

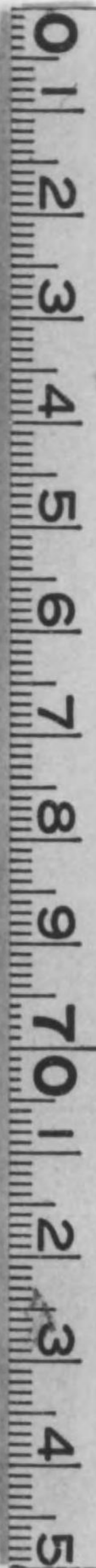
338-440



1200501395750

338

440



始



134 21
011



130

Shunju library



14



春 秋 文 庫

62

原 子 と 宇 宙

著 竹 内 時 男 東京大学助教授
博士 理学

春 秋 社 版



鳥瞰圖

學界、思想界各分野の權威を網羅し、其研究室を一般に公開する民衆大學。難解に流れず、通俗に墮せず、特色ある講座としての春秋文庫第一部は、日進月歩する日本文化の鳥瞰圖である。

鳥瞰圖

此書を小中學の恩師

米谷政吉先生

高畠茅夫先生

に獻ぐ

338-440

序

新しき科學の世界の漫歩録であり、新しき科學のスクラップ・ブックたると共に又極めて統一ある讀物たらしめんとして努力した。實に著者の此種第六の集輯である。

本輯は

科學知識、科學畫報、電氣の友、理學界、教材講座、補習教育、讀賣新聞、帝國大學新聞、藏前新聞、大思想エンサイクロペディアに發表したものを主とした。記して是等編輯者に對して謝意を表す。

昭和八年夏八月

代々木窮理庵にて

著者識す

目次

一、電氣	三
二、理論物理学と實驗物理学との勝利	二
三、光の電磁波説	四
四、原子の構造	二二
五、量子論	三一
六、天文物理学	四四
七、電氣學の論語讀み二章	五九
八、中性子の新發見	六四
ベリリウム放射線の謎	六四
中性子とは何ぞ	六六
原子核構造説の一變	六八

九、中性子と元素の同位體

一〇、物質の新概念

序言

位相波と群速度

電子波の廻折

除外原理と電子波の偏り

一一、原子核構造の最新論

電子陽子の波粒性

電子の「不可入性」

電子陽子の廻折

アルファ粒子の散亂

帯スベクトルとスベクトルの超微構造

原子の合成

七〇

七二

七二

七三

七六

七七

八〇

八〇

八一

八二

八三

八四

八五

中性子の存在

一二、宇宙線

一三、宇宙線の話

宇宙線の発見

宇宙線の本性

宇宙線入射の個數

二次線の研究

アメリカの研究

一四、ボジトロンの新発見

一五、ピッカール教授の昇空

一六、最高電壓の陰極線の面白い性質

一七、工業に於けるラヂウム

一八、相對性原理

八六

八九

九三

九三

九四

九五

九八

九九

一〇三

一〇六

一一〇

一一四

一二七

原子と宇宙

一九、宇宙は膨脹する……………三三

二〇、膨脹しつつある宇宙……………三六

 新宇宙観……………三八

 曲空間……………三八

 銀河外星雲のスペクトル……………三一

二一、相對論の立場よりテクノクラシーを観る……………三四

一 電 氣

タレスのタレス (Thales) (600-550) はギリシア七賢人の一人として知られてゐるが、琥珀を摩擦すると夫が軽い物體を吸ひ附ける事を發見した。電氣の事を英語でエレクトロシチイと云ふが、此エレクトロシチイと云ふ語はギリシア語の琥珀 (ἐλεκτρον) より來てゐる。琥珀は黃い金屬色を帯びた脂であり、當時は金銀と共に裝飾用に供されてゐた。

萬年筆の柄を毛皮やフランネルで摩擦すると、紙や箔などを吸ひ附ける。封蠟や硫黄や乾いた木片も同様の性質を現はす。

寒い乾いた天氣の日に一枚の紙を机の上に置いて、之をフランネルで擦ると、此紙は机面に吸ひ付き、之を机面から引き離すと、小さなバチ／＼云ふ音が聽える。此状態に在る紙を壁に近づけると、壁に引き附けられ、夫に附着する。

冬の日、大工が鉋で木を削る時、木の薄片はやはりこんな現象を現はす。斯様な場合は凡て、物體は「帯電せり」と云ふ。

一六〇〇年頃、エリザベス女皇の侍醫ギルバート (Gilbert) は多くの物體は摩擦に依つて帯電するが、金屬はさうでない事を發見した。そして物質を帶電質 (エレクトリック) と非帶電質 (ノン・エレクトリック) とに分けた。

一七二九年イギリスのステフェン・グレイ (Stephen Gray) (1731-1786) は、硝子に發生した電氣は、濕つた絲に依つて、夫より逃れ他の物體に傳はり得る事を發見した。

此實驗は電氣は、或物體を通して傳はる事が出来る事を示す。彼は斯様な物質を電氣の導體と稱し、電氣を傳導し得ない物質を不導體と稱した。

金屬は最良の導體である。木材や濕つた絲は可なり電氣を導くが、硝子、硫黄、脂は不導體である。

グレイは斯くして、ギルバートが非帶電質と命名したものは導體である事を知つた。即ち是等の物質では電氣が發生しても直ぐに傳導し去られる。此非帶電質でも不導體の臺の上に載せると、電氣を帯び得るのである。それで、帶電質、非帶電質の舊い區別は棄てられて、物質は導體及び不導體 (絶縁體) に分類されたのである。

不導體の別名として絶縁體の語があるが、此物質は、一物體と他物體との間の電氣的連絡を絶ち、一より他に電氣が傳はるのを妨げるからである。

物體の絶縁能力は、或與へられた電氣量が種々の物質の同様な棒を通して逃れるのに要する時間を比較して求められる。

次表は絶縁度に依つて物質を分類したものである。

絶縁體	不良導體	良導體
琥珀	乾いた木材	金屬
硫黄	紙	炭及び石墨
融解水晶	アルコール	鹽及び酸の水溶液
硝子	テレピン油	
硬ゴム	蒸溜水	
空氣及びガス		

電氣が一物體から他物體に流れる事を電氣の流——電流——と云ふ。

ステフェン・グレイは、電氣の傳導に於ける差違は、物體の色又は之に類した性質に依るものではなく、物質に依るものである事を發見したのである。

彼は人體も電氣を導く事を發見した。此證明をやる爲に小兒を絹絲で空中に支へたのである。

硬ゴムや封蠟の棒を毛皮で擦る。そして吊つてある木髓の球に之を近づけると球を吸ひ寄せ。吸ひ寄せられて棒に附着すると、今度は球が撥ね返される。

又絹布と摩擦して強く帯電した硝子棒を木髓の球に近寄せると、球は棒に飛んで来る。そして接觸した後は撥ね返される。

木髓の球が硝子棒から撥ね返されてゐる時、之に、帯電したゴム棒を近づけると吸ひ寄せられる。又此逆も成立する。之を以て見ると、硝子とゴムとの帯電状態は違つてゐる譯である。

此発見は一七三三年フランスのシヤール・フランソア・ドゥ・チステルネー・デュ・フェイ(Du Fay)(1698-1789)に依つて爲された。彼は凡ゆる帯電物質は硝子或はゴムのどれかの様に働くものである事を知つたのである。そして此二つの帯電状態を、一は硝子様、他は樹脂様と命名した。

フランクリンは硝子の帯電状態を正(ポジチヴ)、ゴムの帯電状態を負(ネガチヴ)と命名した。現在此命名が一般に用ひられてゐる。

グレイの實驗はフランスではデュ・フェイの注意を惹いたのである。デュ・フェイは兵隊の教育を受けた人であるが、成人後は科學の研究に努めたのであつた。

彼はどんな物體でも電氣を帯ばしめ得るものである事を発見した。そしてギルバートの分類の仕方が誤

つてゐる事を見附けた。

毛皮で摩擦した硬ゴムの二片を互ひに相近く吊り下げると、反撥する。又寒い日にフランネルの束の中を擦り引いた二枚の紙を互ひに近く吊つても同様である。

此逆に毛皮で摩擦して負に帯電したゴム片を、正に帯電した硝子棒に近づけると引き寄せられる。

即ち同様に帯電した物體は互ひに反撥し、反對に帯電した物體は互ひに吸引するのである。

摩擦に依る帯電の場合には、兩物質は互ひに反對に電氣を帯びる。丁度或「物」が一方から取られて他に與へられたやうな觀を呈する。

硝子を絹布で摩擦すれば、硝子は正に、絹布は負に帯電するが、硬ゴムを絹布と摩擦すれば、ゴムは負に、絹布は正に帯電する。で、絹布は一の場合負に、他の場合正に帯電する譯である。

一般に、どんな物質でも、夫の擦られる相手に依つて正或は負に帯電する。であるから數種の物質を表に排列し、其任意物質を表中の自分より上位のものと摩擦する時負に、下位のものとの摩擦する時正に帯電するやうにする事が出来る。此表を電氣順位と云ふ。

電 氣 順 位

硝子(表面は清潔に且つ磨いてある場合)、毛皮、フランネル、硝子(アンゼン焰を通したもの)、絹布、木材、封蠟、硬ゴム、硫黄。

デュ・フェイは焰が放電する力を持つ事を認めた。又絹絲で自分を空中に支へ電氣を掛け、他人が自分に近づくと、音を立てて放電し、暗い所では是が火花を放つてゐる事を認めた。

デュ・フェイは電氣の二流體説を採つてゐたが、是はフランクリンの一流體説に對抗するものである。デュ・フェイの時代には摩擦電氣の機械は實驗室に於ける最も重要なものであつた。が後ホルツ及びテプラーの増大器が之に代つた。

一七四五年頃電氣の實驗は非常に通俗向きとなり、オランダ、ドイツでは公衆に展覽させた位である。

一七四〇年頃有名な物理學者ビューター・ファン・ムッセンブレーク (F. V. Musschenbroek) (1692—1761) は一つの壘の中に在る水を帯電せんと企てた。

彼の友人が一方の手で壘を持ち、帯電してから他の手で、發電機と水とを連絡する針金を除かうとした時、ひどい衝撃を受けたのである。ムッセンブレークは此實驗を繰返して研究した。是が今日のライデン壘の始まりである。

ライデン壘と云ふのは硝子の圓筒の内外兩面に底面及び底から或高さ迄錫箔を貼つたものである。そして内箱は發電機に鎖で絡いである。發電機を廻はすと電氣が非常に澤山蓄へられる。で、蓄電器とも云はれてゐる。

ライデン壘が發明されてからは歐洲の何れの國でも、此装置を持つて歩き實驗を人々に見せて生活の資を得てゐた者が多かつたのである。

フランスでは、王様の前で數百人の兵士の身體を通して放電したり、又バリの或寺で、僧侶の一群が相隣る二人が針金を手に握り、全長三百米の長い一列となり、ライデン壘を放電した處、一時に驚いて飛び上つたと云ふ事である。

又ライデン壘で鳥や獸を殺す實驗も行はれた。

アメリカのベンジャミン・フランクリン (Benjamin Franklin) (1706—1790) は初め活版職工から身を起し、有數の大政治家大經世家となつた人であるが、又大科學者でもあつた。

四十歳位の時、スコットランドから來た或學者がボストンで見せた電氣の實驗を見て、大いに感興を催した。そして夫から大いに電氣の實驗をやり出した。

尖端が放電作用ある事はフランクリンも大いに研究した處であつた。

フランクリンは電氣の一流體説を唱へ、一物體が常態よりもより多くの要素を持てば、夫は正の帶電状態であり、より少く持てば負の帶電状態であるとした。

一七四八年には彼は身を退き、専心電氣の研究をやつた。そして印刷機械等を賣拂つて新しい機械を買ひ入れた。

一七四九年には電光は電氣火花と同一であらう事を、他の學者とは獨立的に推定したのである。電氣火花が硫黄様の臭氣を發生する事は電光と一致する事に注意を向けた。彼は實驗の爲に高い尖塔を建てんとし、福引の方法で金を募集した事すらある。

彼は絹ハンケチで風を作り、之に鋭い針金を付け、手に近い方の絲の端へ絹紐を結び、絹紐と絲との結び目に鍵を附けた。此機械を持つて子息と一緒に野原へ行き、小屋の中で雨を除け乍ら風を揚げた。纏て雷雲が風に近づいた時指の節を鍵に當てた時に、強い火花を受けたのである。ライデン壘に此空中電氣を蓄へた。

此實驗は到る所で繰返されたが、ロシアのセント・ペテルスブルクで或人がやつた時、遂に電撃を受けて死んだのである。

物質を摩擦すると電氣が發生するのは、電子と稱する、負電氣を帯びた微粒子（非常に小さい軽い物）

が一方の物質から他の物質に移る爲である。電子が逃げた方は正の電氣を現はし、電子を受けた方は負の電氣を現はすのである。斯様に今では流體説が行はれなく電子説が行はれてゐる。

絶縁臺の上に載せた金屬體の附近へ、他の帶電體を近づけると、金屬體には帶電體に近い端へは夫と異名の電氣を、遠い端へは夫と同名の電氣を感應する。是は金屬體の中には自由電子と稱する遊離した電子が存して居り、此自由電子が帶電體の電氣に依つて反撥或は吸引されるからである。電子が集つた端は負の電氣を帯び、電子が減じた端は正の電氣を現はす譯である。

