の裡ち一個は圓にして他の $n-1$ 個は悉く橢圓なれ共何れも同一の半長軸 a_n を有することは前既に説ける如し。故に陽核に最近なる、

従て最小なる層は唯一個の電子を有し其軌道は圓形なり、其次の第二層は半径 $4a_1$ にして電子軌道は一は圓にして他は楕圓なり、第 n 層は半径 $2^n a_1$ にして軌道は n 個あり此等を $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ の符號を用ひて互に區別す、例へば $n=3$ の時の符號は $3_1, 3_2, 3_3$ なり。

楕圓軌道に於ける運動量の能率を求むるには 第六七八圖の O を陽核、 P と A を夫々軌道遠近点、 φ を電子 D の極角 polar angle、 r を導徑 OD の長さ、 s を弧 PD の長さとするれば速度は ds/dt 即ち \dot{s} にして

$$ds^2 = dr^2 + r^2 d\varphi^2$$

故に運動エネルギー E_{kin} は

$$E_{kin} = \frac{M}{2} \dot{s}^2 = \frac{M}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2) \dots\dots\dots (11)$$

位置のエネルギーは (60頁中頃の公式 $C - \frac{kmM}{r}$ に於て $k=1, m=e, M=Q$)

$$E_{pot} = -\frac{eQ}{r} \dots\dots\dots (12)$$

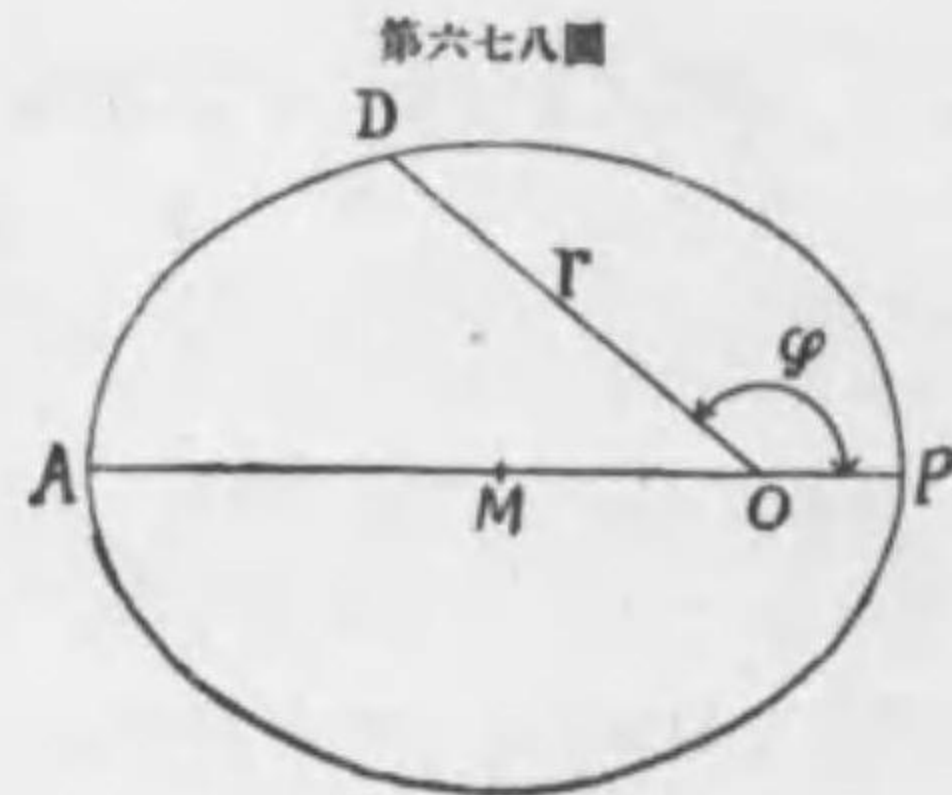
又 r の方向に取りたる運動量は $M\dot{r}$ にして r に垂直なる方向に取りたる運動量の能率は $Mr^2\dot{\varphi}$ なり、故に全軌道に亘りて取りたる運動量の能率は (7) に倣ひて夫々

$$\int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} Mr^2 \dot{\varphi} d\varphi = n_1 h, \quad \oint M\dot{r} dr = n_2 h \dots\dots\dots (13)$$

爰に n_1 及び n_2 は

$$n_1 + n_2 = n \dots\dots\dots (14)$$

の關係を有するものとす。然るに $\frac{1}{2} r^2 \dot{\varphi}$ は導徑が單位時間内に畫く面積に等



しく、此はケプラー第二則により (§58(35)) 常定にして $\frac{\pi ab}{T}$ に等し (T = 公轉時、 b = 半短軸) 故に (13) 式中第一式より直に

$$\frac{4\pi^2 abM}{T} = n_1 h \dots\dots\dots (15)$$

(13) 中第二式を積分するには楕圓の極式 $1/r = p + q\cos\varphi$ より出發し、 e を離心率とすれば 第六七八圖に於て $\varphi=0$ の時 $r = OP = a(1-e)$ 、 $\varphi=\pi$ の時 $r = AO = a(1+e)$ なる故 $p = a(1-e^2)$ 、 $q = ae(1-e^2)$ を得て楕圓の極式は

$$\frac{1}{r} = \frac{1 + e \cos \varphi}{a(1 - e^2)} \dots\dots\dots (16)$$

となる、依て

$$\frac{dr}{rd\varphi} = \frac{e \sin \varphi}{1 + e \cos \varphi}$$

故に

$$Mr = M \frac{dr}{d\varphi} \dot{\varphi} = \frac{2\pi abM}{T} \cdot \frac{dr}{r^2 d\varphi}, \quad dr = \frac{dr}{d\varphi} d\varphi$$

を得て代入すれば

$$\frac{2\pi abM}{T} \int_0^{2\pi} \frac{e^2 \sin^2 \varphi}{(1 + e \cos \varphi)^2} d\varphi = n_2 h$$

故に (15) を代入して

$$\frac{e^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2 \varphi}{(1 + e \cos \varphi)^2} d\varphi = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots (17)$$

上式の左側を積分すれば $1/\sqrt{1-e^2} - 1 = n_2/n_1$ を得、即ち $n = n_1 + n_2$ となり

$$1 - e^2 = \frac{n_1^2}{n^2} \dots\dots\dots (18)$$

(11) (12) によりて表はされたる兩 エネルギー の和 W は常定にして時間に無關係なり、依て兩式を變化し $b^2 = a^2(1 - e^2)$ なるを記憶するときは ケプラー 第三則に依り

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2 M}{\epsilon Q} \dots\dots\dots (19)$$

及び

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{h^2}{4\pi^2 M \epsilon Q} (n_1 + n_2)^2 = a_1 n^2 \frac{\epsilon}{Q} \\ b &= \frac{h^2}{4\pi^2 M \epsilon Q} n_1 (n_1 + n_2) = a_1 n_1 n \frac{\epsilon}{Q} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

此に由りて楕圓の長短軸定まる、爰に a_1 は $n=1$ なる時の a の値なり。又 エネルギー の和は

$$W = E_{kin} + E_{pot} = \frac{\epsilon Q}{a(1 - e^2)} \left(\frac{1 + e^2}{2} - 1 \right) = -\frac{\epsilon Q}{2a}$$