帶電體を遠ざけると、金屬體に電子は再び舊のやうに一樣に分布する。是は電子は氣體分子と同じやうに複雑な運動（熱運動）をやる爲である。金屬體中の電流とは電子が陰極より追ひやられ陽極に吸ひ寄せられる時の運動である。

感應に依つて電氣が發生してゐる金屬體のどの部分にでも指を附けると、帶電體と同名の電氣は地球の方に逃れ去る。指を去ると同時に帶電體を遠ざけると、帶電體と異名の電氣が金屬體全部に擴がる。之を感應電と云ふ。

硝子又は陶器製の皿の上に人を立たせ、此人の背を他の人が猫皮で摩擦すると帶電し、其人が指を驗電器に附けると、箔が擴がるのを見る。面白い實驗である。

二 理論物理学と実験物理学との勝利

現代の正確科学は二つの驚く可き特性を持つ。一つは非常な重大さを持つ處の實驗的結果で、是は原子内の微宇宙の觀察を與へるものであり、過去の人々の夢にも想像し得なかつた處である。他は大宇宙の何たるかを定めんとする純粹理論的努力であり、是は數學的に新しい、より了解し易い理論に達せんとする處のものである。

實驗的研究は永久的な價值と比較す可からざる成功との結果を與へたのである。更に是等最新の結果はギリシアの哲學者に依つて發展された大膽な而も簡素な古典的哲學と脈絡相通するのである。空間に於ける原子の集合より成るものとして物質を認識する事は、デモクリツスの哲學であつたが、是は二千年の後に確定的な勝利を得たのである。

然し理論的研究に關しては、見解は更に多くの分歧を示すのである。理論的研究の一方のバルチザンは相對性理論に於て極まる處のスペキュレーションであり、其大膽さに於てデモクリツスに、數學的端正と威力とに於てコペルニクス及びニュートンに匹敵し、又は夫を凌駕する處の論理的權威を持つのである。

ストックホルム大學のヴィクトル・リドベルヒは、北歐の現代の大詩人であるが、

「……時間と空間は、恐る可き、そして境の無い圍圈である。」

と云つてゐる。時間と空間とからは吾人の凡てが離れる事は出来ぬ。此時間と空間とに關し古來の哲學の僻見を一掃し、新しき時空觀を建てて、此中に於て自然現象や宇宙を再認識したのが實に革命兒アインシュタインである。彼は時間と空間とは相對的であると、ニュートン流の絶對觀を棄て、時間と空間の「框」を、變形し得る可塑的なものとし、流動的な哲學を建てたのである。

アインシュタインは然し決して冥想的な根據から新學説を提唱したのではない。實體的な實驗的な基礎の上に議論を發展したのである。そして其結論の一々が著しいものであり、正に古來の哲學や物理学を一蹴するに充分である。而してアインシュタインの大なる設計の價值を否定する實驗は、未だに無いのである。

尙又エネルギーの不連續性を唱へ、エネルギーは素量より成るとしてプランクは量子論を建設した。此發展は相對論と相並んで爲され、最近に至り物質の波動性が之に胚胎する事が判つた。物質組成の窮極の要素たる電子は一つの波動現象であり、複雑なる波動の重合より成るエネルギーの結節なりとされるに到つたのである。

三 光の電磁波説

廿世紀以後吾人の世界観は、理論物理学の偉大なる進歩に依つて、新しい建直しを受けたのである。自然哲学の根底には根本的な革命が行はれたのである。そして是迄深く交錯してゐた假定は、支持す可からざる専断として驅逐されたのである。自然哲学の最も古い概念は其意味を變化したのである。自然観は此所に大いなる擴張を受け、而も以前よりは更に簡素に透明になつたのである。

已に十九世紀の後半に於て起り、物理学統一への大いなる進歩を發端した處の二つの學説に依つて、卓拔した最新の進展が促されたのである。マックススウェルに依つて爲された光の電磁波論は、光の現象を電磁氣の現象に歸し、光學を電氣學の一章に化したのである。他の學説が運動論は熱の現象を分子の不斷の運動に歸し、斯くて熱の理論を力學の一分科となし、原子論的原理の異常なる成功を齎したのである。十九世紀の終りにはマックススウェルの電磁氣論の擴張は電子理論となり、電氣を凡ゆる物質の基礎とし、電子の荷電を凡ゆる物質のバインディング・マテリアルなりとした。

原子論的原理の擴張に於て量子論はスペクトルの説明に於て特に非常なる功績を爲したのである。之に

依つて元素原子の内的構造に就いての價値の多い結論が與へられたのである。相對性理論は空間及び時間の本質に就いて全く新しい解釋を下し、其擴張に依つて萬有引力の新しい理解に導いたのである。

近世物理学の刺戟を受けて、星の性状研究に於て著しい進歩が爲され、宇宙の構成に關する私達の假定が、是迄夢想だもされなかつた程大いなる擴張を受けたのである。

斯くしてマックススウェルの光の電磁説は近世物理学的自然観の革命の濫觴である。

光の直線的進行、其反射及び屈折の現象は古くより知られてゐる處で、是が光學に於ける基礎的現象であるが、其他の光學の基礎現象は多くは十七世紀の後半に於て發見されたものである。光の廻折、結晶に於ける二重屈折、薄層の著しい色彩、光の散亂或は光の傳播の速さの値等は此頃に見出されたものである。光の本性に關する問題に就いて、當時特にニフトン及びハイヘンスの論争があつた。兩者の見解は相違してゐるたけれど、光は空間的に又時間的に消長する現象であるとする重要な認識に於ては互ひに一致してゐたのである。

斯様な二重の週期性は吾人は次の如くして假定するのである。若し空間の或部分に眼を注ぐならば、此場所て一定の状態が週期的に繰返されるのである。單位時間に状態の繰返される數を私達は振動數と稱へる。同一の場所に於て違つた時刻に於て比較する代りに、同一時刻に於て違つた所に於て狀況を比較する事

も出来る。今一つの場所から一つの直線を引き、此直線上に横はる他の場所の状況を互ひに比較しよう。即ち瞬間寫眞を撮つて状況の空間的排置を研究するのである。若し同一場所に於ける状況の時間的繼續が同一時刻に於ける空間的經過と同じと云ふならば、私達は空間的及び時間的週期性の斯かる現象を廣義の波動と名附ける。一つの直線一つの波線に沿うて、或距離毎に状況の同一の反覆が見られるならば、此距離を波長と稱へる。又波の傳播速度とは、振動數に波長を乗じたものである。

波動現象の最も最近な例は、石を池に投げるとき或は空氣中で笛を吹く時、水面に波紋を或は空氣中に音を生ずる夫である。最近迄物理学は凡ゆる物理學的現象を出来るだけ運動現象に歸すべく努力してゐたのである。ハイヘンスが光の波を力學的の波と考へようとしたのも其點から了解出来るであらう。光は太陽より地球へと、明かに空虚な空間を通して傳播するのであるが、其速さが非常に大なるのを見れば、此は明かに普通の物質の波動現象としては考へられないのである。ハイヘンスは光の波の傳達者として、假想的なエーテルを考へたのである。ハイヘンスは、エーテルは固體や流體のやうに、彈性的な振動を爲し得るものとし、此振動に依る波が光の波なりとしたのである。

光の空時的週期性と光の波動性とを認識したのは、夫々ニットンとハイヘンスとの偉大なる功績であつた。光の波が力學的の波と考へられたのは、其時代の物理学の力學的傾向に依つたものであるが、マック

スウェルに到つて電磁波と考へられるに到つたのである。是こそ大いなる轉向である。

光の波を力學的な波と考へたのは、當時行はれてゐた力學的傾向に基づくものであり、決して必要缺く可からざる思考ではない。

光の偏りの現象に對しては光の波動説は重要な本質的な補充を必要とするのである。夫は光波の横振動性である。此説明にはベクトル量概念を用ひる事が必要である。ベクトル量とは方向と大いさとを有する量である。之に反して大いさのみを有する量をスカラー量と云ふ。

或場所に於ける光學的状态は週期的に變化するベクトル量を以て表はされ得る。然し此ベクトルは常に光の傳播方向に垂直に在る。是が光波の横振動性を表はすものである。

斯様な假定に基礎附けられた、そして特にフレネルに依つて建てられた光の理論は、非常な効果を齎した。然しフレネルは、ハイヘンスのやうに、光波を力學的の波と考へたのである。彈性的な波と考へたのであつた。

電氣の理論は十八世紀の終り迄は單に摩擦電氣を論ずるに過ぎなかつた。十八世紀の終りに電流が発見され、一八二〇年にはエールステッドが所謂電磁現象を発見した。是は電流が其附近に磁場を生ずると云ふ事である。十一年後の一八三一年にファラデーは感應電流を発見した。是は導體の存する場所の磁力が

變化する時に此導體の中に電流が起る現象である。

電磁現象や感應電流の現象を記述する法則等に依つて、電氣磁氣の現象の正確な理論が定まるのである。そして此理論は一八七三年マックスウェルに依り新しい假説の下に、大いに擴張されたのである。ファラデーの假定に關聯して、マックスウェルは、導線の中に於けるやうに、眞空に於て又絶縁體に於て一種の電流が流れ得るとし、之を變位電流と名附けたのである。此變位電流に對して、マックスウェルは、閉じた導體を流れる電流即ち傳導電流と全く同じ性質を與へた。此變位電流は同じく磁場を惹き起すものである。又感應に依つても變位電流が起され又影響されるのである。

電氣磁氣の理論に於て此假説を導入する事は演繹的に全く驚く可き結果に導く。數學的に結論される如く、變位電流の假説から電磁波の可能性が現はれる。而して電磁波は全くの横波である。

或點に於ける電場が其大いさ、方向或は夫等兩者を週期的に變化する場合には、之を電氣振動と云ふ。此場合大いさのみ變化せば振動は直線的なりと云ふ。方向のみが變はれば圓振動、大いさと方向と兩者變化する時は橢圓振動と云ふ。或場所で電氣力の値が方向及び大いさに於て時間的に週期的變化を爲すならば、マックスウェルの理論から、此變化が其場所から引いた直線に沿うて空間的に週期的に傳はつて行く事を知るのである。此空間的時間的に二重に週期的な現象が電波と呼ばれる。

斯様な事柄は磁力の空時的消長に對しても云はれる。磁波是である。

マックスウェルは數學的に演繹して、電波と磁波とは必ず相伴ふ事を示した。電波無き磁波、磁波無き電波は不可能である事を示した。磁場は常に電場に垂直に在り、兩者は又共に波の傳播方向に垂直である。即ち電磁波は純粹に横波である。

然しマックスウェルの理論の著しい結論は、夫が電磁波の傳播の速さを與へる點に在る。

一八五六年には、ヴィルヘルム・ウエーバーが此値を或方法で求めた。ウエーバーは電信の發見者として知られる人である。

マックスウェルの理論的研究は、或物質中の電磁波の傳播の速さは、一方にはウエーバーの常數に、他方には其物質の電磁作用を特定する處の常數に關するのである。(眞空中では傳播の速さはウエーバーの常數に等しい。)此著しい結果はマックスウェルをして、光波と電磁波とは同一なりと云ふ考へに迄運んだ。

光の電磁論からして、光の反射及び屈折の現象が巨細に説明せられる。

マックスウェルの理論は物質の光學的常數と電氣的常數との間に簡單な關係が存する事を教へる。彼の理論が有名になつてから、ボルツマンがガスに就いての測定から之を證明した。然し電磁波説の最も著しい證明は十五年後の一八八八年にヘルツがやつた實驗である。彼は全く電氣的に電磁波が發生し、夫が

光と同じ法則に従つて、反射、屈折、廻折、偏り、干渉をやり、且つ光波と同じ速さで進む事を電氣的裝置で證明したのである。

一八九五年レンチェンがX線を発見して全世界を驚かしたが、此X線の本性に就いては長い間説明されずにゐた。物理學者は、是も光波と似た現象であらうと想像してみた。そしてX線の波長を測るには、光の場合に比して非常に微細な間隙の廻折格子を必要とするであらうとも考へられた。然し斯かる格子は其製作が不可能である。處が一九一二年ラウエが天才的な考へから、人工的格子の代りに結晶を用ひた。

結晶は其微粒子が規則正しく排列してゐるので、之を廻折格子に用ひられないであらうかと考へ附いたのである。然し普通の格子は一方向に間隙の在るものであるが、是は空間的に格子が排列してゐる處に事柄が複雑してゐる。

今結晶にX線を當て、其背後に寫眞乾板を置くと、對稱的に排列した黒斑が現はれる。此斑をラウエ斑と云ふ。是の排列からして投射X線の波長が解り、又逆に用ひた結晶の構造を知る事が出来るのである。

ラウエのX線の干渉の発見は自然哲學の新しい發展に對して非常な意味を持つ。之に依つて結晶の構造が闡明されて來たのである。近頃は更に有機化合物の構造迄も知られて來た。多くの所謂非結晶體も其實微細な結晶を持つ事も知られて來た。