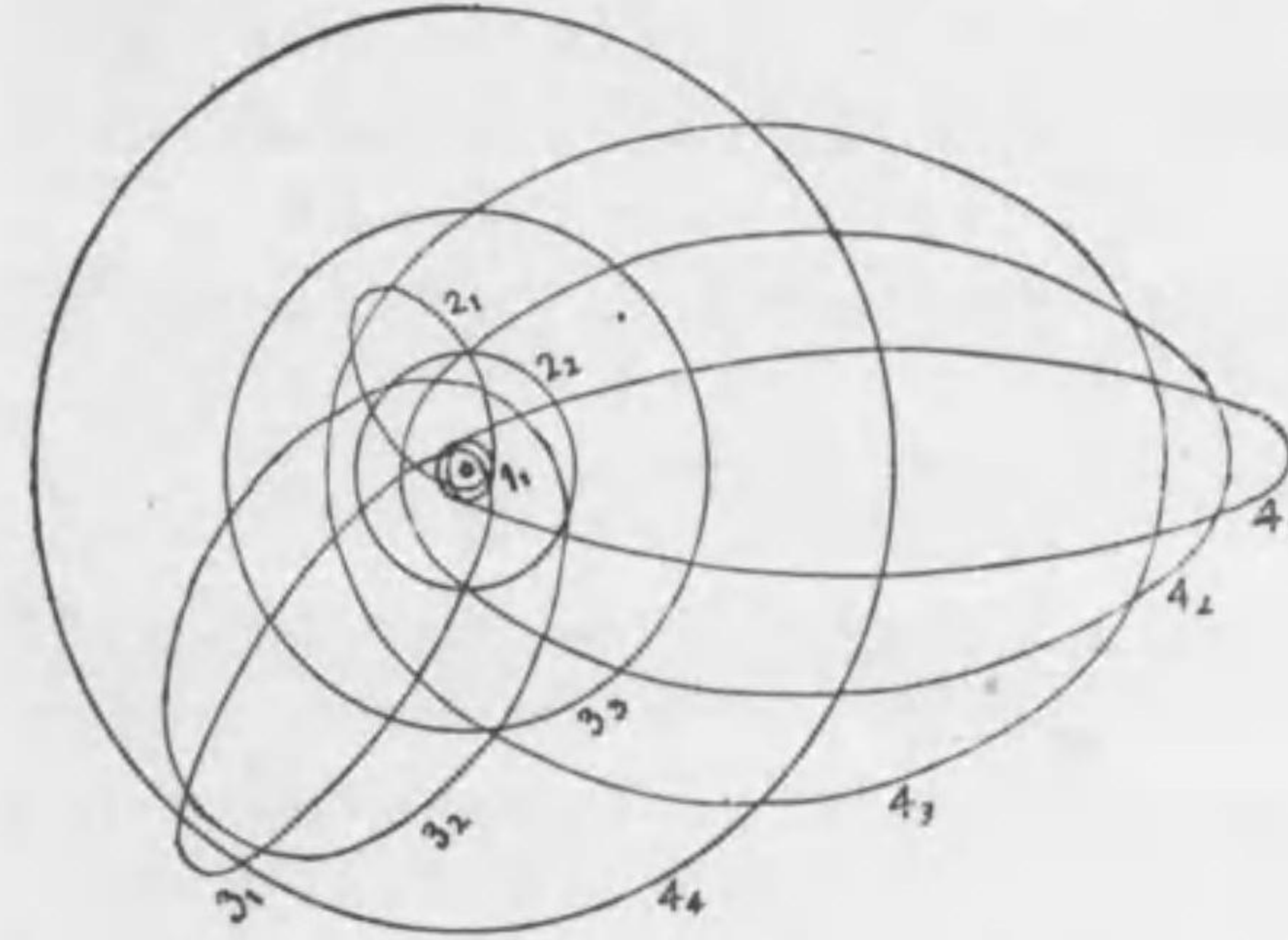
之に (20) より a を代入すれば

$$W = -\frac{2\pi^2 M \epsilon^3 Q^3}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -\frac{R h}{n^2} \left(\frac{Q}{\epsilon} \right)^2 \dots\dots\dots (21)$$

(20) の a と (8) の a とは同一なるを以て楕圓軌道の半長軸は圓軌道の半徑に等しきを悟る、又 (21) は離心率 e を含まざるを以て同層に屬する總べての電子は同一 エネルギー を有するものなるを知るなり。

n_1 と n_2 は各整数なるを以て與へられたる n に於ては楕圓の數に制限あること明なり。例へば $n=3$ の場合を考ふるに $n_1 + n_2 = 3$ を満足せしむる n_1 及び n_2 の値は第一、 $n_1=3, n_2=0$ 、此は水素原子の場合には $9a_1$ なる半徑を有する一個の圓となる。第二、 $n_1=2, n_2=1$ 、此は (20) により $a=9a_1, b=6a_1$ の楕圓なり。第三、 $n_1=1, n_2=2$ 、此は $a=9a_1, b=3a_1$ の楕圓なり。以上三個にして $n_1=0, n_2=3$ の場合は電子は陽核と衝突するを以て採用すべからざるなり。第六七九圖は $n=1, n=2, n=3, n=4$ の四層を示す、陽核は常に焦点に位し各層は同廣袤を有する球形を成さず、層數は單に位數を示す方便たりしのみ。第一層

第六七九圖



は一個の圓軌道を有する電子を含む、第二層は 2_1 と 2_2 の符號を有し夫々楕圓と圓に於て公轉する電子を含む、半短軸 b の比は 1:2

なり。同様に第三層軌道の半短軸の比は 1:2:3 にして符號は $3_1, 3_2, 3_3$ なり、以下之に準ず。

軌道の諸点に於ては速度同じからず即ち近点に於て迅速にして遠点に於て徐行す何となれば導徑は ケプラー 第二則に遵ひ等時に等面積を畫くを以てなり、然るに §335 に説きし如く電子の質量は其運動速度の函數なるを以て惑星攝動 perturbation の如く電子に攝動を生じ軌道之が爲に徐々に回轉し四萬回の公轉を重さぬれば軌道は一回轉する割合なりと云ふ。

上に陳べたる楕圓軌道回轉説は水素の紅部に顯はるハ線 $H\alpha$ の構造を説明せんが爲に Sommerfeld の創案せし所に係る。

上説の如く電子の軌道は數多の エネルギー 層に分類せられ陽核に最も接近せる層は基礎強固なるも陽核を距るに従て電子は外來の誘因に制御せられ易くなる理なり。電解液内フ イオン は即ち此最外層に於ける電子の過不及に基くものなるべし、化學の原子價は殊に此最外層の消息を漏らすものと謂ふべし。原子が光を發射するも同様に外層の預るところにして陽核の重量には無關係と見へ同棲元素は其重さを異にするに拘らず同一輝線の スペクトラ を生ずるなり。然れ共線スペクトラ は最初内層より發射せらるゝものと信ぜらる、此も同棲元素は同一

の輝線を發するは陽核の重さに開せず單に荷電の大小に據ることを證するものなり。之を要するに各層は其 エネルギー を異にせるを以て電子が一層より他層に移るは常に原子が外來の エネルギー を吸收するか但しは自体の エネルギー を外方に發射するときに生ずる現象なり。原子構造説は斯の如く最初ラザフォードにより唱道せられし以來 ボール、ソムマーフェルトの手を経て益々複雑となりしも今日尙ほ未だ完成の域に達したりとは謂ひ難し、是れ畢竟物体の發光作用が從來の物理學によりて満足に説明せられざるに依る。

380 陽 核 原子は陽核及び電子群より成立すれ共電子は輕きを以て原子量は主として陽核の重量によりて定まるなり。既述の如く發光作用、化學反應等に於ては陽核は參與せざれ共放射能、原子量、 α 線に依る原子の破壊、 α 及び β 線の運動に與ふる影響等に於て始て陽核の勢力を認むるなり。殊に放射能に於ては α 線を放出する毎に放射体は原子量4を減ず、而してHeの原子量は4なる故陽核はHeの集合なりと云ふも不可なし。

陽核が一個の α 粒子を失ふときは陽荷電の二個單位を失ふて原子内の電氣的釣合破るゝが故引續き二個の電子を射出する必要を生じ結局原子は變化して原子表中の他の位置を占むるものとなる、又 β 線發射の爲にも原子は變化し得るを以て考ふれば β 線は中心核より出づるものなることを想はしむるなり。又Heの原子量は水素原子量の4倍なるを以てHeは水素の集合なりと考へられざるに非ず、且つ水素一個を陽核となせるものあらば是れを陽核中の最小者なり。

381 光の粒子説 原子構造及び模型に關する諸説はスペクトラに現はるゝ輝線排列の狀及び構造等を説き得て神妙なりと云へ共此等諸説は原子崩壊とは直接の關係無きのみならず、物体の發光作用は電子が一層より他層に遷りて原子のエネルギーを減じ、其減じたるエネルギーは量子説の規定に従て外部に輻射するものなりと説くを以て發光体内には原子崩壊の現象行はれざるものと假定せり。然るに§356にて學びたる如く氣體を電離せしむるには種々の方法あり、殊に高温發光体附近の空氣中には電離現象旺盛なる事實に鑑み原子は不斷崩壊しつゝ α 線乃至 β 線を放射するものとも考ふるも不可無からん、果して然らば發光体

が輻射する エネルギー は波動の形狀に於てせずして寧ろ放射せられつゝある陽粒子及び電子が携帶するものなりと想像するを至當とす。彼の光電子及び熱電子の作用を見るに電子は一物体より他の物体に エネルギー を運搬する任務を果しつゝあり。

昔者 ニュートン は白色の日光は七色なる微粉の混合なりとの説 (Emission Theory of Light, 1669) を唱へたれ共此は當時物理學的智識の尙ほ幼稚なりし時代に相應しき説にして、ホキヘンス が其よりも以前に波動説を開拓したるこそ寧ろ偉大と評するの外なし。若も現代に於て光の粒子説 Corpuscular Theory を唱ふるの必要ありとせば、そは現代の陽粒子と電子とを交互に等距離に並べて之を光線と稱し、電子と電子若くは粒子と粒子との距離を波長と名づけ、平行光線間の距離の逆數を振幅とし、反射屈折現象は之を電離によりて生じたる球形線干涉の結果として位相の一致せる波面に垂直に進行する粒子電子の列によりて説明するの外なし。粒子説によれば半波長の差によれる光の干涉は直に陰陽粒子の重さなりて中和することによりて説き得べし。若し夫れ偏光現象に到りては光線に垂直なる諸方向に於ける粒子排列の狀を加減すれば可なり。

量子説によれば エネルギー は原子的構造を有し必ず最小限量の整數倍に於て現はる、故に量子説の意向は光の粒子説に傾くものにして光の エネルギー は其波動の エネルギー に非ずして寧ろ粒子に附帶し粒子と共に移動するものとも考ふるを得べし、殊に後篇に述べんとする マイケルソン 實驗の不可思点も粒子説によりて容易に解釋するを得るなり。