四 原子の構造

物質の原子は「分つ可からざる」ものではなくて、實は構造を持つのである。

「一つの原子は中央に正の電氣を持つた一個の中心核（之を陽核と云ふ）と夫を廻ぐる電子數個とより成る。電子の數は元素の種類に依り、又其排列狀況も元素の種類に依つて異なる。

一般に原子内では電子は數個の環狀を爲して中心核を圍み、且つ此環上を周廻するのである。環の數及び環上に於ける電子の排列は元素の種類に依る。

例へば一番軽い元素である水素では、電子は一個であり、軌道も一個である。ヘリウムは水素に次いで軽い元素で電子は二個あり、軌道は一個である。リチウムでは電子三個であり、軌道は二個に分れる。ウラン一原子には九二個の電子が在る。

電子の軌道は圓又は橢圓であり、恰も太陽の周りを廻はる惑星の如きである。で、核を廻はる電子——核外電子——を一名惑星電子とも云ふ。

惑星電子の數は、原子量の順序に元素を排列した時の番號即ち週期律に於ける元素の順序に等しいので



ある。是は種々の事實より證明されてゐる。

上の元素の番號を原子番號（又は原子序數）と云ふ。で、惑星電子の數と原子番號とは相等しい事になる。

原子は全體として中性の状態に在る故に、陽核の持つ正電氣量は電子荷電を電氣量の單位とする時、原子番號に等しくなる。即ち原子番號に依つて陽核の電氣量は相違するのである。電子は凡て同一なれど、陽核は元素に依り其質量及び荷電が相違するのである。

原子の質量は陽核の質量と見做して宜しいのである。

原子核の構造は如何。一般に原子核は電子數個と水素陽核數個との集合より成る。水素陽核は陽子と云ふ。陽子は電子と同量の正電氣量を有する。陽子の數は電子の數よりも大である。是陽核は全體として正電氣を帯びる所以である。又陽核の質量は約陽子の質量の和に等しいのである。斯く陽核を形成する處の電子を核内電子と云ひ、惑星電子に對せしめる。素より同一物ではあるが、其位置に依つて名稱を異にするだけの事である。

水素陽核は陽子夫自身である。是は又水素一價陽イオンでもある。

陽核に電子が n 個入出すれば陽核の荷電量は n 單位だけ減じ或は増すのである。陽核の荷電量は即ち元

素の原子番號である。然し電子の出入に依つては原子核の質量は殆んど變はらぬのである。即ち原子量が相違してゐて、然も原子番號即ち元素としての性質の同じい個體がある。斯かる個體を同位體と云ふ。

原子の核外電子（惑星電子の事）が原子より出入すれば其元素の陽イオン又は陰イオンが生じ、其出入の數に依つて原子價が定まる。

一般に原子核が陽子の質量の整數倍である故に、原子量は凡て整數に近からねばならぬのに、實際には之より偏倚を示す元素が若干在る。是は前に述べた同位體の混合に依るので、個體としては原子量が整數であつても、其混合の割合に依つて原子量は小數を伴ふのである。

電子は負の電氣を有する微粒子である。其大いさは原子の十萬分の一である。

質量は、水素一原子の質量の約 2000 分の一である。其持つ荷電は電氣量の要素である。電子の荷電よりも少い電氣量は無いのである。

電子の荷電を測るには、吹かれた油滴を、重力と上方に向ふ電氣力との二つの作用の下に、顯微鏡下で觀察するのである。若し油滴が浮遊するならば、其重さが電氣力と等しいのであり、此電氣力は與へられた電場では電子の荷電に比例するのである。滴の重さは其落下の速さから或關係に従つて測られ、従つて荷電が測られるのである。荷電が充分小さければ、其量は電子荷電の數倍となる。で、是等の中最小の荷

電を求めれば夫が電子荷電となるのである。

電子荷電が知られるならば水素原子の質量も次の如くに知り得るのである。

ファラデーのやつた測定に依れば、電解の際に水素の一瓦に依つて運ばれる電気量が知られる。従つて電離（イオン化）した水素原子に對して其荷電と質量との比を知る事が出来る。電離水素原子は一電子荷電を有するので、従つて電子荷電が解れば水素原子の質量が與へられるのである。此様にして一%以内の誤差に於て水素原子の質量が測られるのである。

金屬固體内に流れる電流は原子より遊離した所謂自由電子の運動に依る。電子は負の電氣を有する故、電流の方向と反對に動くのである。金屬を熱すれば電子が金屬の表面から飛び出る。是が熱電子で、ラヂオ用真空管を通る電流は實に此熱電子の運動である。但し電解質内の電流は正負イオンの反對方向の二つの流れである。

電子の質量は、電子荷電の正確なる値が知られる時には正確に知られるのである。如何となれば電子の比荷電（電子の單位質量に就いての電氣量）が、陰極線實驗やスペクトルの研究からして知られるからである。

電子論及び量子論は、物理學に於てのみならず、化學に於ても非常な革命を將來したのである。是等兩

學說に依つて化學が全く新しい基礎を得たのである。實に是等に依つて理論化學の最も古いそして最も基礎的な問題、即ち元素の問題が其解決を見出したのである。

ダルトンの說に依つて、已に十九世紀の初期に於て此問題は大いに重要さを持つ事が認められた。十九世紀の初めには化學者は三〇個の元素しか知らなかつた。次いで多くの稀金屬や稀有ガスが發見されて來、十九世紀の終り迄には約八〇個の元素が知られて來た。更に多くの放射性元素の發見に依つて多くの元素が見出されて來た。

元素の特有的な性質としては、近頃迄は原子量が重要なものとされて來た。そして其爲に常に元素を原子量の順序に排列するのであつた。此順序に排列する時は水素が第一番に位し、ウランが最終位に當たると。酸素の一原子の質量の一六分の一を原子量の單位と選ぶならば、水素の原子量は一・〇〇八であり、ウランのは二三八・二である。

然し斯様な排列に於ては原子量は決して規則的に増して行かない。此排列に於ける二つの相隣る元素の原子量の差は全く相異なり、確かに此排列には尙若干の元素が缺如されてゐる事が明かであり、是無しには排列は充されならしい事が判つて來たのである。是こそ革命的な進歩である。斯くて一九一三年には元素の自然的排列の發見に迄導かれたのである。此發見は若くして死んだモーズレイの御蔭である。彼に

依つて元素の順序とX線スペクトル分析とが親密な關係に齎されたのである。

是は一九〇五年パークラに依つて發見された所謂元素の特性X線の事實に依るのである。陰極線やX線に依つて衝擊された物質は夫自身又X線を放射するもので、此X線の中には、其「硬さ」即ち波長が物質の元素としての化學的性質のみに依るものが含まれるのである。此固有X線は斯くして光スペクトルと同様に元素の特性的な放射線である。此放射線の波長を知る爲には已に上に述べた結晶方法を用ひるのである。固有X線と元素の原子番號との關係の組織的研究がモーズレイの天才に依つて成就されたのである。パークラは凡ゆる固體元素の固有X線スペクトルに於て、K及びL級なる二種類のX線スペクトルを發見した。K級線の方はL級線よりも硬さが大で、振動數は一般にL級のよりも三オクターヴ高いのである。高原子量の元素には尙M級と云ふ軟かい線がある(シーグバーンの發見)。更に高い原子量の元素には更に軟かいN線がある(ドレイセクの發見)。是は其後に見附かつた事である。

モーズレイは違つた元素に就いて特性X線スペクトルを寫眞し、互ひに比較して、驚く可き發見を爲したのである。即ちX線スペクトルに依つて元素を自然的排列に置く事が出来たのである。此自然的排列とは實に原子番號に依る排列であり、特性X線の振動數は原子番號が大となればなる程大となり、夫等の間に或簡單な關係が存するのである。此關係を逆に用ひて元素の原子番號を定める事が出来るのである。

原子番號を横軸に、或級のX線振動數の平方根を縦軸に取ると、直線を以て表はされ得るのである。

元素の同位體は初め放射性元素に於て發見されたものである。トリウム及びイオニウムの鹽が互ひに混合されると、如何なる方法でも以後之を分離する事は不可能となるのである。又トリウムとイオニウムとのスペクトルは全く同じ事も解つてゐる。又普通の鉛とラヂウムDとも互ひに分離する事は困難であり、又ラヂウムと、トリウムより得られるメソトリウムIとも不可分離である事が知られてゐる。

原子核の説が出る前に、是等の事柄を説明する爲にソッヂイは同位體の假説を出したのである。彼は放射性元素の外に不活動性元素に就いても是等の現象を假定したのである。

一九一二年にはJ・J・トムソンは陽極線(真空管内陽イオンの迅速な流れ)分析に依つて稀有ガスたるネオン元素は二種類在り、原子量が夫々二〇及び二二なる事を證明した。一九一四年には、鉛の原子量は、普通の鉛、ウラン鑛よりの鉛、トリウム鑛よりの鉛と夫々原子量が相違する事をも確めた。

同位體の深い研究は、一九一九年にアストンが非常な巧妙な方法で陽極線分析を質量スペクトル計となして、行つたのである。陽粒子の通路に當つて電場及び磁場を加へ、速度が違つてゐても質量の同じい粒子を同一點或は同一の線上に凡て集合せしめ、其所に置かれた乾板の上に明瞭な像を作らしめるものである。電場内では粒子の路は拋物線であり、其徑の彎曲は粒子の質量と其速さとに關する故に、同一質量の

粒子に對しては一般に彎曲が相違する譯である。電場を通り抜けた後に更に之に磁場を加へ、斯くして粒子を質量の順に分けたのである。で、粒子の質量を互ひに比較し、同位體の質量を正確に定める事が出来たのである。此結果同位體の原子量は水素原子の約整数倍である事が明かになつた。鹽素は原子量表に於て知るやうに原子量が整数より非常に偏つてゐる。が、三五・〇と三七・〇との原子量の二個體の混合なのである。

同位體の部分的分離は、原子量の相違を用ひる方法に依らねばならぬ。蒸發の速さは原子量に依るのであるが、プレンステッドとヘヴェシーは反復蒸發に依つて二つの水銀同位體を發見し、又二種類の鹽素個體をも發見した。

放射性元素はアルファ、ベータ、ガマの三種類の放射線を出してゐる。そして一つの元素が他の元素に自發的に變化しつゝある。アルファ放射線は正荷電微粒子より成り、ベータ線は電子より成り、ガマ線は非常に波長の短いX線である。前二者は核内より發射される故に一つの元素が他の元素に自然的に轉換するのである。

今日元素の轉換系統には二種ある事が知られてゐる。一つはウランより發見し、ラヂウム族とアクチニウム族とに分れるもの、他はトリウムを出發點とするものである。ウラン——ラヂウム系、アクチニウム

系、トリウム系、共に終端產物は鉛である。

カリウム及びルビヂウムはベータ放射線をするものと考へられてゐるが、疑問とする人も在る。

アルファ粒子は正二荷電を有する故に、一個のアルファ放射に依つては放射性元素の原子番号が二つだけ下がる。ベータ粒子は負一荷電を有する故、一個のベータ放射に依つては原子番号が一つだけ上がるのである。一方アルファ粒子は水素原子の四倍の質量を持つ故、一個のアルファ放射に依つては原子量は四だけ減ずる。一個のベータ放射に依つては原子量は變はらぬ。是等の元素轉換に於ける週期律上の變位則は一九一三年ソッヂイ及びファヤンスに依つて同時に獨立的に發見されたのである。此法則に依つて凡ゆる轉換產物の化學的性質を定める事が出来るのである。

一九一九年ラザフォードは始めて人工的に低原子量の元素の破壊を企てた。

ラザフォードの發見は、ガスの中を通してアルファ粒子を通すに在る。アルファ粒子がガス原子の核に衝突するとアルファ粒子は側方に跳ねられる。此時反作用として原子核も後方に押される。軽い粒程多く押される。マルステンには水素の中に通す時、硫化亜鉛のスクリーンの上に置けるシンチレーションがアルファ粒子の源より八〇種以上離れた所に生じた事を知つた。アルファ粒子自身は二四種の射程しか無いのである。ラザフォードは後實驗的に、此粒子は水素原子核と全く同一なるものたる事を確めた。此發見の

後マルステンとランツベリーとは非常な事實を發見した。ラヂウムCを塗つたニッケルの板が、空氣中を
通してシンチレーションを起す事はアルファ粒子よりも長い射程に於て起る事を知つたのである。

ラザフォードは此不思議な現象を研究し、シンチレーションの數はニッケル板とスクリーンとの間に在
る物質に依る事を知つた。酸素を持つた空氣や炭酸ガスを持つた空氣では餘り變りはないが、純粹な窒素
を置くとシンチレーションの數は非常に増す事を知つた。ラザフォードは此處に窒素原子核が破壊され得
る事を發見したのである。原子核が破壊して夫より水素原子核が飛び出るのである。

水素原子核が窒素原子核に當たる機會は非常に少く、十萬個の中一個の割合である。

核破壊はアルファ粒子に依つて起される一種の爆發である。核から出る水素原子核の運動エネルギーと
核を打つ粒子の運動エネルギーとを比較すれば此事が明かになる。

五 量 子 論

運動論的熱論や電子論に於て原子論的原理は、物質の内の運動狀況や電氣學に應用される事に依つて已
に大いなる成功を收めたのである。此原理に更に一般的な擴張を與へようとして量子論が生れ出たのであ
る。是は一九〇〇年熱輻射論の問題から起り、夫以後急速に、尙未だ完了しない形に於て發展しつゝある
のである。是は一般的輻射法則の導來を可能ならしめ、光の傳播に關して新しい假定に迄導いたものでは
ある。又量子論は低溫度に於ける物體の性狀に關し、是迄不可解とされたものを説明した。然し最も著しい
成功を收めたのはスペクトル論への應用であり、之に依つて原子の内の構造が闡明されたのである。

運動論的熱論や電子論は原子論的原理を物理學的現象の上に應用したものである。量子論は原子論的原
理を物理學的過程夫自身の上に移したものである。已に物理學が質量の素量性や電子の素量性を考へたや
うに、量子論は物理學的過程を要素化したのである。物理學的過程をディスクリートのものとして測る
のであり、その大いなる意味は已に十八世紀に於て認められた處である。夫は過程の所謂作用量であり、
是はエネルギー量に時間を乘じて得られる量である。量子論は、物理學的過程の作用量が要素的作用量よ

$$N_1 + N_2 + N_3 = 0 \quad \sum d_i = \sum E = \sum A$$

り成立するものと假定する處に、其基礎を置く。

此思想の應用は先づ熱輻射の理論に向けられるのである。現代の立脚地からは、輻射論は、空間に充つる電磁波と微小力學的現象との間の相互關係と相互作用との理論として現はれてゐる。最近の輻射論の基礎は、一八五九年キルヒホッフに依つて建てられた主要なる法則である。是は所謂發散率に關する。是は熱體表面の單位面積から單位時間に放出されるエネルギーの事である。キルヒホッフは、物體の發散率は其温度と、其物體の熱吸收度とに關する事を示した。熱輻射即ち夫に落ちる電磁波を凡そ完全に吸收し、従つて電磁波を少しも反射しない物體は完全暗黒體なりと云ふ。で完全暗黒體の發散率はキルヒホッフに従へば單に温度のみに關する事になる。

此依屬性は如何なるものであるかは、一八七九年ステファンに依つて發見された。そして彼に依つて發見された法則は、ボルツマンに依つて始めて正確な理論的根據が與へられたのである。所謂ステファン \parallel ボルツマンの法則に従ふと、一物體の發散率は物體の絕對温度の四乗に比例するのである。暗黒體の發散率と其絕對温度の四乗との間の關係は夫故に普遍的常數であり、之をステファンの常數と名附ける。熱體の冷却を測つて此値を求める事が出来る、熱體から出る輻射は色々の波長の電磁波から出來てゐる。凡ゆる可能の波長の波の總合體を、廣義のスペクトルと稱へる。熱體の輻射スペクトルの凡ゆる部分は同

じ強さで現はれないのである。物體を温めると、初めは暗黒な熱輻射しか放たない。即ち眼に視えるスペクトルの部分は非常に少ないのである。鐵の融解點の攝氏五二五度になると物體が灼熱し出す。初めは赤く、次に黄色に、遂には白色となる。

輻射エネルギーのスペクトル分布の問題は中々に困難なものである。國家の會計は國庫の各收入機關の收入を論ずる。或一定高を距てて歳入の級別をやる。そして全體の何%が個々の收入級に來るかを論ずる。斯くて全體の收入の中最高收入額を示す級が指定され得る。全く同様の方法でスペクトルを波長に従つて分類し、一物體より放たれるエネルギーの何%がスペクトルの各級に來るかを研究する。そして此%が最大なるスペクトル級を見出すのである。

一八九三年ヴィーンは理論的に次のやうな重要な關係を見附け出した。曰く、最大エネルギーの波長と輻射暗黒體の絕對温度との相乘積は普遍的常數であると。此常數をヴィーンの常數と云ふ。で、温度が高い程此波長が愈々短くなる。で、最大エネルギーのスペクトル部分は、温度が昇ると共に短い波長の方に移る。此法則をヴィーンの變位則と云ふ。其正しい事は實驗的研究に依つて完全に證明されて居り、且つ之に依つてヴィーンの常數を可なり正確に求める事が出来るのである。

變位則の發見は熱輻射の問題、即ちスペクトルのエネルギー分布と温度との關係の問題の解決に對して

非常に本質的な成功を意味する。此問題に對しては古典物理學は何等の役に立たぬ。古典物理學でやつたのと、量子論でやつたのとは違つた法則に導く。古典的でやつたものは其妥當範圍が極めて限られてゐる。

一九〇〇年プランクは要素作用量の説から熱輻射の問題を論じ、一般的な法則を求め得たのである。

プランクは輻射は不連続的に起るが、吸収は連続的に起ると假定した。輻射の不連続性に於てエネルギーの要素が現はれる。此エネルギー量子は、之と一週期の時間との相乗積が作用量子に等しいと云ふ事を要求する。振動数は振動週期と逆の關係に在る故に、各エネルギー量子は作用量子と振動数との相乗積に等しからねばならぬ。色の違つた輻射のエネルギー量子は其エネルギー量相等しからず、波長の短い光程エネルギー量子は大きいのである。

此エネルギー量子の假定に依つてプランクは熱輻射の理論を導く事が出来た。凡ゆる温度に對してスペクトルの各部に於ける輻射エネルギー分布が實驗と相對應するやうな理論である。プランクの法則からは二つの方程式が結果する。是は、ステファン及びヴィーンの法則を近世物理學の二つの基礎量に結附けるものである。

プランクが作用量子に對して得た處の値は非常に小さいものである。

プランクが量子論を基礎附けた後、一九〇五年にアインシュタインは量子原理を多くの現象に應用した

のである。此現象たるや一つの光が他の光に、或は運動エネルギーが光に相互轉換する場合である。前者は燐光又は螢光現象であり、後者は陰極線がX線に變はる現象である。又光電効果とて、紫外線又はX線が物體に當たる時に夫より電子を發散させる現象も、第二の範類に屬する。

是等の現象に關して、アインシュタインは、光夫自身が光電子の群團として傳播するとし、其エネルギー量子は作用量子に振動数を乘じて定められるとした。此假說の下に、アインシュタインは光電効果に對して一つの法則を導いた。是は實驗の結果と良く一致するものである。アメリカの物理學者ミリカンが之に依つて作用量子の直接的決定をやつたのである。ミリカンの値はプランクが全く違つた方法で導き出した値と良く一致するのである。

アインシュタインが光量子の假說を出して二年の後、彼は固體の比熱の理論に量子論を應用した。一物體の比熱とは、其物質の單位質量を單位温度だけ高めるに要する熱量である。一八一九年にデュロンプチイは固體元素の比熱と其原子量との興味ある關係を發見した。即ち此兩者の相乗積——之を原子熱と云ふが——が、凡ゆる固體元素に對して大體同一の値を持つと云ふ事である。之をデュロンプチイの法則と云ふ。然し此關係は低原子量の元素に對しては可なり除外があるのである。ベリリウム、硼素及び金剛石に於て殊に之を見る。更に金剛石に於ては之を非常に冷やすと非常に其比熱が減ずる事が其後確められた

のである。

デュロンルプチイ法則よりの除外は古典學説では説明が難しいのである。アインシュタインが量子論を固體の比熱に應用し、固體の熱量は原子の振動に依るとし、此振動のエネルギーはプランクの假説の意味に於けるエネルギー量子より成立し、振動數に比例するとした。アインシュタインの假説に依つて、低溫度に於ける比熱の低下が了解されるのみならず、室溫に於てすら低原子量元素に於て見る處のデュロンルプチイ法則よりの偏倚も亦説明された。アインシュタインの思想は、後に多くの人が發展した。特にデバイはアインシュタインの法則を完全にし、之に依つて實驗との一致を良好ならしめたのである。デバイは一九一二年、非常に低い溫度では固體の比熱は絶対溫度の三乗に比例する事を導き出した。デバイの定理は其結果に於て、一九〇六年已にネルンストが發表した原理をも含んでゐる。ネルンストは、非常に低い溫度では比熱は溫度が下がると共に減ずる事を發見した。

又、デンマルクの物理學者ボーアは量子論をスペクトルの問題に應用した。

ボーアは作用量子の假説をラザフォードの原子論（惑星電子に依る原子の構造説）に融合させ、スペクトル論の基礎を造り、依つて原子構造の困難なる問題を解いたのである。

一八五九年キルヒホッフ及びブンゼンが、化學的要素のスペクトルは其元素に對して特性的である處の

一定波長の線より成る事を發見した。一八八五年にはバルマーが、水素スペクトルの線の間には非常に簡単な數的關係が在ると云ふ重要な事實を發見した。即ち各個の水素スペクトル線の振動數は $\nu \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ の形式に依つて表はされ得るのである。此處に n 及び m は常に簡單な整數であり、 R は一定振動數を意味する。（此振動數に相當するスペクトル線は可視重線よりも約二オクターヴだけ高い。）

スウェーデンの物理學者リドベルヒは此振動數 R は單に水素のみならず、他の元素のスペクトルに於ても重要な役割を演ずる事を發見した。此 R をリドベルヒ常數と云ひ、普通常數の役割を持つのである。

此 R は原子論の基本量と量子論の基本量とに關係ある事が其後に解つた。

一九一三年にはボーアは水素スペクトルの規律性をば、ラザフォードの原子模型に應用して説明した。ラザフォードは、水素原子は正電氣を持つ原子核の周りに電子が一個廻轉するものと考へた。ボーアは量子論を二重に此模型に應用したのである。第一は電子の廻轉運動に關するものである。古典物理學に依れば此運動は全く任意の大いさの軌道に沿うて起り得るのであるが、ボーアは可能軌道は特出的なものであり、此軌道運動を定める作用量は作用量子の或整數倍なりとしたのである。其軌道に一作用量子が賦與された場合には之を一量子軌道と云ひ、二作用量子が相應する場合には之を二量子軌道と云ふ。或量子數の各軌道には一定の半徑、速度、エネルギーが相應する。一量子軌道を正常状態と稱し、水素に於ては此

軌道に在る電子の速さは光速の一四〇分の一である。一量子軌道に於て水素原子が持つエネルギーはリドベルヒ常數に作用量子を乗じて得られる。一量子軌道の大きさは百萬分一耗の二〇分の一である。

或量子數の軌道の半徑は、一量子軌道の半徑を量子數の自乗で乗じて得られる。二量子軌道の半徑は一量子軌道の四倍、三量子軌道のは九倍等となる。エネルギー量に對しては此逆が成立する。即ち二量子軌道のエネルギーは一量子軌道の四分の一、三量子軌道のは九分の一等となる。

水素スペクトル線の振動數が或二數の差で表はされ得ると云ふ事に對しては、ボーアは第一の假定の外に更に第二の假定を建てた。是はアインシュタインの光量子説より來るものである。ボーアは、原子が一つの「量子的に許された」軌道から他のより小さな量子數の、許された軌道に移る時光を出すものとし、此兩軌道に屬するエネルギー差を光量子のエネルギー量子として出すものと假定したのである。此振動數條件に依つてスペクトルの振動數が定まるのであるが、エネルギーは量子數の自乗に逆比例し、水素スペクトル線の振動數は二つの項の差として表はされるのである。更にリドベルヒ常數のRが電子の常數と關係するので、作用量子をスペクトルの測定から知り得るのである。斯くして測られた作用量子はプランクやミリカンの求めた値と良く一致するのを見る。

各スペクトル線は二つの状態の間の轉移として考へられるのである。で、終端状態が同一でも、最初の

状態が違へば、種々の振動數のスペクトル線が現はれる譯で、從つて此處に一つのスペクトル線の群（所謂級數）を得るのである。（ m と云ふ數は發散の場合には終端状態を、 n と云ふ數は此場合最初の状態を表はす。 m が與へられても n が種々の整數を取り得るのである。）可視スペクトルは水素の場合二量子軌道への轉移の際に現はれるもので、三量子軌道より二量子軌道へ轉移する時は赤の、四量子軌道から二量子軌道に移る時は青の線を出すのである。最初の軌道の量子數が多くなる程スペクトル線は重外部に近づいて來るのである。現在水素の光スペクトルには三三個の線が知られてゐる。終端軌道が一量子に相當するものは重外部に横はり、終端軌道が三、四量子軌道に當たるものは赤外部に横はる。

ボーアの論は又ヘリウムのスペクトルをも説明する。舊誤つて水素に歸された線もヘリウム線である事が、此理論に依つて判つたのである。是は純粹にヘリウムのみを入れたガイスレル管で實驗しても確かめられる。

ヘリウムのスペクトルを説明するには原子核の共同運動をも考慮に容れねばならぬ。即ち核と電子との質量に依つて重心の位置が定まるのである。

一九一五年ゾムマーフェルトはボーア論を異常に擴張したのである。ボーアとゾムマーフェルトとの關係は恰も天體運動論に於けるコペルニクスとケプラーとの比である。コペルニクスは惑星の軌道を圓形と

考へたが、ケプラーは之を橢圓と考へ、非常な發展を致したのと似てゐる。ゾムマーフェルドはボーアとは相違して惑星の軌道を橢圓的なりとして計算を進めた。圓は半径のみに依つて定まるが、橢圓は長短二徑を表はす量に依つて定まるので、理論は複雑する。従つて量子論的には二種の量子数を必要とする。スペクトル線は従つて非常に多様となり、終端及び最初の状態共に二種の量子数が與へられるのである。