第七編

エーテル及び相對説

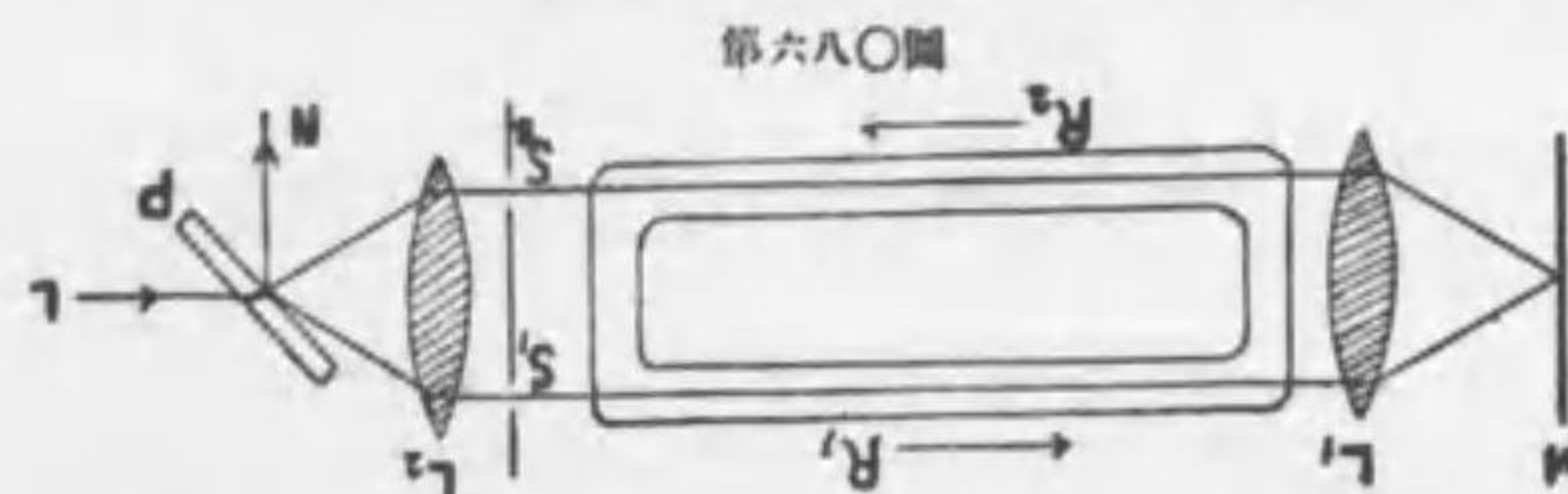
ETHER AND RELATIVITY

382 エーテルの存在 宇宙の全空間に瀰漫し物体の内部を充填する精氣は星長の光輝を吾に齎らし又透明体を貫きて其彼方に光を送らしむるの媒介を爲すものなりとの思想は アリアストートル が初て學界に輸入したところなり、其後 ホキヘンス が光の波動説を唱ふるに及び光熱線の傳播の媒質として益々其必要を認定せらるゝに到れり。マクスエルは光熱現象を電磁波動として説明したるも尙 エーテル の必要に於ては聊も減少するところ無くして今日となれり。然るに性質上より論ずれば世に エーテル 程矛盾に富みたるは他に比類無し、抑光熱線は横振動なるを以て之を傳播する媒質は固体ならざるべからざるに、エーテルは § 162 (8) のエネルギー式及び傳播速度式 $V = \sqrt{\frac{E}{\mu}}$ (但し E = 弾性率、 μ = 密度) より計算するに其密度は淡然として 10^{-20} 内外のものなるべきを以て到底之を固体とは見做し難し、又電磁波により光熱を傳播するものと假定する場合に於ても エーテル は其荷電が釣合の位置より變位したるとき中心力を發生するに足るべき弾力を具有せざるべからず、斯く稀薄なる媒質が斯く大なる弾力を有すべしとは思はれ難し。故に エーテル は一方に於ては必要物なれ共其と同時に他方に於ては萬事明瞭と精確を期せる物理學中に保留せられつゝあることを遺憾とせし物理學者も尠かざりしなり (ポアンカーレ曰く物理學の理想とするところは エーテル 無くとも克く物理現象を説明し得るに在りと)。

此にも係らず物理學者は永らく エーテル を保留し來りたるを以て其性質上より生ずる種々の撞着を避けんが爲に行ひたる實驗中次に記するものは極めて大切なものなり。

383 フェゾー實驗 (Fizeau 1851) エーテル は光波の媒介者にして光が光源を出發し他の物体に來るまでは暫く光波を宿す故 エーテル 若し運動せば

光波に異狀を呈すべきなり、例へば透明体が運動すれば其透明体を填充せる エーテル も共に動くものとせば光の進行速度は此が爲に變化を呈せざるべからず。フェゾー は同一光源より出づる二條の光線の一を光と同一の方向に運動せる水中を潜らしめ他を其反對の方向に潜らしめて後互に干涉しめ、依て生ずる干涉斑紋を吟味せり。其法 (第六八〇圖) $R_1 R_2$ なる矩形のガラス管内に矢の方向に



水を流動せしめつゝ L_1 より日光を送りレンズ L_2 を経て後細

より長さ l なる水中 R_1 及び R_2 を通過し L_1 なるレンズを経て平面鏡 M に於て反射し R_1 より來りしものは R_2 より歸り R_2 より來りしものは R_1 より歸り、夫れ $S_2 S_1$ を過り L_2 によりて 45° に傾けるガラス片 P の面上に反射して N に來る。若し管中の水靜止せば細隙 S_1 及び S_2 を漏れて水中を通過する二光線の行差は零にして位相同一なる故 N に生ずる斑紋は中央に極大を生じ左右に等距離の暗線を得ること § 273 のフラウンホーファー廻折實驗の如くなるべし、而て水の屈折率を n とし光速を c とすれば各光線が水中を旅行するに要せし時間 t は $2l \times \frac{n}{c}$ に等し。今圖中矢にて示せる方向に v の速度にて水を流動せしむれば、細隙 S_1 より管内に入りし光は水の運動する方向に進行するも S_2 より入りし光は之に反對に進行する故、光の往復時間は夫れ

$$t_1 = \frac{2l}{\frac{c}{n} + \mu v}, \quad t_2 = \frac{2l}{\frac{c}{n} - \mu v} \dots\dots\dots (1)$$

爰に μ は水の運動が光波の速度に與ふる影響を示す係數にして フレネルの研究によれば

$$\mu = 1 - \frac{1}{n^2} \dots\dots\dots (2)$$

なり。依て第一位の微量のみを保存するときは時間の差は

$$t_2 - t_1 = \frac{4l\mu n^2}{c^2} = \frac{4l(n^2 - 1)v}{c^2} \dots\dots\dots (3)$$

故に管内を進行したる後二線 N に來り互に干涉して生ずる班紋の形は水が静止せる場合と同一なれ共管全部は其儘左又は右に其位置を偏するなり。其變位を計算するには T を光の振動週期とすれば $cT = \lambda$ なるゆへ (3) より

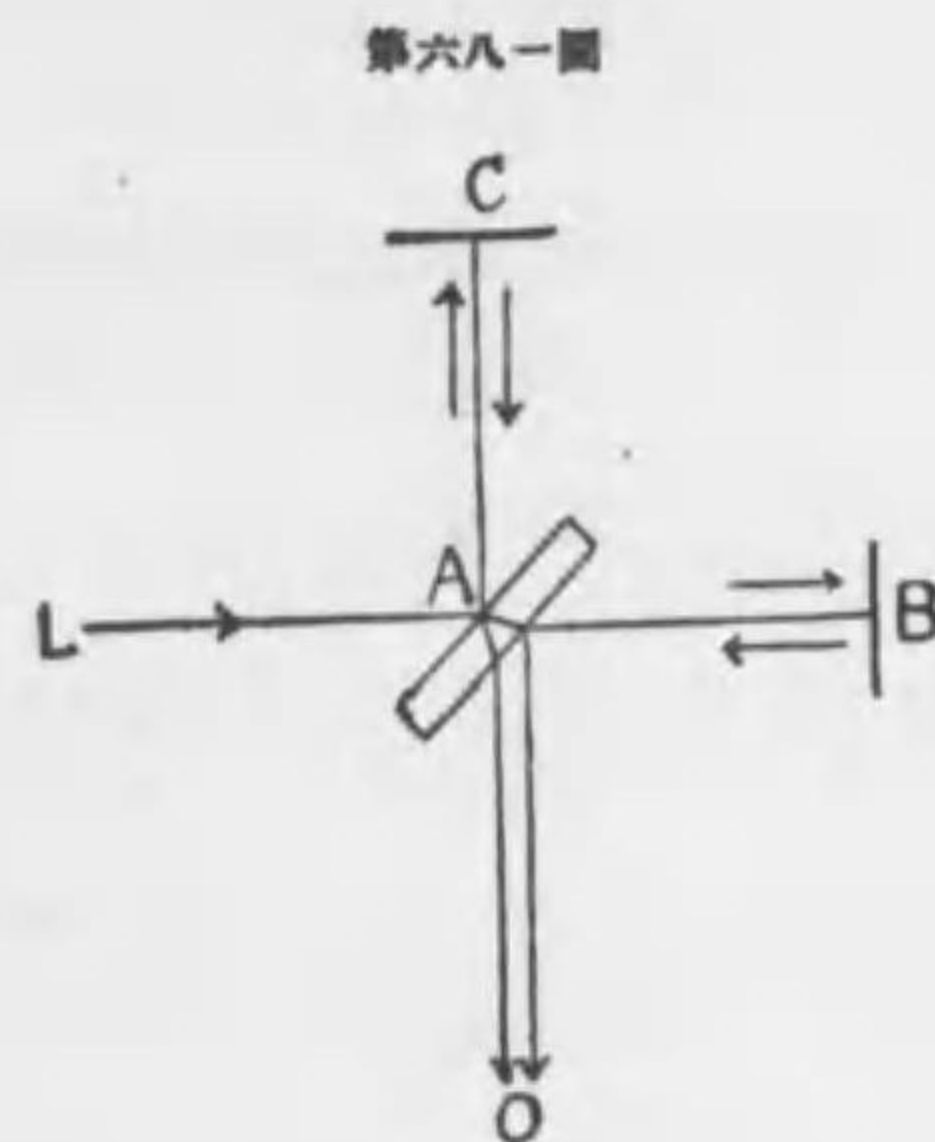
$$\frac{t_2 - t_1}{T} = \frac{4l(n^2 - 1)}{\lambda} \cdot \frac{v}{c} \dots\dots\dots (4)$$

此値は班紋間の距離の何分の一を變位したるかを示すなり。フキゾー 實驗に於ては $l = 1.49$ 米、 $v = 7.06$ 米/秒なり、之に $n = 1.333$ 、 $\lambda = 0.53$ ミクロンを附加し (4) に代入すれば變位は班紋間距離に對して 0.203 となる、然るに實驗は 0.23 を與へたり。其後 (1886) マイケルソン 及び モーレー は同一の實驗を一層精巧なる装置にて行ひしに殆ど同一結果に到着せり。又流動する水の代りに 25 米の速度にて空氣を流動せしめしに班紋の變位を認むる能はず、是れ空氣の屈折率少量なるを以てなり。

フキゾー 等の實驗の正常なる結論として吾人は流動する水は多少 エーテルを伴ひ行くものなれ共空氣は全く其力を缺くものなるを悟る。

384 マイケルソン實驗 マイケルソン は更に一步を進め地球が太陽を公轉する年動に於ては静止せる エーテル に對し地球は相對運動を爲せる故運動の方向に於ける光速と其反對に於ける光速とに差違を生ずるや否やを試験せんと企てたり (1881)。若し エーテル は地球と共に運動せるものならんには光速は何れの方にも同一なるべきは明白なり、然れ共光の行差現象 (§206) は全然地球と エーテル の共動を非定す。之に反し エーテル は空間内に静止し地球は其中を運動するものとせば フキゾー 實驗と同一結果に到着すべき理なり。

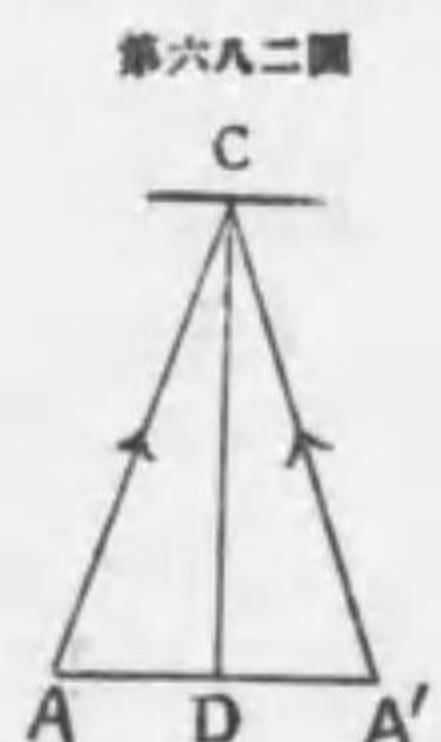
マイケルソン は マクスエル の發起に従ひ次の實驗を行へり。(第六八一圖) 光源 L を出で地球速度の方向 LA に進行する光線は其行路に 45° の傾角を有せる、半ば鍍銀したる平行 ガラス 板に入射し、別れて二條となり一は同一の方向に AB を進行し他は反射して今迄の方向に垂直に AC に向ふ、何れも同一の



距離 l に於て夫々鏡 B 及び C に入射し此より反射して再び ガラス 板 A に歸る、故に AO の方向に進む光線は元と同一光源 L より發したるも途中の履歴を異にせる二種の線より成立すべし、此二種線は互に干涉し AO に垂直なる平面上に干涉班紋を生ず。今 v を地球の速度とすれば地球は AB の方向に運動せる故光が A より B に達する相對速度は $c - v$ なり、之に反し光が B より A に歸る相對速度は $c + v$ なり、故に AB を往復する時間を t_1 とすれば

$$t_1 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} = \frac{\frac{2l}{c}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) \dots\dots\dots (5)$$

次に AC を往復する時間 t_2 を計算するには光の方向は LA に垂直に非ずして鈍角なることを記憶せざるべからず、即ち第六八二圖に示せる如く A を出立したる光が鏡に到着する時刻に鏡は地球運動の爲 C に来る、光が C より反射して ガラス 板に歸る時刻に ガラス 板は A' に在り。今 A が A' に来る時間を t_2 とすれば



$$AA' = vt_2, \quad AC = CA' = \frac{1}{2}ct_2, \quad CD = l$$

故に $c^2 t_2^2 / 4 = l^2 + v^2 t_2^2 / 4$ 即ち

$$t_2 = \frac{2l}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) \dots\dots\dots (6)$$

斯の如く二個の鏡より反射して歸る時間に遲速あり、従て O 点(第六八一圖)

附近に生ずる干渉班紋は右又は左に偏すべし。今此干渉計装置を載せたる机を一直角丈け回轉するときは地球運動の方向は CA (第六八一圖) と合し AB は之に垂直となるを以て B と C の兩鏡は其役目を交換し O 点附近の干渉班紋は曩の反對の側に變位するなり、故に前後二回の實驗に於ける時間の差は次の如く二倍の値を有す

$$2(t_1 - t_2) = \frac{2l}{c} \cdot \frac{v^2}{c^2}$$

之を (4) 式の如く λ/c にて除ずるときは班紋間の距離に對して變位を示す分數は

$$\frac{2(t_1 - t_2)}{T} = \frac{2l}{\lambda} \cdot \frac{v^2}{c^2} \dots\dots\dots (7)$$

マイケルソン 實驗に於ては $l=11$ 米, $\lambda=0.59$ ミクロン, $v=30$ 軒/秒 即ち $v/c=10^{-4}$ 、之を上式に代入すれば

$$\frac{2l}{\lambda} \cdot \frac{v^2}{c^2} = 0.37$$

となるべき筈のものなり、若も エーテル が全く空間内に静止せるものならば地球は實驗臺を携へて其中を 30 軒の速度を以て進行する故前後二回の實驗に於て干渉班紋は左右に 0.37 の割合に變位すべき筈なるも (而て マイケルソンの裝置は 0.0037 の變位をも觀測するを得せしむと云ふ) 何等の變位を目撃する能はずして果れり。此れ實に ファゾー 實驗の結果の反對にして、彼は即ち エーテルの絶對静止を證明し此は即ち エーテル は實驗室の空氣と共に運動するを證明するに外ならず。然るに エーテル は静止せずして實驗臺と共に運動するものと假定すれば忽ち前出の如く光の行差現象と衝突するを以て、此難局を避けんが爲にローレンツ (Lorentz) 及び ファツゼラルド (Fitzgerald) は物体の長さは其運動の方向に於て $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$: 1 の割合に短縮するものならんと假定せり、即ち $l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ を (5) の l の代りに書くときは直に $t_1 = t_2$ を得べし、之をローレンツの短縮説と稱す此短縮説は其後遂に賛同者を得る能はざりき。

其後 マイケルソン は (1885) モーレー と共に此實驗を繰返し更に 1905 年 ミラー 協力の下に繰返して何れも同一結果に達せしゆへ、もはや疑問の存すべき理由無きが如く視へたるに 1924 年九月に於ける二百二十七回の實測と 1925 年の一千六百回の實測とにより ミラー は遂に若干の班紋變位を目撃せり、故にエーテルの動不動に關する矛盾の存在は未だ確定せりと云ふ能はざるなり。然るに ミラー 最近の決定的實測に先立ち 1905 年 アインシュタイン は彼の有名な相對説を唱導せり其大意は次章に説く如し。