ゾムマーフェルドの此理論は各個の線に對して多くの發生可能性を與へるので、ボーア論の如く、同一の線に對して單一の發生可能性を與へるのとは相違してゐる。で、一見新論は舊論の無駄な複雑化に過ぎないやうに見える。然し此論の非常な成功は其基礎定理を相對論と結び附ける時に現はれる。相對論は物質の質量が其速度に依る事を教へる。水素原子内電子の速さは光速の數百分の一に當たる故、古典論よりの偏倚は可なり大きく現はれて來る。

ゾムマーフェルドは、此考慮を以て前述の多くの轉移可能性を論じたが、ボーア論の如くに正確に同一の線を與へなくて、振動数が互ひに非常に僅かに偏倚する處の違つた數種の線を與へる事を知つた。即ちボーアの各線は實は非常に相近い多數の線の群團より成る事を知つたのである。此群團の構造を細微構造と云ふのである。

非常に分解度の高い分光器を以て見ると、ヘリウム線は特に其細微構造が良く解るのである。そして此

測定はゾムマーフェルドの理論を充分に定量的に證明した。

スペクトル測定に依つて電子の荷電をも計出し得るのである。

同位體と放射性との現象の存在は、原子核が正負の荷電粒子より成る事を證明するものである。正荷電が勝つ爲に核の全電氣量は正となるのである。核外に於ける電子の群團は量子條件で定められるので、原子は(稀有ガスは別として)、電子を他に與へ又は他より受ける傾向を示すのである。斯くして原子の中性性が起り、又原子の正或は負電離が起るのである。斯くして生じた原子の荷電は、電氣引力で他の原子と中和せんとする。是が原子や分子を造る現象である。反對荷電の原子の斯かる結合をば異極結合と云ふ。又各原子は夫自身正及び負の荷電粒子より成る故に、二つの中性原子は互ひに引力を及ぼし、兩原子の反對荷電が互ひに近寄る場合には、之を同極結合と云ふ。

同極結合の最も重要な例は同一元素の二個の原子の間に見られる。ガス状態では水素、窒素、酸素及びハロゲンの分子は二原子であり、セレン、テル、もさうである。硫黄の分子は八原子であり、磷は餘り高くない温度では四原子である。週期律の第一群の金屬では、蒸氣密度の測定は、分子が成立してゐない事を示す。即ち一原子分子である。是が稀有ガスの場合にも起つてゐる事は、其化學的不能性からも明かな事である。

分子積成の特殊な場合は結晶生成であり、之に就いてはラウエの發見以來非常な知識が得られてゐる。ラウエ寫眞からして一九一三年W・H・ブラッグとW・L・ブラッグ（父子）が明瞭に、岩鹽等の結晶構造を定めたのである。岩鹽は鹽素とナトリウムとの同數原子の結合より成るのであり、ブラッグが示したやうに、岩鹽の結晶は非常に簡單であり、ナトリウムと鹽素との原子が交互に同距離にサイコロ型に排列してゐるのである。

金剛石の結晶は之とは全く違つた、より複雑な、炭素原子よりの構造を持つ。即ち任意に取つた四つの相隣つた炭素原子が一つの四面體を形造るのを見る。

ガスを容器に容れる時、其示す壓力はガス分子が壁に反撥する際の壓力に依つて起る。此思考は其後大いに發展され、ガスに關する凡ての性質が之に依つて説明された。ガスを熱すれば分子の運動エネルギーは大となり、冷やせば運動エネルギーは小となる。

ガス運動論の更に明瞭な證明は、今より一世紀も前に植物學者ブラウンに依つて觀察された現象であり、ブラウン運動と名付けられてゐる。

今空氣中に在る一つの物體を考へるに、是は凡ゆる方向から空氣分子の衝突を受けるのである。然し物體が相當に大きいならば、多數の分子が打つかる爲に其壓力が四方平均して來る故、夫が少しも動搖的運動をしないであらうが、若し小さな物體であるならば、夫が此動搖運動をやるのである。即ち分子衝突の不規則な爲に活潑にジック・ザックの運動を爲すのである。

一八二七年ブラウンは植物の花粉（一耗の二〇〇分の一位の大きさ）を水に浮べて、顯微鏡下で見た處、夫が盛んに運動し、粒が小さい程盛んになる事を認めたのである。

五十年後にクリスミアン・ヴィーナーは、此運動は液體の内部的運動狀況に因るものとした。

氣體に於けるブラウン運動はずつと後にエーレンハフトが研究し出した。

ブラウン運動の正しい理論はアインシュタイン及びスモルコフスキーに依つて建てられた。

ガス分子の密度が偏倚すれば、従つて光に對する屈折率の偏倚を起すのである。

スモルコフスキーは原子論派の一方の大家であり、二十世紀の初めに於ける此方面の進歩に對して多大の貢獻を爲した人である。彼は天の青色は空中に於ける屈折率の偏倚に因るものなりとした。此見解の正しい事は、色々の面白い實驗で疑ひ無く證明された。更に、スモルコフスキーの理論の根柢に立つて天空の光學的測定から分子の大きさを定める事が出來、是は他の方法で得られた値と良く一致するのを見るのである。

六 天文物理學

自然科學の中で星學は一番年代を経る事の遠いものである。古代の凡ての文化國民は星の輝く空を探究する事に科學的研究の端緒を持った。然し十八世紀の終り迄は、太陽系の研究以上に離れる事が無かつたので、星學は其原始的問題を離れる事が出来なかつた。一世紀前には恒星の天文學は所謂天球の上に星が存する見掛けの位置の記録と表記とに限られてゐたのである。或は多くとも、星の見掛けの明るさと其位置の變化との比較に過ぎなかつたのである。

十九世紀に於て初めて星宇宙の構造と恒星の物理學的性状とに關する正確な研究が始まつたのである。そして二十世紀の初めより天文學は物理學と相結んで大いなる進展を見、天文學的宇宙觀の大いなる擴張に迄導かれたのである。

恒星に就いての最初の研究としては、我が太陽系の大いさが考へられた。斯やうな距離測定は如何なる方法に依つて可能であるかと云ふに、地球が太陽の周りを公轉する際、地球に近い星は恒星天球上、より遠方に在る者に對し其見掛けの位置を週期的に變へるからである。十七世紀に於て、若干の天文學者は此

方法に依つて恒星の距離を測つたのである。此法を三角法と云ふ。然し最近の恒星と雖も尙非常に遠方に在るが故に、此試圖は常に失敗に歸したのである。一八三七年に於て初めて恒星測距の方法が成功した。是こそケーニヒスベルヒの天文學者ベッセルが達し得た處で、彼の測つた星では、地球太陽間の七〇〇〇〇〇〇倍も遠いものがあつた。

然し此三角法は、星の距離が二〇〇光年を超えないもののみ適用され、距離がより大であると、天空上に於ける其見掛けの年運動は測り得ないのであり、此時、距離の測定は唯、後に述べる方法に依り可能となるのである。

現在、太陽より一六光年より以上離れない星が二〇個知られてゐる。是等の星を最近恒星と呼ぶ。

次に、星が所謂固有運動を示すと云ふ事は十八世紀の初めに始めてハレイが知つた處である。ハレイが若干の星の位置を星圖に書き込んだ處、約二百年前のヒッパルクの星圖に於けるものと相違してゐる事が判つたのである。

十八世紀の後半以來多くの恒星の天球上に於ける位置の變化が明かになつた。星の速さが同一であつても、近い星程必然其位置の變化は大である。アークツールと云ふ星の運動は全く著しいものであるが、それでも見掛けの位置が角の一度だけ變はるのにも約二〇〇〇年を要するのである。

恒星の距離が知れてゐれば、見掛けの位置變化の速さから、必然視線に垂直なる方向の速さが出されるのである。あのアークトゥールでは一秒に付き一四四軒といふ大きな値を與へる。此速さは地球が太陽の周りを廻る速さの五倍位である。然し他の多くの星ではずつと速さは小さいのである。

視線方向の即ち向徑的の速さも今日では天文學者は容易に知り得るのである。之に對しては其星のスペクトルの研究だけで充分である。視線方向の速度の測定には所謂ドップラー効果が其基礎となる。一八四二年物理學者ドップラーは、光源が観測者に近づくか遠ざかるかに従つて、光の色が僅かながら變はらねばならぬ事を證明した。光源と観測者とが相對的に近づく場合にはスペクトル線は董の方に、遠ざかる場合には赤の方に近づくのである。そしてスペクトル線の位置の變化は視線方向の速さに依るのである。

星系の中の一つの星の速さを定めんとするには、測定の値より二つの影響を取り除かねばならぬ。一つは地球が太陽の周りを廻る運動と他は太陽の固有運動とである。後者は統計的見地からして定められるものである。太陽が星系の中を運動する速さに對しては毎秒二〇軒の値が導かれる。是は急行列車の速さの一〇〇〇倍も大なるものである。然し之でも中々遅い方である。

天文學者に對して更に重大なるものは所謂二重星の運動である。已に十八世紀に於て、天文學者は天空に二つの星が非常に近接してゐるものを多く認めたのである。是は偶然の規則に従ふより以上に屢々認め

られた。で、是等は視線方向に於て偶然に一致したのではなく、何か實際に物理學的に關係あるらしいとされたのである。事實十九世紀の初めに於てハーシエルが證明したやうに、當時知られてゐた二重星の多くに於ては兩部分が位置の變化をやるのである。是は確かに相互の萬有引力に歸されるのである。

最も面白い場合では、明るい星が暗い又弱い光の星を伴つてゐる時である。この伴ふ星を伴星と云ふ。

此場合は明るい星が伴星に依つて週期的に蔽はれるので、星の見掛けの明るさが週期的に變はる事になる。此中最も有名なのはペルセウス座のアルゴール二重星である。

多くの二重星では、其二重性がスペクトルで知られる。此場合、各星は個々に見又は撮影する必要はない。此中特に密に接近した二重星をスペクトルの二重星と云ひ、肉眼で兩部分を區別し得るものに對せしめる。スペクトルの二重星はドップラー効果で知られる。若し兩部分が週期的に其共通重心の周りを廻はるならば、其一つの星が、或時は観測者に近づき、或時は遠ざかる譯である。で、若し或一つのスペクトル線に着目するならば、一つの星は自己に近づく故董色の方に變位し、他の星では自己より遠ざかる故に赤色の方に變位する。で、線の二重性が現はれ、線の幅が週期的に變化せねばならぬ。

二重星の週期は比較的容易に観測に依つて知られる。肉眼で視える二重星では廻轉週期は五年乃至數百年を要する。スペクトルの二重星では廻轉週期は數十年、數年、數日或は數時間である。

肉眼で観える二重星に於て、吾人よりの距離が知られるものならば、兩部分の天空に於ける相互の見掛けの距離より自然的に兩者間の眞の距離が知られ得るのである。例へばアルファ・セントウリといふ二重星では兩部分の距離が、地球軌道の二〇倍位あり、太陽と海王星との距離の三分の二ある。非常に近いスペクトルの二重星の中では、その相互の距離がもつと小さいものが多い。

一つの二重星の軌道が知られてゐる場合に、萬有引力の法則から兩星の質量が導かれるのである。例へばシリウスでは、明るさの強い方は太陽の質量の二倍半、明るさの弱い方は一倍位である。

アルゴールのやうに、一星が週期的に蝕する星では、我が太陽系よりの已知の距離よりして、又其兩星の直徑が知られ、已知の質量よりして密度も知られる。アルゴールの兩部分星に對しては約太陽の密度の一〇分の一位であり、即ち水の密度の七分の一である。

二重星は決して稀なものではなく、却つて多數の星は二重的であると云つて宜い位である。我が太陽は單一星であるが、單一星は二重星よりも數が少いのである。更に天文學者には三重星が知られ、又四重星又五重星も知られてゐる。北極星は三重星である。

距離の知れた星では、其絶対光度が互ひに比較され得るのである。光源の明るさは光源よりの距離の自乗に逆比例する事は人の知る通りである。で、此法則から星の絶対光度を知る事が出来るのである。

面白いのは太陽の光度が他星の光度に比して如何様であるかと云ふ事である。最近星では光度が太陽を凌駕するものは四個しか無い。シリウスは其一つで、是は太陽の三〇倍も明るい。又アルファ・セントウリは一倍半明るい。他の一六個の最近星は太陽よりも明るさが弱い。

光度の相違に星の大いさの相違が伴ふ事は、最近の星直徑の測定から解つて來た。アメリカの物理學者マイケルソンが干渉法を用ひて、星光を干渉させて星の角直徑を測つた。一九二〇年カリフォルニアのウイソン山天文臺に於て、ベテルギウス星等の直徑を測つた。是等の星は距離が知れてゐるので、實際の直徑が直ちに知られたのである。ベテルギウスでは太陽の三〇〇倍の直徑があつた。此星は若し之を太陽系に持つて來るならば、火星の軌道位置迄を蓋ふ位の大きな大いさを持つのである。そして其密度は非常に稀薄な事が知られた。

星の光度の相違と關係して、星の色、所謂スペクトル型なるものがある。星の色の相違は眼にも解るが、例へばあのベテルギウスは赤く見える。所謂白星に於てはヘリウム又はヘリウムと水素との線スペクトルが見られる。黄星には更に金屬の線スペクトルが現はれる。赤星に到つては多數の線と所謂帶スペクトルとが現はれる。