385 アインシュタインの特別相對説 ファゾー 實驗によれば地球が運動するとき エーテル は静止す、マイケルソン 實驗によれば エーテル は恰も地球と共に動くが如し。此兩人の實驗は何れも信用に値ひするを以て勢ひ爰に大矛盾を生ず、アインシュタイン は此の難問を解く唯一の方法として エーテル の存在を非定せり。然るに エーテル 消失すれば光熱の傳播を説明する爲に物理學が永らく信頼せし エーテル 波動説をも同時に放棄せざるべからず、爰に於てかアインシュタインは一種の光線粒子説を採用するの己むなきに到りしと同時に亦従来のエーテルを全然思切る能はずして重力を傳播する媒質として果た空間の重みを代表する物として之を保留したれ共アインシュタインの エーテル は熱光の波動を傳播する能力を缺ぐものと知るべし。

抑物体の直線等速運動は他の一定点に對して云ふものにして其一定点が果して絶對に静止せるや否やを確むる能はざる間は物体の絶對運動を知るに由無く從て運動に關する吾人の智識は萬事相對的なことはガリレオ、ニュートンは云ふに及ばず印度哲學希臘哲學の昔時より知れ渡りたる事件なり。力學に於ても運動と同様に直線等速運動を爲せる物体には外力作用せざるなり、故に外力作用せざるときは物体は如何なる直線等速運動を爲すも力學の同一方程式を満足せしめ得べし。物体が曲線運動か等速圓運動か或は加速運動を營むに到りて爰に初て外力の作用を要求することゝなる。依てアインシュタイン は此相對則と マイケルソンの實驗とより出發して次の二個條を提出せり。

第一、一の靜系に於ける物理法則は此に對して直線等速運動を有する動系の物理現象に其儘適用するを得。

第二、光の速度は静系に於て之を測るも又此に對して直線等速運動を有する動系に於て測るも常に同一なり。

此第一前提は從來力學に於て承認したりし原則を物理の諸現象に擴張したるものなり、第二前提は甚しく常識に動搖を與ふる假定にして全くマイケルソン實驗の要求を充たさんが爲に案出せられたるに外ならず。

静系と動系に於ける座標と時間と光速との關係を知るには静系内に互に垂直なる三軸 xyz を設け動系にも夫々此と平行に $x'y'z'$ を設け x 軸は常に x' 軸と重なりつゝ、 v なる相對速度に於て兩系は互に相離ると假定し、又静系動系に於ける時間を夫々 t 及び t' にて示す。偕て静系に於ては起点を出發したる光は t 時後に $x^2+y^2+z^2=c^2t^2$ なる球面上に傳播し動系の起点を出でし光波は t' 時後に $x'^2+y'^2+z'^2=c^2t'^2$ なる球面上に傳播す、然るに静系と動系の物理現象は全然同一なるべきを以て(第一前提)次の恒同式成立す

$$x^2+y^2+z^2-c^2t^2 = x'^2+y'^2+z'^2-c^2t'^2 \dots\dots\dots (8)$$

兩系は v なる相對速度に於て互に離るゝ故動系の起点即ち $x'=0$ 点は静系より見れば $x=vt$ の運動をなすなり、故に次の同時式を得

$$x'=0, \quad x=vt \dots\dots\dots (9)$$

$x'y'z't'$ を xyz の函数として表示する式即ちローレンツ轉換式を得るには先づ

$$\left. \begin{aligned} x' &= ax + bt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= mx + nt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

と置きて常數 a, b, m, n を求むべし、其法上式を(9)に代入して $x'=0$ 点即ち $ax+bt=0$ 点は $x=vt$ の運動を爲すにより先づ $b=-av$ を得、之を $x'=ax+bt$ に代入すれば $x'=a(x-vt)$ なり、此結果と(10)中 t' の値を(8)に代入すれば

$$a^2(x-vt)^2 + y^2 + z^2 - c^2(mx+nt)^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$$

は恒同式なるを以て x 及び t の係数は等號の兩側に於て夫々同一ならざるべからず、即ち

$$c^2m^2 = a^2 - 1, \quad c^2mn = -av, \quad c^2n^2 = a^2v^2 + c^2$$

依て三式より

$$a = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad b = -\frac{v}{c^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad m = -\frac{v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad n = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

故に(10)に代して次の轉換式に到着す

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t-\frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \right\}$$

其逆法は v の符號を反對にすべし即ち

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{x'+vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{t'+\frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \right\}$$

此八式中重要なものは第一第四なり、此を基として物理現象を判定せんとする時は常に非常識なる結果に陥るを免れ難く、常識に歸らんと欲せば $v=\infty$ と置くの

外なし。今一例を挙げんに或瞬時 t に於て静系の一点 M が動系の一点 M' と一致したりとせよ、然らば静系の観察 A は $OM=x$, $O'M'=x-vt$ 従て $OO'=vt$ なりと判定すれ共動系の観察者 A' は $O'M'$ を測りて x' なりと固く信ず、即ち第一式により $1/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ の比に膨大して視へつゝあるなり。此に較ぶれば第四式は法外に非常識なり、即ち最初 O と O' が一致する瞬時に於ては各系の起点 O 及び O' は静系に於ては $x=0$, $x'=0$, $t=0$ 又動系に於ては $x=0$, $x'=0$, $t'=0$ によりて與へらる、而て静系の起点に立てる観察 A は動系上の一点 M' が己が位置と一致せる瞬時は t 時なりと信じ動系の M' 点に立てる観察者 A' も其瞬時は t 時ならんと思ひ居れ共其實は t' 即ち $t/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ にして t よりは少し長し。

特別相対説の種々の結論中二三を挙げば、先づ宇宙間には光速よりも大なる速度は存在すべからず、何となれば $v > c$ なる場合には轉換式の左側悉く虚数となるを以てなり、然るに §256 變則分色に於て學びたる如く真空に於ける光速の 27 倍の速度の存在を記憶せざるべからず、此に對し ソムマーフェルド (Sommerfeld 1907) が與へたる説明なきに非ざれ共重力傳播の如き殆ど無限大に近き速度を有する現象を如何にして説くべきか。次に運動せる物体の形狀は其幾何學的形狀と同一ならず、例へば物尺を動系の x' 軸に沿て置き其兩端の座標を x'_1 及び x'_2 とし其長さを l' とすれば、 $l'=x'_2-x'_1$ は動系上の観察者 A' の是認するところなり、此時静系に於ても此物尺の兩端に相當せる二点に立てる観察者 A_1 及び A_2 の眼には兩端の座標は夫々 x_1 及び x_2 にして物尺の長さ l は $l=x_2-x_1$ なるを認むるなり、然るに第一式により $x'_2-x'_1=(x_2-x_1)/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$, $l'=l/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ なるを以て静系より見れば運動せる物尺は其幾何學的長さ l よりも短く見ゆる理なり、同様の物尺を静系に安置し之を動系上の観察者に見せしむるときは矢張同じ割合に短縮して視ゆべし、是れ曩に ファッゼラルド 及び ローレンツ の短縮説と稱したるものに相當すれ共説明法は素より同一に非ず。之を要するに相対説の結論として相対速度、ドップラー 則、光の行差等の諸式及び同時 simultaneity の觀念は悉く少許の修正を要するなり、其他質量及び運動の エネルギー に関しては §365 に既述せり。

吾人が §381 に述べし如く エーテル を捨つるも光の粒子説を採用せば容易に マイケルソン 實驗の難問を解釋し得るなり、何となれば粒子は質量を有するが故に亦慣性をも、故に地球と共に v の速度に於て運動しつゝある光源の光は其方向に $v+c$ の傳播速度を有することゝなるべし、換言すれば粒子の運動は等速運動をなしつゝある箱内に於ける彈球の運動に髣髴たるものなり、又ドップラー 則に於ても恆星が吾人に接近する時の粒子の速度は $c+v$ にして遠ざかる時の速度は $c-v$ なるを以て従來の公式と同一の式に到着す。光の行差現象も粒子説を採用することによりて何等の修正を加ふるを須むざるなり。若夫れミラー 最近の實驗が示す一秒九千の相對運動に到りては空間内に静止せる稀薄氣體が粒子に與ふる少許の抵抗により説明し得べく、又 ファゾー 實驗も流動する水が粒子に與ふる摩擦に依りて説明するも不可なし。