連続的に變化相違のあるスペクトル型に従つて、今日我々は星を多數の級に區別する。此級を更に細別

もする。そして一つの星の型式は其スペクトルに従つて可なり明確に定められ、且つ明瞭に記述されるのである。然し此所では單に白、黄、赤の三大別のみを論じよう。(白星に於ては所謂ヘリウム星と水素星とに分ける事がある。)

スペクトルの強さは温度に關する事は良く知られてゐるから、表面の温度をスペクトルから知る事が出来る。表面温度は赤星に對しては最も低く、三五〇〇度位である。黄星では四〇〇〇度から九〇〇〇度の間に在り、白星では、水素星は九〇〇〇度乃至一二〇〇〇度、ヘリウム星では一二〇〇〇度乃至二〇〇〇〇度の温度に在る。

現在天文學者はスペクトル型と絶對光度との間の關係を深く研究し得るやうになつた。夫に依ると赤星にも黄星にも明かに二つの違つた星群があり、一つは非常に大なる光度の、他は比較的に小さな光度のものである。是等兩種の星を巨星及び矮星と云ふ。

赤星に於ては此兩群の相違が殊に著しく現はれて来る。赤星は巨星としては太陽よりも數百乃至數千倍大なる光度を有し、矮星としては其光度が遙かに太陽よりも劣る。赤色巨星としては先に述べたベテルギウスがある。

黄星でも巨星と矮星との區別がある。然し光度の相違は赤星程に大きくない。黄色矮星の例には我が太

陽及びアルファ・セントウリがある。赤より白に向ふに従つて巨星と矮星との光度の相違は小さくなる。白星では此相違は無くなる。

巨星と矮星との二星群の對立は非常に面白い意味を持つ。是はラッセルが一九一四年に發表したものである。是は今日も一般に承認されてゐる理論で星の進化の問題に關するものである。ラッセルは一つの星に於て上昇の道程と下降の道程とを區別した。上昇進化は巨星として赤——黄——白の順序を經過し、下降進化では矮星として此逆の順序白——黄——赤を經過する。

赤星の初期に於ては温度は餘り高くなく、大いさ非常に大きく、従つて密度が小さいのであるが、次第に收縮し、同時に其爲に熱を發生するのである。此熱の發生量は發散に依つて失ふ熱量よりも大であるが故に、温度は先づ上騰し、爲に初め赤色であつた星は次第に黄星、白星に變はる。然し纏て臨界状態が來、發散に依つて失はれる熱量は最早補充されなくなる。さうすると温度が下り、收縮が續く。星は密度の大なる黄色の矮星となり、後には星の放つ光は赤外部に屬するか、又は光を放たなくなる。星が此時期に達すれば、夫は最早見えなくなる。我々の太陽は此下降期に在る矮星なのである。

此ラッセルの思想を更に擴充したのは一九一六年のエッチントンの説であつて、エッチントンの説は星の内部の平衡に關する問題を取扱ふものである。

近世の天文學は星を、必然的に、非常に大きな輝いたガス球として考へる。此ガス球が固有の萬有引力で保持され、且つ内部には、常に熱を發生すると共に又常にエネルギーを放散してゐる。エッチントンは此ガス球の平衡に關して所謂輻射壓なる因子を入れたが、是は今日迄看過されてゐた處のものである。

近世の物理學は、電磁エネルギーの輻射と共に夫に或壓力が伴ふものであると考へる。此壓力は太陽などに就いては勿論小さいもので、非常に正確な實驗方法で辛うじて知られ得る位のものである。然し星の内部から表面へ向つて出る巨大なる輻射に於ては、輻射壓は非常に大きな値を持ち、大きな萬有引力の壓力の大きいさを持つのである。

純粹理論的にエッチントンは非常に重大な認識に迄導かれたのである。即ちエッチントンは、巨星位の密度のガス球に對して、輻射壓と引力壓との間の關係を論じた。此兩者の比は質量と共に増し、遂には此比が一と爲る。但しガス球の質量が非常に大きくなる時初めて輻射壓が引力壓に對して現はれて來るのである。然し輻射壓は内部より外部へ向ひ、引力壓は外部より内方へ向ふ故に、遠心力などが現はれる場合には斯かるガス塊が分散するに到るので不安定である。

他の非常に注目すべき結果をエッチントンの理論が與へてゐる事をば次に記さう。

星が其進化の道程に於て一般に到達し得る處の最高の溫度は其質量に關する。質量が大きい程星が進化

の頂上に於て達する溫度が大となる。ヘリウム星に迄達するには、其質量は太陽の質量の七倍を持たねばならぬ。太陽位の質量の星は水素星位の所に達するのである。星の質量が太陽の質量の一〇分の一よりも小さければ三〇〇〇度の溫度に達する事は出來ぬ。此溫度に於て辛うじて星が眼に視え得るのである。是が可視星の質量に對する最低限度である。又星の質量が増すと輻射壓が増し、非常に大きな質量の星を分散させるが故に、星の質量の最大限も自ら定まるのである。

星の質量が小さい程、エッチントンの理論に依れば、其生命が短いのである。そしてより短い時間に其全進化過程が終はるのである。

太陽の年齢の上限として、相對律より來る、エネルギー即ち質量の定理に依る計算がある。

太陽が熱を輻射すれば夫と共に質量を失ふ譯であり、太陽は實に一秒間に四百萬噸の質量を失ふのである。昔は今よりも其輻射が強かつたのであらう。是等の點から太陽の年齢の上限が定まるのである。

又太陽の年齢は地球の年齢よりも短い事は無い。で、下限を決定する爲には放射性原子崩壞の現象を考へるのである。凡ゆるウランは鉛と化するが、此鉛は普通の鉛の同位體である。事實凡ゆるウランには鉛が含有されてゐるのであるから、是等の鉛の原子量を測定すると、初めよりウランに含まれた普通の鉛と、ウランより來たウラン鉛との分量を知る事が出来る。ウランのウラン鉛の含有量は分析の結果四

乃至二一%を與へる。

ウランの半壽命よりして、八千萬年の年齢のウラン鉛は一%のウラン鉛を持つ事が解る。之よりしてウラン鉛の存在する地質層の年齢が最低三億年となるのである。

二十世紀以來、天體物理學は非常な進歩を爲した。宇宙の空間的結構に就いて新しい知識が得られ、天文學的宇宙觀の非常な擴張が見られた。

宇宙の結構に關して最も必要な事は距離の測定が可能となつた事柄である。天文學的方法是は二〇〇光年以上の距離に於ては已に役立たなくなる。そして一九一四年迄はより以上の距離は統計的見地に於て非常に難駁に定められたに過ぎぬ。然し夫以來遠い天體の距離を可なり正確に測る新しい方法が出來た。

此新方法に先づスペクトルの距離測定法が依屬する。黄矮星では或カルシウム線が特に明かであり、黄巨星では夫が非常に弱い事、並びに、黄巨星では或ストロンチウム線が特に其強さが強く、黄矮星では夫が特別な強さを持たぬ事が解つた。

アダムスとコールシュッテルとは統計的に、三角測距が行はれた、絶対光度の知られた凡ゆる星に就いて、與へられたスペクトル型に就いて、個々のスペクトル線の強さと絶対光度との間の關係を研究した。此關係よりして、スペクトル線の強さは其温度の外密度に依り、又與へられた温度に於ては絶対光度は表

面の狀況に依り、表面の狀況は又與へられたる質量に於ては密度に依つて定まる事を知るのである。

アダムスとコールシュッテルとが線の強さと絶対光度とを種々のスペクトル型に就いて研究して以來、天文學者はスペクトル線の強さから絶対光度を定める方法を得たのである。さうすれば見掛けの強さから距離が知られるのである。

他の新法は、變光星の性質を用ひるのである。此變光星なる星群は、數日又は數時間を週期として其強さを變へるものである。所謂セファイドである。此名の由來したのは此種の第一に知られた星はデルタ・セファイドであつたからである。

南半球の二つの密なる星團（所謂大マゼラン雲、小マゼラン雲）の中には特に變光星が多い。小マゼラン雲のセファイドに於て週期と見掛けの明るさとの間の關係が知られてゐる。此雲の距離に對しては各個の星の間の距離は考へなくて宜しい位であるから、上の關係から絶対光度と週期との間の關係が式化される譯である。實に絶対光度は週期の對數に比例するのである。

で、或一つのセファイドに就いて距離、從つて絶対光度が知られるならば、此法則から週期の各値に對して夫に相應する絶対光度が知られる。或數種のセファイドに就いて距離が實際に知れてゐるので、凡ゆるセファイドに就いて上に述べた根據から絶対光度や從つて距離を知る事が出來るのである。

スペクトルのに測られた各個の星の中で最も遠いのは三〇〇〇光年である。全球形星團は扁平な迴轉橢圓體を形成してゐる。そして星團は中心に向つては外方よりも密度が大である。銀河面は此迴轉橢圓體に對する對稱面を形造くる。ガリレイは已に銀河は無数の星より成る事を見附けてゐる。

太陽は大體銀河面内に横はり、銀河の中心より約六〇〇〇〇〇光年離れてゐる。銀河に屬する天體以外に、尙所謂螺旋狀星雲なるものがある。アンドロメダの大星雲は特に壯麗なるものである。現在知られてゐる螺旋狀星雲の總數は百萬に上る。銀河の北極に當たる方向に多く存するやうである。

銀河も螺旋狀星雲より由來した一つの宇宙である。他の螺旋狀星雲も亦一つの宇宙である。是等宇宙を包含するものが大宇宙である。

空間が無窮であり、一樣に星を以て充たされてゐるならば、古典的萬有引力説に依れば各天體には凡ゆる方向より全く不定な力が働く譯である。さうすると例へば我が太陽系に見るやうな安定は全く得られなくなる。他方宇宙が無限であり、星數が有限なりとすれば星が無限宇宙の中に消失しないかの疑問が起る。

一九一七年アインシュタインは其萬有引力論より、宇宙は境界無くして有限の體積を持つとした。其爲

には宇宙空間が全體として曲率を持たなければならぬのである。所謂球空間である。

文 獻

一 相對論に關しては拙著『書換へられたる物理学』、『アインシュタインと其思想』（東京内田老鶴園發行）。

Einstein: „Die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie.“ (Sammlung Vieweg, Braunschweig, Heft 33.) を参照。

二 量子論に關しては拙著『量子論』（東京内田老鶴園發行）、『新量子力学及び新波動力学論叢』（東京大鏡閣發行）

Reiche: „Die Quantentheorie, ihr Ursprung und ihre Entwicklung.“ (Berlin, Springer, 1921.), 221 を参照。

三 熱電子に就いては拙著『電子論』（内田發行）参照。

四 氣體運動論の最初は Daniel Bernoulli に溯る。彼は此理論の基本思想を一七三八年に發行された

Hydrodynamics に發表した。

五 天文学の發展に關しては、

Elis Strömgen: „Astronomische Miniaturen.“ (Deutsche Uebersetzung bei Springer, Berlin 1922.) 參照。

六 インドの物理學者 Megh Nad Saha は特に星の密度と温度とが如何に種々の天體のスペクトル線の強さを變ずるかを考究した。

„Die Naturwissenschaften,“ 9, 1921, 863—872.

七 本文の記事は多く Arthur Haas 氏の „Naturbild der neueren Physik“ に依る。記して著者に謝する。

七 電氣學の論語讀み二章

長岡博士は嘗て、「論語讀みの論語知らず」の語を以て物の根本知識を忘れる私共に警告された。根柢を忘れて枝葉に奔るは人間の通弊である。嘗に日常生活に於てのみならず、學問界に於てもさうであることは遺憾である。電氣學に從事してゐる者が電氣の何物なるかを知らぬなど比々皆然り。こゝに電氣學に關聯した最近の消息二つを掲げるのも、この根柢を忘れざらんためである。

近代に到つて物質觀、電氣觀が革り、電氣量に素量あること、作用量又はエネルギー量に素量あることも明かにされた。尙近年物質波動論が出でて、素朴なる物質觀が改められて來た。

物質觀の改革は、放射性元素の變脱の發見に始まる。ラヂウム原子が崩壞する時は、その原子核より毎秒 16,000 粒の速さでアルファ粒子を抛げ出す。アルファ粒子はヘリウム原子の核である。又ベータ粒子は毎秒 300,000 粒の速さで抛げ出される。これは電子である。尙この外にガマ線といふ極短電磁波を發射する。放射性元素の種類によりこれ等三種の放射線の一、二又は凡てを出すのである。例へばキューリ夫人が發見してその故國ポーランドに因んで命じた放射性元素ポロニウムは、アルファ粒子のみを放射す