386 アインシュタインの一般相対説

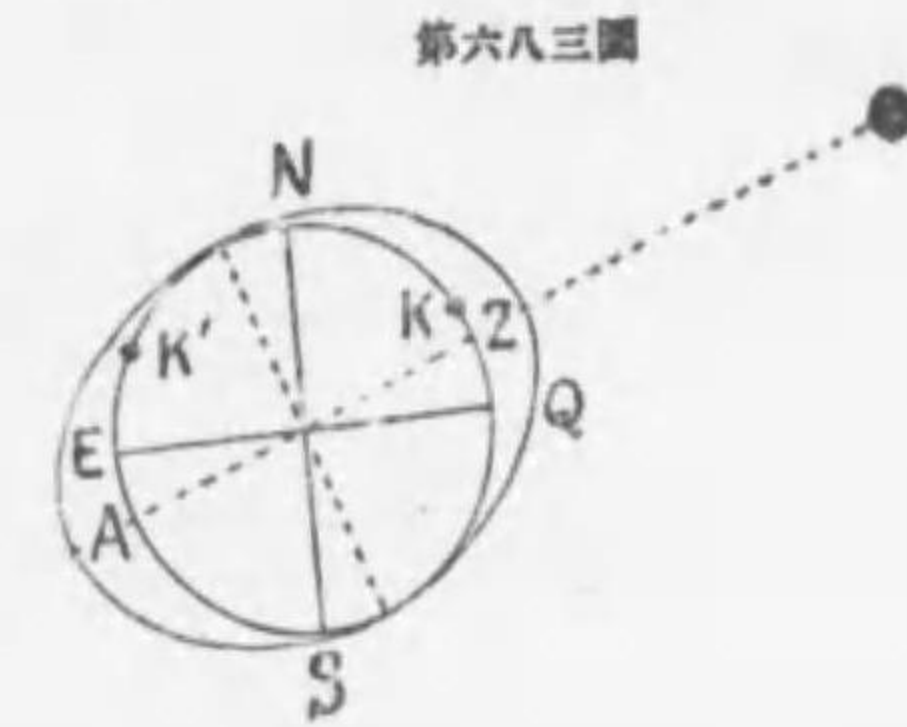
特別相対説は等速直線運動に關するも、今畧述せんとする一般相対説は加速運動に關するなり。空間中重力の作用せざる所へ箱形の室を持行き天井に繩を著け上方に γ の等加速度を有する運動を與ふると假定すれば其結果は如何、室内の物体は皆な床の上に γ の加速度を以て落下し各 $m\gamma$ の重量を以て床を壓すなるべし、試に側壁に孔を穿ち外部より床に平行に室内に石を投ずれば石は拋物線を書きて床上に墜つること地上に於けるが如くならん、又試に外部より其穿孔を過り床に平行に光線を送らば光も石と同じく管僅に曲りたる拋物線を書きて對壁に衝突し其速度は床に平行に c 床に垂直に γl の分速度を有し、合速度 $\sqrt{c^2+\gamma^2 l^2}$ は光速 c よりも大にして特別相対説の前提に抵觸す。

アインシュタインの論法によれば重力も土地の加速運動によりて生じ全く物体の慣性に基づくなり、従て地球自轉によりて生ずる遠心力も地球は静止して天体が左旋すると考へし コペルニカス 已前の思想にて説き得べし、換言すれば重力も遠心力も相對加速度の結果に外ならずと。他の点に於ては相對説の有力なる賛同者として知られたる Weyl も此結論には反對なり。總じて重力の作用する場處、例へば地球面或は太陽面の附近に於ては空間は歪を有し上陳の如き相對加速運動行はれ此が爲に太陽面に平行に進行する光線は恰も太陽に引かるゝ如く太陽

の方に曲がるなり、此は加速運動を爲せる室内に光線を導く實驗を考ふれば明白なりと。光線の引力を實驗するには皆既日蝕時の太陽附近の恆星を寫眞し諸星皆な太陽半徑に沿ふて其中心より遠ざかりて變位せるかを吟味すべし、現に 1919 年五月 ブラジル 日蝕の際此種の寫眞を把りしに豫言通り $1.7''$ の變位ありたりと稱すれ共分明なりとは言ひ難し。アインシュタイン 説は非 イウクリッド 幾何學及び ミンコウスキ の四次元 (xyst) の諸論を借り來りて自説を擁護し上記結論の外に尙從來天文學の難問なる水星軌道長軸の回轉及び遠處に在る恆星のスペクトラ 線が紅方に變位する問題等に関して種々言説を爲せり。

拾遺

64 潮汐 生潮体は洋水の $\%$ と A に (第六八三圖) 滿潮を生ず然るに生潮体は必しも赤道 EQ 面の延長上 (即ち天の赤道上) に在らずして月は赤道の南北 29° の間、太陽は 24° の間を徘徊するを以て觀測所 K には滿潮大なれ共 K が半日後地球自轉の爲に K' に來るときに生ずる滿潮は甚だ小なり、K に於ける潮を表潮 zenith flow. K' に於けるを裏潮 nadir flow と稱す、表潮と裏潮は一般に其大きさを異にす。



月の生潮力は太陽の 2.27 倍なるを以て日月地の三体が同一直線上に來る時即ち朔望の頃は兩力の位相一致して潮は甚だ大なり之を大潮 spring tide と名づく、之に反し上弦下弦の頃は月の滿潮と太陽の干潮とが同一所に生じ潮は分力の差となるを以て小潮 neap tide を生ず、其大きさの比は $2.27+1:2.27-1$ と見て可なり、夏期の月は地球に近きを以て夏期の大潮は一層大なり。

海底の摩擦等の爲に洋水は直に生潮体の直下に累積する能はずして月が港の子午線を經過したる若干時後に滿潮を生ず、此後れる時間を潮候差 establishment と稱す、所々に於て異なり。

116 氣體方程式 m を氣體の分子量を示す瓦數に等しく取るとき、換言すれば m を一瓦分子 gram-molecule の氣體の質量とするときは (例へば H ならば 2 瓦、O ならば 32 瓦、He ならば 4 瓦と云ふが如し) 分子の數は常定なるを以て アボガドロ 則により容積も常定となる。一立の窒素を定置すれば 1.25 瓦あり、故に一瓦分子即ち 28 瓦の窒素の容積は 22.4 立なり、此により温度零度一氣壓の下にある任意氣體の一瓦分子の容積は $V_0 = 22.4$ 立なりと定むるも不可なし、故に (12) 即ち

$$pV = p_0 V_0 (1 + \alpha t) = \frac{p_0 V_0}{273} T$$

の $p_0 V_0 / 273$ は総ての氣體に共通にして其値は $\frac{1033 \cdot 26 \cdot 22 \cdot 4}{273}$ なり、之を CGS 系に改算すれば $1033 \cdot 26 \cdot 980 \cdot 22 \cdot 4 \cdot 1000 / 273$ 即ち $8 \cdot 3 \cdot 10^7$ なり、從て氣體方程式を

$$pV = 8 \cdot 3 \cdot 10^7 T$$

の如く書くことを得。

索 引

索引

あ

油差し	75
膨縮計	64
膨力	88
膨力計	104
アルキメデス原理	90
アラゴドロ則	142
アリストートル(エーテル)	299
明るさ	305
アミノプリズム(アミノプリズム)	373
厚板の光線干渉	406-9
アレウウス	540
アラゴ	548
暗性放電	589
アインシュタイン	602
アストン	606
λ 粒子	627
アインシュタイン相対説	642-652

い

位相	19
位置のエネルギー	45
位致	60
引張の弾力	100
板の振動	280
色の散差	342
入口(レンズの)	357
入口(顕微鏡の)	359
入口(望遠鏡の)	362
陰性結晶	437-8
色の偏極	444-8
陰陽二液説	461
イオン	536
イオン荷電	539
イオンの移住	541
イムビーダンス	558
陰極線	592-9
陰極線の荷電	594

う

運動学	7-25
運動を圓形にて示す法	11
右旋の順序	28
運動量	39
運動のエネルギー	46
運動量の能率	55
運動量の保存	55
宇宙重力の法則	58
運動の膨力	95
運動する気体の膨力	107
薄き空気膜の色	404
右旋水晶	452

え

エネルギー保存の理	46
エネルギーの變換	221
エネルギー密度	239
エネルギー(電氣)	477
遠心力	46
圓錐振子	47
液体力学	84-99
液体發動機(タービン)	93
液体の膨脹	149
液体液面の形状と蒸気壓力との關係	173
液体波動	229
液体波動の數學的取扱法	234
液体振動	249
液体結晶	451
液体旋光性	457
エントロピー	217
エントロピー温度圓形	222
遠眼	352
圓錐屈折	443
圓偏光	445
エーテル	463, 644
エーテルの存在	642
エールステッド實驗	602

X 線 611
 X線の性質 613
 X線分光学 614
 エマネーション 625

お

説 明 2
 大 湖 653
 温 度 144
 温度-容積関係 222
 温度輻射 397
 音の発生及傳播 253-264
 音の三性質 254
 音波の進行速度 257
 音の反射及屈折 259
 音波の干渉 260
 音波のエネルギー 263
 音 階 265-270
 音 程 265
 音 叉 278
 オ ボ ー 290
 音の分析 293
 凹面鏡に於ける反射 323

か

學 理 2
 角の單位 6
 滑 車 33
 假の仕事 37
 假の變位 37
 ガリレオ實驗 40
 ガリレオ望遠鏡 365
 カエンデッシュ實驗 63
 外部摩擦係数 130
 寒 暖 計 144
 合 永 鐘 177
 カルノーの輪業 214
 カルノーの輪業効率 215
 可 逆 性 216
 角筒内の液体振動 249
 樂 音 253

加減音階 268
 眼 鏡 353
 眼 内 象 354
 廣大レンズ 356
 カツスグラン式反射望遠鏡 367
 可視スペクトラ 376
 ガイスラ管 382, 590
 干渉増鏡 403
 階段格子 428
 カシメの形 450
 感 應 460
 間隔作用 442
 ガウス定理 469
 ガウス定理應用 472
 ガウス實驗 486-9
 感應コイル 551
 感應放射能 624
 カオフマン 604