るので、或場合の研究に重用される。

一九二二年ゼームス・チャドウィック (James Chadwick) は未だ廿一歳の時、ラザフォード (Rutherford) と共同してアルファ又はベータ粒子が他の原子核に当たると、この核を振動させ、これよりガンマ線を發せしめることを發見した。次いで一九一九年ラザフォードはアルファ粒子でアルミニウム原子核を衝擊してこれを破壊し、これより水素原子核を發せしめた。原子核が破壊されるれば、此原子は他の元素の原子となる。水素原子核は即ち水素陽イオンであり、陽子 (proton) と呼ばれる。水素以外の凡ての元素の原子核は、陽子と電子との集團である。原子は原子核とその周囲の所謂惑星電子とにより構成される。原子をイオン化することは、此惑星電子の數を増減することで、原子の轉換ではない。原子核の全電氣量を増減する時始めて原子が轉換されるのである。ブラケット (Brackett) はアルファ粒子を窒素原子核に當て、これ等の路筋又發射陽子の路筋の跡を、ウィルソンの膨脹室装置で寫眞した。ウィルソン膨脹室とは、水蒸氣で飽和された空氣を急に膨脹させると、それがイオンの周りに凝結してイオンの路筋を明瞭にすることが利用したものである。しかしアルファ粒子は大なる運動エネルギーを持つが、これが他の原子核に近づき得る機會は仲々少い。兎も角も放射性變態なる自然的破壊に對し原子の人工破壊が成就したのである。一九三〇年ボータ (Bothe) はバックカー (Backer) と共に、金屬ベリリウムをアルファ粒子で衝擊すると、

非常に透過度の大きな輻射を出すことを發見した。此透過度はガンマ線と宇宙線との中間に位するので、非常な興味を以て發見が迎へられた。一九三一年の終り頃キュリー夫人の娘とその夫ジョリオ (Joliot) は、このベリリウム線の研究を始め、その透過度を大いに攻究した。ベリリウム衝擊の放射源としてポロニウムを用ひ、發生するベリリウム線は電離槽に導入してその強さを測る。又この途中に吸收物質を置いて試験するのに、この透過度が殆んど變らぬことを發見した。

こゝに不思議なことは、ベリリウム線が波動なりとして計算すると、その電離作用からそのエネルギーはアルファ粒子のエネルギーより大となる。

恰も同時に、チャドウィックとその共同者は、ベリリウム線を水素に當てると、前方に、光速度の一〇分の一の速さの陽子をこれより放出せしめることを發見した。チャドウィックはベリリウム線は、電氣的に中性な、質量約陽子と同じ粒子即ち中性子 (neutron) より成ることを證明した。中性子は陽子と電子との非常に接近したものである。

ボータとバックカーは初め、ベリリウム線は電磁波なりとした。これは電場、磁場によつてそれがフラされないからであつた。しかし速度が大なる中性粒子でも同様であらう。又エネルギー保存の法則を成立させるには、かく中性子の存在を認めねばなるまい。

中性子は原子番号、原子量1の元素原子と考へて宜い。これは多くの物質を自由に通過するし、又分光學的、化學的にこれを検出することは困難である。

中性子の発見は一九三二年に於ける大事件であり、これによつて原子核構造の學説が根本から改められようとしてゐる。即ち原子核内では陽子と電子とは必ず結合して中性子を作るので、原子核はアルファ粒子、陽子及び中性子より成るとすることが出来るからである。

物質は特殊の波動の束である。その擴りは質量が小さい程大きい。即ち電子の波は陽子の波よりも擴りが大きい。従つて中性子は（又は陽子は）電子を通過し得るのである。

話頭を轉じて、電離空氣の統計論的研究に於て重要な役割を演ずるものに、プラズマ (Plasma) なるものがある。生物細胞の原形質に對すると同じ名稱である。

物理學にいふプラズマは、電子、イオン、標準状態並びに勵起状態に在る原子、光子の巨視的に無構造な又全體として電氣的に中性な混合體をいふ。普通にはこれを都市の夜を飾るネオン管内の陽柱なるものに見る。定常状態に於ては、この混合體がエネルギー的に平衡に在り、密度の偏倚、振動波動、周囲とのエネルギー交換も行ひ得る。

プラズマ内の帶電粒子は擴散により管壁の方向に運動し、これを帶電させる。又プラズマ内の電子及び

イオンはマックスウェルの分布に従つて速度をもち、原子ガスを通つて電場方向にその平均の流れをもちます。

プラズマ内の現象は、彈性的電子衝突、勵起及び電離を伴ふ量子衝突、第二種の衝突等であり、この統計には新しい思考を要する。即ちデバイヒヒュッケル (Debye-Hückel) の強電解質の理論と、アインシュタイン・スモルコフスキー (Einstein-Smoluchowski) のブラウン運動の理論とである。定常現象の中に時空的に細微な顯微鏡的な不等質な構造があり、この中に電子の一樣な束を入射せしめると、混濁物質中に於ける光波と同じやうな屈折現象を起すのである。

プラズマの振動数は約 10^8 ヘルツに上り、外部電氣回路の常數に無關係にそれ自身で自發的に起り得る。これは電子ガスが偶然的に擾亂を受け、プラズマの、中性よりの局部的擾亂による力で引込まれ、こゝに振動を生ずるのである。

この外にイオン振動、光振動をも伴ふものである。

ハ 中性子の新発見

物體を殆んど自由に透過して、宇宙間を飛び廻はる不思議な元素の存在が見附かつた。これは一九三二年に於ける物理学の重大事件であり、愈々面白い研究がこれから始まるであらう。以下その発見に到る順序を記さう。

ベリリウム放射線の謎

一九三〇年のことである。ドイツのボーテはベッカーと共に、金屬ベリリウムをアルファ粒子で衝撃すると、非常に物質を透過する能をもつ一種の放射線が出ることを発見した。この放射線は、これに磁場を加へても屈曲が起らない故に、極短電磁波であらうとされた。この放射線の透過度は放射性のガンマ線と宇宙線との中間に位するので、特に興味を以てこの発見が迎へられたのである。

翌年の終り頃、フランスのキュリー夫人の令嬢とこの夫ジョリオはベリリウム放射線について大いに研究し、アルファ粒子の源として、ポロニウムといふ元素を用ひた。ポロニウムはキュリー夫人が発見した

放射性元素で、夫人が故國ポーランドに因んで命じたものである。これは壊散の際アルファ粒子のみを放射するのでこの實驗に都合が宜しい。アルファ粒子の衝撃によつて、ベリリウムから出る放射線は、電離槽の中に導かれ、この中のガスの電離度から放射線の強さが測られるのである。

面白いことにはベリリウム放射線は、物質によつて吸収を受けないといつて宜い位である。これはこの放射線が電磁波であることを疑はしめる一つの條件である。今一つの面白いことは、この放射線をバラフィン蠟の層の中を通過させると、電離槽の電離が大いに増加することである。これはベリリウム放射線によつて、蠟の分子から水素原子核が抛げ出され、これが電離槽に入ると、ベリリウム放射線よりも短い距離に於てそのエネルギーを現はし、見掛け上電離度を増すのである。この抛げ出された水素原子核は光の速さの十分の一といふ素晴らしい速さをもつ。

恰もこの頃、イギリスのチャドウィックとその共同者は、同じくこのベリリウム放射線の研究を行ひ、これがヘリウム、リチウム、炭素、空気、アルゴンからも粒子を放射することを見出した。

ベリリウム放射線が電磁波動なりとすれば、そのエネルギーはこれを起したアルファ粒子のエネルギーよりも大となる勘定となる。これは電離の強さと波長との關係から知られるのである。即ち、アルファ粒子のエネルギーは六、〇〇〇、〇〇〇電子ヴォルトであり、ベリリウム放射線のは五〇、〇〇〇、〇〇〇

電子ヴォルトとなり、四四、〇〇〇、〇〇〇電子ヴォルトのエネルギーが無から生じたことになる。電子ヴォルトとは、このヴォルト数の電圧を受ける時電子がもつエネルギーをいふのである。

チャドウィックは、ベリリウム放射線は粒子より成り、粒子の質量は約水素原子核のに等しく、又電氣的に中性であり、その速さは光速度の十分の一に等しいとした。この粒子は空氣中に三〇〇、〇〇〇イオンを造り得るエネルギーをもつ。

ウェプスター (Wester) はチャドウィックの共同者であるが、ポロニウムよりのアルファ粒子は、硼素及び弗素よりもベリリウムに似た放射線を出すことを見附けた。かくてこれらの放射線は所謂中性子より成ることが信ぜられて來たのである。

中性子とは何ぞ

中性子とは、原子量1、原子價りの元素である。これまでの元素週期表は原子量1、原子價1の水素から始まつてゐる。原子價が0といふことは化學的に全く反應しない元素を意味する。中性子なるものがあらうとはこれまで信ぜられなかつたのである。

かういふ化學的に無反應な、軽い粒子である故に物質の中を殆んど自由に貫通する。容器に封すること

も出来ない。人間の身體の中をも自由に貫通して少しも異常を示さないと申して宜しい。唯、結晶體中では少しく趣が變はる。

中性子が存在してゐるか如何かは、化學的に無反應なるもの故に、分光學的にも檢出することは出来ない。中性子の存在の豫言の大元は、ドイツのレナルド (Leland) のダイナマイドといふ元素説であると申すべきか。しかし一九二〇年に已にイギリスのラザフォード卿は、ロンドン王立學士院のベーカーリアン講演に於て、この存在を考慮してゐた。

中性子は電子を通り抜けるといふ奇抜な輕業をやると申しても、これは電子が波動であるからである。

一體物質波動論によれば物質は特殊の波動の群團であり、質量の小さいもの程波團の擴りが大きいのである。中性子の質量は約水素原子核に等しいので、その波の擴りは電子のよりは小さい。中性子と電子と衝突すると、前者が後者を潜り抜けるのである。勿論この衝突も百萬に一回といふ僅かな機會に於て起るが、中性子と水素原子核との衝突はもう少し大きな頻度に於て起る。

原子核内で、核の成分である電子と水素原子核とが非常に相近い距離にあると、密合し、電子の中に水素原子核が入り込むか、又は両者が相並んで固着したものが中性子であらう。人工的にこの近距離に兩者を持ち來ることは仲々困難である。

原子核構造説の一變

已に知られてゐる如く原子核は、電子と水素原子核（陽子といふ）とより成る。原子核の質量は原子全體の質量と考へて宜しい。何故かならば原子は原子核とその外部の電子とより成るが、電子の質量は非常に小さい故これに乗じて勘定して宜しいからである。さて原子核の質量も亦、その中の陽子の全質量と考へても宜しい。

原子核の電氣量は、陽子の全正電氣量と核内電子の全負電氣量との和である。陽子の電氣量は電子の電氣量と大いさが同じく、普通これを e を以て表はす。よつて原子核の電氣量は、陽子と電子との数の差に e を乗じたものに等しい。原子核は全體として正の電氣をもつ。これを e で除したものは明かに整数であり、原子番號と稱へられる。これが元素の種類を定めるものなのである。原子核の質量を變へても元素の種類は變らない。原子核の電氣量を變ずる時、始めて元素が轉換されるのである。

原子核のもつ電氣量は、原子核の周りの電子の分布を定める。原子核外の電子が化學作用や發光作用を現はすのである。陽子の質量を 1 とすれば

$$\text{原子核} = \text{陽子の數}$$

原子番號 = 陽子の數 - 核内電子の數

凡ての元素の原子量はかくて大體整数なるべきであるが、實際には、原子量が相違して原子番號の同じものが混合してゐる場合が多いので、原子量の平均は明かな分數を伴つて來るのである。これらの個體を同位元素といふ。同位元素は元素としての性質が同じいので、容易に分離出來ず、化學者が原子量を測る時には、その平均値を出すのである。

さてハイゼンベルク等の考によると原子核は、陽子と中性子とから成立し、核内には遊離した電子を有せぬとされる。原子番號は陽子の數に等しく、原子量は約陽子と中性子との數の和である。原子番號は原子量の約半ばになつて來る關係は輕元素の場合に當て嵌まるが、重元素の場合にはかうは行かない。兎も角、核内には距離の小なるため、電子と陽子とが結合することは考へられることである。

又中性子は相互に反撥しない微粒であるから、この集團により低い溫度でも非常に密度の大なる物質塊が出来る。天體の中に大なる密度をもつものがあるのは、かやうな中性子の集團ではなからうか。これまでに、熱的電離により原子が外部電子を失つて原子核のみが狭い場所に集つて密度の大なる量をつくると考へたのである。再考さるべきことがらである。

九 中性子と元素の同位體

質量が約水素原子に等しく然も電氣を帯びない粒子が、物質原子核の構成要素であることが明かになつた。實際アルファ粒子の衝擊で或原子核を破壊すると、この中からこの中性子といふものが飛び出る。それで原子核は凡て、陽子とて水素の原子核をなし、質量水素原子に等しく、正の電氣を帯びる粒子と、この中性子とアルファ粒子との集團であるらしいといふことになつた。今迄考へられたやうに、遊離電子が核の構成の一員であるとするのは疑はしくなつた。即ち電子は、核内のやうな小距離では陽電氣と結合し、核の中には遊離した電子は無いのである。このことは原子築造の新しい原理となる。

アルファ粒子は、原子量4、週期表に於ける順序即ち原子番號2のヘリウムの二價の『陽イオン』である。陽子は電子と等しい量の正電氣を持つ。アルファ粒子は2個の中性子と2個の陽子とから造られる。今アルファ粒子に、中性子と陽子とを交るべく附加しよう。陽子1個を附加する毎に、原子番號と原子量とは1だけ増加し、中性子1個を加へる毎に、原子番號は不變で原子量は1だけ増加する。それ故次の表

He5, Li6, Li7, B. 8, Be9,

B10, B11, C12, C13,

N14, N15, O16

を得る。數字は原子量を示す。He5以外は實在することが實證されてゐる。斯様に、原子量が違つてゐる同種の元素が存するので、これを元素の同位體アイソトープといふ。O16を以てこの型の規律性は終はる。