き

曲線運動 12
 球殻の引力 63
 球面に於ける屈折 326-337
 球面列に於ける屈折 330-2
 球面散差 347-350
 氣体力学 100-107
 氣 体 100
 氣 壓 102
 氣体の流出及交流 134
 氣体内摩擦 136
 氣体吸收 136
 氣体吸着及吸着 139
 氣体力学説 140
 氣体膨脹 152
 氣体方程式 154, 拾遺
 氣体の液化 179
 氣体の音的方程式 184
 氣体エネルギー 206
 氣体膨脹の仕事 209
 凝集状態の變化 158-184

氣 化 162
 凝集状態の圖形 178
 キルヒホフ法則 197
 氣中温度の断熱的分配 212
 氣中電氣 480-3
 緊張せる絃に生ずる波動 228
 共 鳴 290
 共 鳴 器 578
 共 鳴 輪 582
 絃 光 381
 共 他 点 323, 331
 虚 像 325, 329
 近 視 眼 352
 輝線スペクトラ 379
 吸收線スペクトラ 385
 吸收線スペクトラ 388
 魚 眼 石 450
 ギルバート 459
 金箔電器 460
 絃 光 482
 義 抵 抗 558
 共 稜 元 素 608, 630

く

鍋 編 17
 回 轉 軸 24
 偶 力 29
 校 36
 回轉面の放面 48
 慣性性能 76
 回 轉 76
 回轉剛体の運動エネルギー 75
 回轉剛体の運動エネルギー 77
 過 冷 159
 超熱蒸氣 166
 過渡曲線 174
 タルクス熱車 192
 タラベイロン方程式 221
 群 波 241
 群線スペクトラ 385

屈 折 率 245, 312, 339
 屈折(力線の) 479
 クラドムの圖形 281
 クントの實驗 284
 空氣柱の振動 285
 クラリネット 289
 グレゴリ式反射望遠鏡 367
 グ レ ー 459
 化學低溫發光 397
 グリマルチ實驗 402
 回轉磁場 452-8
 回轉磁場 570
 ターロン 461, 485
 クルクス暗處 590
 ターリツチ管 604
 空間的格子 613

け

研 究 法 1
 弦 運 動 15, 49
 ケプラー三法則 53
 ケプラー期よりニュートン則に移る法 57
 ケーター可逆振子 79
 傾 心 91
 ゲイリウサツクの法則 153
 弦 波 動 224
 弦波動のエネルギー 225
 弦波動の進行速度 226
 絃に生ずる波のエネルギー 229
 絃の振動 271
 減衰振動 250
 月 蝕 301
 顯 微 鏡 358
 祭 光 397, 398
 結晶低溫發光 397
 輪 糖 計 458
 輪 電 器 460
 檢 波 器 578
 傾 角 493
 繼 電 器 582

原子新説 629-632
 原子構造 632

こ

合成波運動 17
 コリオリ加速度 19
 剛体 20, 26
 剛体振子 77
 剛性率 113
 公轉面の保存 56
 獨樂の回轉軸運動 80
 航空術 106
 交流(液体の) 132
 交流(電氣) 555
 交流の工率 559
 交流頻数 567
 交流發生機 566-7
 固体の膨脹 148
 固有音 297
 個眼 350
 強制振動 290
 行差(光の) 302
 行差角 302
 行差精圓 303
 行差常数 303
 光度 305
 光波 305
 光輝及光輝表 307
 光度計 308
 光學軸 438
 光電作用 481
 光電子 600-2
 光線の化學作用 400-1
 厚レンズ 332
 紅外スペクトラ 377
 紅燭 380
 コロニウム 381
 光輪 429
 合星 381
 格子環流 584

格子 424
 格子線の距離 424
 格子スペクトラ 426
 恒星スペクトラ 387
 コルニウ螺線 418
 コンスタンタン 520
 降變態 560
 高頻交流器 583
 弧燈放電 588-590
 小潮 653

さ

歳差運動 24, 81
 左右の動搖(船) 91
 左旋水晶 452
 三角点 175
 作因 2
 相 175
 漣 234
 サイラン 255
 彩球 380
 殘留電氣 477
 殘留磁氣 492
 三相交流機 568
 三角直接法 569
 三絶管 583
 サイプト實驗 577
 細線環流 584
 作業量子 602, 635

し

自然界 1
 自由の度 25
 自己感應 549
 自己感應係数 550
 質量の單位測定器 5
 質点の運動 7
 質量スペクトラ 607
 遅期運動 17
 瞬時の中心 21
 心跡 22

重心 30
 重屈折 434
 軸車 33
 斜面 35
 斜面運動 42
 仕事及位置のエネルギー 68
 仕事の單位 71
 振動の中心 77
 振動的放電 572
 常恒運動 94
 縮脹 94
 ジョーリー秤 116
 ジウラン則 126
 ジウルの實驗 207
 斜衝突 119
 シヤルルの法則 153
 ジャンセン 380
 ジャーメン平行面板 410
 尺八 189
 重力波の進行速度 231
 状態の變化によりて作す仕事 208
 昇華曲線 175
 焦点 323, 331
 焦面 347-8
 常定轉向 321
 常定轉向分光器 371
 昇變態 560
 上極板環流 584
 集電子 565
 軟線光線に依る光の偏屈 448
 主載面 435
 滲透 138
 温度 170
 眞空内に於ける氣化 165
 唇管 288
 子音 298
 視覺 352
 人眼 350
 視野の明るさ 357, 360, 362, 365
 紫外スペクトラ 373

磁石 484
 磁場 485
 磁力線 489-491
 磁力の屈折 491
 磁氣置換 492
 磁板 509
 四分相交流機 567
 眞空放電 590-4

す

垂り(剛体の) 32
 水平振子 82
 水蒸氣の飽和張力 167
 水晶ブリズム 436-7
 水平振動 493
 スプリングル氏ホムブ 90
 じり重力 11
 ステーフアン法則 194
 スペクトラ 374-390
 スタルク 519

せ

静力能率 27
 静振 250
 錘(滑車) 33
 絶對変量法 40
 絶對膨脹係数 148
 絶對温度 154
 絶縁体 459
 前後の動搖(船の) 91
 錘膨脹係数 148
 淺水に生ずる動波の速度 232
 全音階 265
 全反射 315-7
 旋光体 453
 接角 123
 舌管 289
 節点 332
 接眼子 363-4
 接觸電氣 500

石膏薄片現象 445
 星雲素 381
 整流子 564
 正則スペクトラ 426
 星形連接法 568
 ゼーマン効果 517

そ

相對運動 19
 相對説 642-652
 相 175
 相對分色度 343
 相當振子の長さ 77
 相當魚距 363
 相互感應係數 561
 俵 317-320, 323
 奏歌孤電 553
 送波器 578
 ソレイユの二重水晶 457
 ゴムマーフェルド 640

た

多邊形の理 27
 精圓偏光 455
 精圓軌道 635-640
 精圓弦運動 52
 大氣 105
 大氣中に於ける酸化作用 169
 太陽常數及太陽溫度 195
 對立点(眼の) 355
 ダイナモ 563
 第一下絃光 591
 田中正平 269, 281
 互に垂直なる弦運動合成 250
 ダルトン則 142
 撓みの弾力 111
 彈性率 101, 109
 彈性率と剛性率との關係 144
 彈球の衝突 116-120
 斷熱變化 210
 單結晶内の波動面 437

單一器械 32
 單一器械に於ける力と路 37
 斷續器 552

ち

力の釣合 26-38
 力の能率 27
 力の場 70
 チメンション 6
 チウロンブナー則 157
 チウル則 527
 チウル熱及其應用 528-530
 地球上の變化 48
 地球の密度測定 62
 地殻の傳導 187
 地上用接眼子 364
 チュフエー 460
 チオプトリック 353
 地磁氣感應器 546
 湖沙 65
 聽覺 292
 聽床 293
 調和の倍音 296
 調節 351
 直線進行(光の) 300
 直視分光器 372
 直線偏光 455
 直流 556
 直流發生機 564
 直列ダイナモ 566
 歐帶光 381
 從磁体 514
 中性帶 461
 中立面 564
 蓄電器 552, 572

つ

通常光線 435

て

定滯波動 247, 412

低温發光 397
 抵抗 520
 手子の理 29
 天秤 33
 デブレの實驗 180
 傳導率 190
 テスラ變電器 574-5
 出口(レンズ)357.(顯微鏡) 359
 出口(望遠鏡) 362
 電氣低温發光 397
 電導体 459
 電線質 459
 電位 460, 465
 電線管 461
 電場 463
 電子 463, 517
 電位差 469
 電氣容量 474-6
 電燈 481, 587
 電池 501-2, 542
 電流の單位 506
 電流計 507-8
 電流の動力作用 510-2
 電磁鉄 513-4
 電流偏極 542
 電話器 553
 電解整流器 571
 電綯管 578
 電子荷運 597
 電導度 520
 電磁感應 545
 電流發生機 563
 電氣共鳴 575
 動波輻射 579
 電位流面形 588
 電子の質量 604

と

當應用狀況 2
 等速運動 8

等加速運動 10
 等時性 51
 等位面 60, 465
 等級(恒星の) 308
 等色面 450
 等偏線 495
 等傾線 495
 等力線 495
 等位元素 605, 630
 動力學 39-84
 筒輪 509
 導線積法 525-2
 導体内の電子運動 608
 トリチウム實驗 93, 102
 トレーリアンの摺擦 253
 ドップラー効果 262, 389
 共鳴 290
 特異線(元素の) 382
 トムソン効果 534

な

内部摩擦係數 130
 長さの單位 3
 長さ、面積、容積を測定する器械 4

に

ニュートンの動力學三法則 39-40
 ニュートンの法則(衝突) 117
 ニュートンの冷却則 195
 ニュートンの色環 405-6
 ニュートンの分色實驗 338
 ニュートン式反射望遠鏡 367
 入射、反射波の干渉 246
 日蝕 301
 虹 344-6
 日光スペクトラ 374-6
 二軸結晶 437
 二軸結晶の波動面 441
 二相交流機 567
 二次X線 621

ね

音 色 293-298
 熱量と比熱 155
 熱の傳導 185-191
 熱の傳播 185
 熱の輻射 192-200
 熱線と光線 193
 熱色と輻射との關係 196
 熱力学第一原理 201-213
 熱力学第二原理 214-223
 熱の仕事當量 201
 熱 効 率 205
 熱気温發光 397
 熱 電 氣 531
 熱 電 柱 533
 熱 電 子 603, 581
 熱電子整流器 571
 熱電子管 603, 583
 捻れの弾力 113
 粘 著 性 129
 ネルンスト説 501

は

倍 音 274
 倍率(凹面鏡) 324
 倍率(顯微鏡) 359
 倍率(望遠鏡) 362
 倍率(反射望遠鏡) 368
 排 氣 器 103
 發音体の振動 271-291
 發 電 機 464
 發 電 子 564
 發 動 器 571
 波動の干渉 241
 波動の反射及屈折 243
 媒 質 463
 バチノフチ酸 564
 波長測定 619
 バスカルの法則 88
 ハーシエム式反射望遠鏡 366

ハツギンス 381
 バルマー公式 383
 ハミルトン 443
 膜 247
 反射及屈折(光の)の歴史 310
 反射及屈折の法則 311-312
 反射面の回轉 313
 反射望遠鏡 366-9
 半 影 301
 反 磁 性 514
 伴生電流 549

ひ

光の干渉歴史 402
 光の粒子説 640-1
 ビ ア ノ 271, 291
 非常事線 435
 比 抗 抗 520
 微 音 器 553
 歪 101
 比 重 84
 比 積 154
 比熱の比 213
 火花の距離 551
 表面張力 120
 表面張力の波に與ふる力 233
 ヒルガー一定轉向プリズム 322
 表面密度 462
 比旋光率 468
 ビヨウ、サワール則 503
 拍 示 569
 微量輻射計 533

ふ

復 水 161
 輻射熱の測定器 192
 複式ダイナモ 566
 胡 X 線 621
 フーコーの實驗 79
 風 琴 289

フ ラ ッ グ 615

へ

平面運動 21
 平面運動の角速度 23
 平行四邊形の理 27
 平 行 力 29
 平均壽命 626
 平行面板 410-2
 並 動 76
 平 假 352
 變加速運動 11
 變位オプティカル 235
 變則分色 393-7
 電 壓 器 559
 變 流 器 571
 偏 光 430
 偏 極 面 430
 偏 光 計 444, 447
 偏光幻灯 447
 偏 角 493
 ベルヌーイの方程式 95
 ヘンリーの法則 136
 ヘルムホルツ日熱維持説 203
 ヘルムホルツ振動顯微鏡 272
 ヘ リ ア ム 381
 ヘ ー ル 498
 ベルチエ効果 534
 ヘ ン リ ー 551
 ヘルツ振動 577
 ヘルツ實驗 580
 ベクトル線 622

ほ

ホアゾイユの式 132
 ホアツソン比 110
 ホアツソン方程式 471
 ホアツソン 641
 ホイヘンスの原理 242
 ホイヘンス接眼子 363

フアゴット 290
 フェゾー實驗 642, 303
 フアラデー効果 515
 フアラデー則 537-9
 フアラデー暗處 590
 ファッセルラド 646
 物 理 學 1
 物 理 量 3
 物体の色 390-2
 フェツダスン實驗 572
 振子運動 50
 浮 力 90
 浮力の仕事 90
 浮 体 90
 フェヒナー則 264
 分子現象 108-143
 分子力 108
 分光寒暖計 199
 分 光 器 370-4
 分 光 計 371
 分 光 角 373
 分 流 524
 分流ダイナモ 566
 附 著 性 123
 プレゾトの熱交換説 193
 プランクの分光方程式 191
 プリズム 320-2
 フラオンホーフア一分色實驗 338
 プランク量子説 384
 フレネル實驗 403, 419
 フレネル積分 414-9
 フレネル積分表 417
 フラオンホーフア一屈折實驗 421
 プリウスター則 432
 フラオン針電氣計 460
 フーコー渦 548
 プランク普遍數 602
 節 247
 節 綫 605
 プラト 608

ホイヘンス光の進行説 413
 ボイル、マリオットの法則 101
 法 則 2
 拋物運動 43
 拋物線速度 62
 放 射 85
 放射能備的物質 463
 放 電 477
 放 電 障 578
 放射体の崩壊 624
 放射的元素表 628
 方解石プリズム 436
 膨脹及び熱量法 144-157
 飽和蒸気 165
 飽和電流 588
 棒の振動 275
 棒の縦振動及び捻振動 283
 望 遠 鏡 361-2
 ボーメの浮秤 92
 ボールの転説 384
 ボールの原子模型 633
 母 音 297
 補 色 391
 ホドグラフ 14
 保 存 力 71
 ボロメーター 527
 ホキートストーン術 526
 本 影 301

ま

マイケルソン 641, 644
 マイケルソン実験 644
 膜及び鐘の振動 281
 マクスウエル 581, 644
 マグネシヤ 484
 摩 擦 力 73
 摩擦係数 73
 摩擦低圧発光 397
 摩擦電気 459
 マリウスの実験 431

マンガニン 520

み

ミラージュ 315-6
 ミラーの毛線 448
 ミンコウスキの四次元 652

む

無 収 差 349
 無 週 期 549
 無線電信 581-3
 無線電話 583-6
 無 偏 線 495

め

明 斑 350
 眼の缺點 353-4
 メルデの音叉 248
 メルサンヌ、テラーの法則 271
 面積、容積の単位 3

も

毛管現象 125
 盲 点 351
 複色レンズ 330, 341
 モズレー 617

や

湯 水 模 97
 固性結晶 437
 ヤングの弾性率 109
 ヤングの法則 275
 ヤングの実験 402

ゆ

遊 尺 4
 融解(液化の) 158
 有效張力 556

よ

ヨアヒム 270
 容積膨脹係数 149
 溶液の凝固点及び沸騰点 177
 陽 極 線 605-8
 陽 極 646
 横 笛 289

ら

ラウールの法則 177
 雷 482-3
 落体運動 41
 落 差 90
 ラザフォードプリズム 371
 喇 叭 290
 ラブラースの公式 258
 ラブラース方程式 471
 ラムバート則 306
 ラムズデン接眼子 363
 ラザフォード 622, 625
 亂 視 349, 353

り

立 体 角 6
 立 像 325
 立 体 鏡 356
 力 學 26
 力 管 473
 紋 子 説 601, 640
 リギ振振動 578
 流 動 体 84
 流 管 93
 流川の速度 93
 リサジウの実験 252
 兩 耳 聴 293
 兩眼視 355
 量 子 説 384, 633, 641
 リドベルグ常数 617
 臨 界 点 175
 鏡 光 397, 400

る

ルーメン 306
 ルムマー及びビゾールケの平行面鏡 410
 ルシヤトリニー高温寒暖計 533

れ

レアクタンス 558
 レッハー 576
 レーレー説(兩耳聴に關する) 293
 レーマー(光の速度) 301
 レーナード線 599
 速 度 器 88
 速 積 則 93
 連続スペクトラ 379
 レンズに於ける屈折 329
 レンツ 則 545

ろ

ロイドの実験 443
 六 分 儀 314
 老 眼 352
 露 点 169
 ロッキヤー 380
 漏 熱 率 187
 ローランド 427
 ローレンツ 646

わ

ワイ 重 力 101, 109
 惑星振動 639
 ワントホッフ則 134
 ワンデルグアールスの氣體方程式 182
 ワーソンの變位則 198
 エクトル 7

昭和三年九月廿五日印刷
昭和三年九月三十日發行



定價金七圓

著者 村上春太郎

發行兼印刷者 鹿兒島縣日置郡伊集院町德重一丁目番戶
吉田丈作

全上
印刷所 吉田印刷所

發行元 鹿兒島縣日置郡伊集院町德重一丁目番戶
吉田大正堂
電話二八番
番替碼四一三八〇三

8.11.1

46-331



1200501260138

終