次に、附加に於て中性子、陽子、陽子、又その逆反覆を行ふと

O17, O18, F19, Ne20, Ne21, Ne22,

Na23, Mg24, Mg25, Mg26, Al27,

Si28, Si29, Si30, P31,

S32, S33, S34, Cl35, A36

となり、これらは實在する。A36はこの型の規律性は終はる。

中性子と陽子との總數を n とすると $n=3, 5, 8$ 以外、各 n に對して1個の同位體があるやうであり、已に $n=8$ 迄は實際に見附かつてゐる。 $n=8$ 以外では $n=3, 5$ 以外凡ての同位體は偶數個の中性子を持つ。低原子量の原子では、陽子と中性子とのみが原子の基礎成分であることは筆者も結論したことがある。

10 物質の新概念

序言

物質は如何なるものなりや。其舊概念を一變させたものはフランスのルイ・ドゥ・ブローイ (Louis de Broglie) である。彼に依つて物質に波動性が賦與されたのである。物質は粒子的なりとするは關與物體が大なる場合であり、原子大以下の小さな構造に關しては波動なりとせねばならぬ。恰も光が大なる物體に關しては、規則的な反射及び屈折を起し、質點の衝突や徑路曲折に類するが、小さな物體に當たる時は廻折や干渉を起すのに對比される。ハミルトンの最小作用の原理よりして、媒質中の光波傳播と質點の運動との間に類推が得られるのであるが、光も實は其關與物體が大なる時は粒子として、それが小なる時は波動として働くものであり、亦同様に、物質も關與體の大小に依つて或は粒子として又は波動として現はるべきである。

古典的なハミルトンの原理は、波動の波長が關與物體の大いさに比して非常に小なる場合即ち幾何光學

の場合をのみ取扱つてゐる。従つて廻折や干渉の起る場合即ち物理光學の場合は論じなかつた。唯、幾何光學と質點運動との類推を行つたのである。此所に着眼し、物理光學的に粒子運動を論ずる時に、必然物質の波動性が現はれ、又自然に量子條件が導かれ得る。古典的量子論は基礎の無い超建築であつたが、此新量子力學に依つて置換へられるに到つたのは當然である。

位相波と群團速度

さて物質に賦與される波動の性質は如何なるものであらうか。質量 m の粒子があるとすると、相對論に依り全エネルギーは mc^2 である。 c は光の最大速度である。之を或振動の振動エネルギー $h\nu$ に等しと置かう。 h はプランクの常數を表はす。

$$mc^2 = h\nu$$

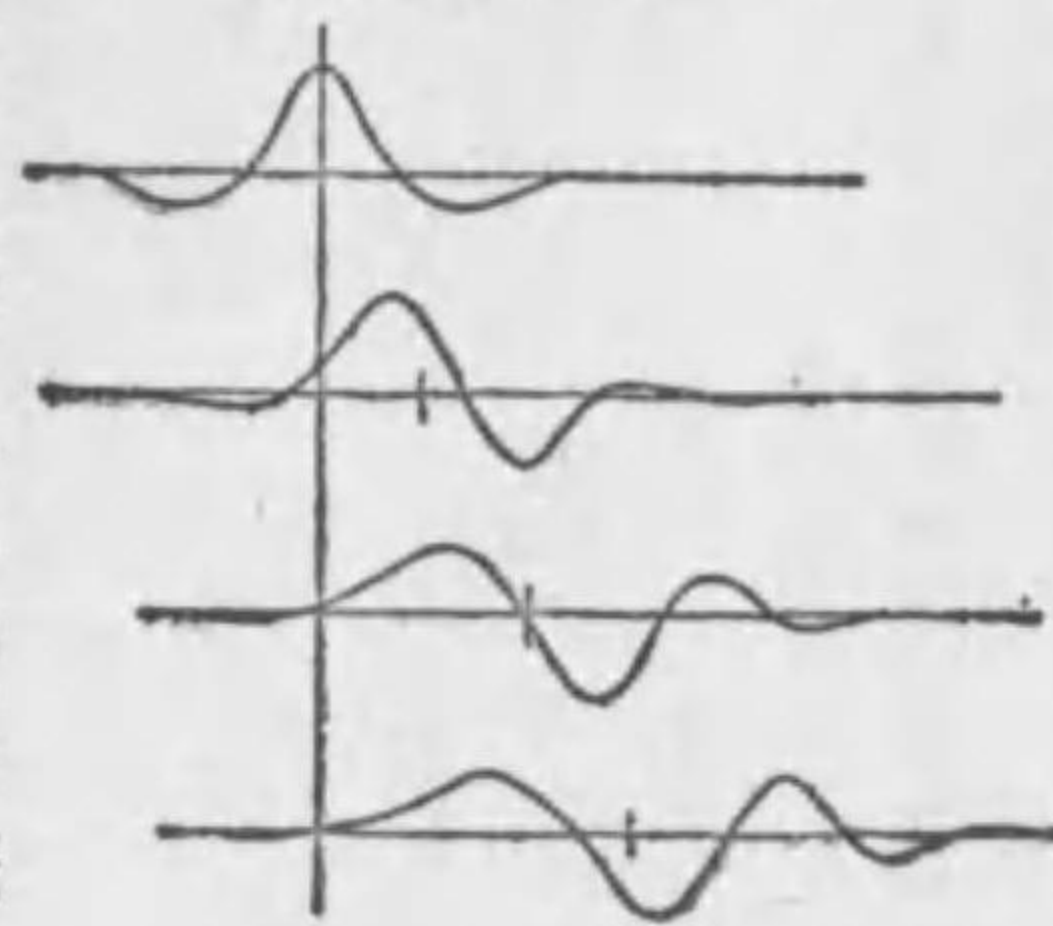
斯く物質状態は振動状態であるとするが故に、物質が動けば波動状態が発生する。即ち物質の運動は波動の傳播に過ぎぬ事となる。此處にハミルトンの思考が持ち來らされるのである。

粒子の運動速度を v とすると、是は考ふる波動の群 (團) 速度に等しからねばならぬ。如何となれば、波動のエネルギーは群團速度を以て移動せねばならぬからであり、又此波動のエネルギーは即ち物質であ

るからである。

一體、波の速度が波の振動数に依る場合には、位相速度の外に群速度なるものが存在する。

第一節 上層の波とその中心

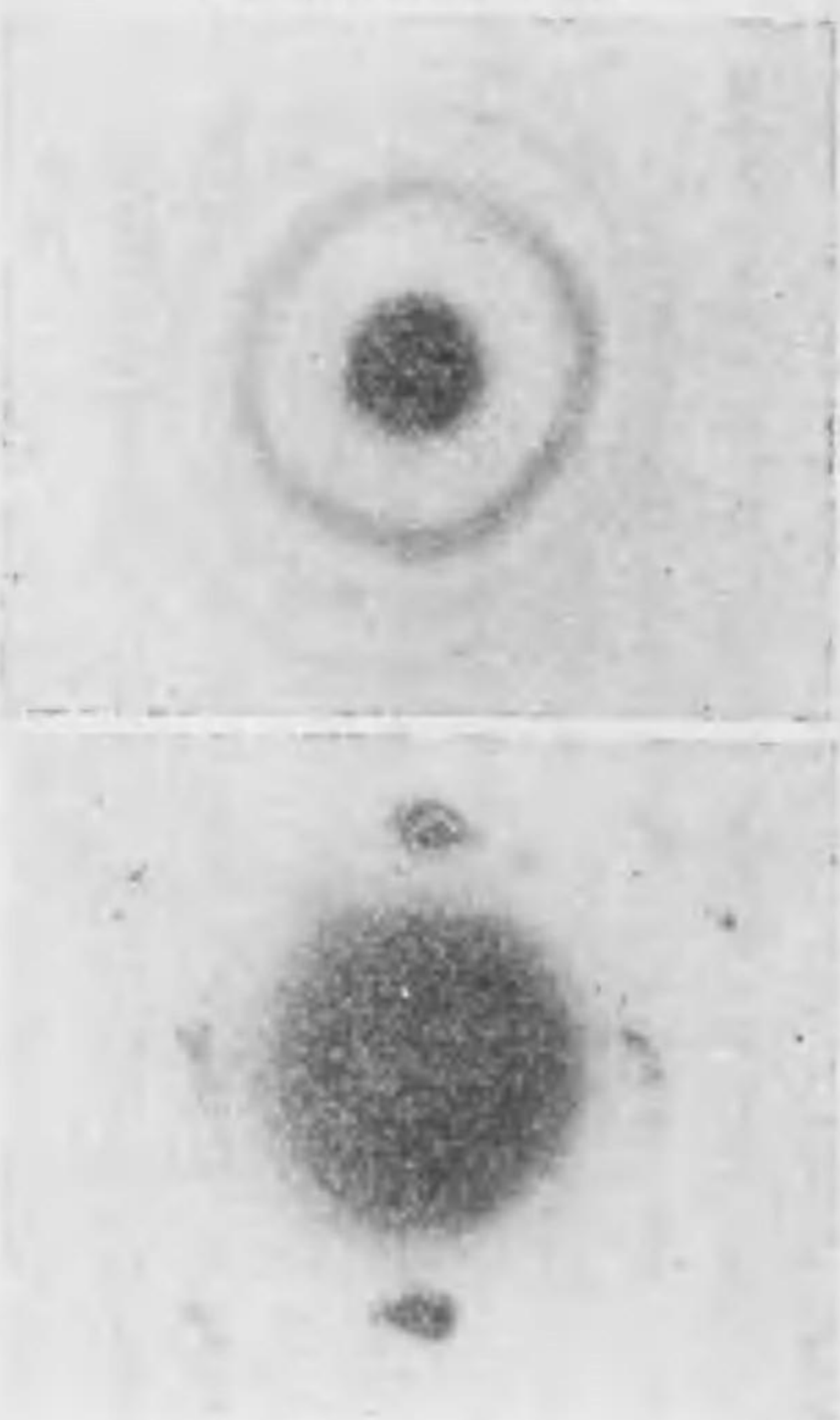


水面波は波速が振動数、従つて波長に依る波の一種である。此時長さの限られた、中央部が太く前後両端に向ふに従つて細い波の列——列波 (wave-train) ——を考へる事が出来る。その進行するのを見てみると、頂は波速を以て進んで行く。頂が進むに従ひ高さが變ずる。中央の波頂は初め最高であり、進むに従つて高さが減り、其背後に在るものがより高くなる。最前方に在る頂は次第に小さくなつて消失し、最後端の頂は次第に大となる。で一般的效果として波の群速度即ち列波の重心の速さは個々の波の即ち位相波の速さよりは小さいことになる。

彈性棒上を傳はる波の爲に示す形。短距離は擾亂中心の位置を示す。是は個々の頂の進む速さの2倍の速さで動く。擾亂區域の長さは波が進行すると共に増加する。前方の低い谷は深くなり、同時に主頂が低くなる。列波の中心は波頂より2倍も速く進む事になる。

群速度と位相速度とは常に同じ方向を持つとは限らぬ。波頂の一群が右に動き、進むと共に振幅が弱まり、波域の中心は次第に左に移る場合がある。

第二節 電子の子題の折像



薄い金属箔を通して電子を送り、之を寫眞板に當てる。箔の中に在る小結晶に依つて電子が進行し、其跡に見るやうな環が出来る。上層は金属に依るもので、下層はアルミニウムに依るもので、箔内の結晶の個物が比較的大きい爲に環の上に強い斑を示す。

列波が長くなる事即ち波域の擴大は、當初の列波の長さが短い程激しく起り、長い程遅く起る。即ち列波中に多数の調和波を含めば擴大は少い。若し単一の波動しか無ければ波域は忽ち擴がる。光の場合に、シァッターを極短時間開くと、長さの限られた波群——列波が出る。列波内の波数が多いと擴大は遅い。従つて各群を長く區別す

る事が出来る。波数が少いと忽ちに擴がるので、光線の速さを云ふ事が無意味となる。

電子波の廻折

調和性を持たない一つの脈動が、廻折格子に当たると、調和的な波に分れる。此分波の波長は廻折方向に依つて異なる。入射脈動が白光なれば、格子が色を發生するかの觀を呈する。

電子波は調和的波動でない脈動であるが、廻折を起す。デーヴィッソソングーの實驗は是である。鐘の音は普通は全く非調和的音の數種の集合である。鐘の振動數は是等の音の中大きいものゝ平均である。又音色は色々の音の比較的強さに依る。

原子内で電子が運動するのは、變化する屈折率の媒質中で波動が進行するに等しい。但し此波動は進行すると共に次第に擴り行くのである。核より可成り遠い所で圓周上を動いてゐる波包を考へるに、是は遂に核の周りにボヤけた輪に於て擴がる。そして波の頭と尾とが重なる効果が重合し定常振動を造る。位相の關係で消し合ひ又は強め合ひが起るので、此處に量子化の過程が現はれる。定常軌道とは此量子條件を満足した軌道に外ならぬ。

一體振動を研究するには其標準姿態の形と伴隨純音の振動數とを知らねばならぬ。三次元振動に於ては

振動の節面と云ふものが考へられる。例へば空氣を含む球の振動では、節面は球面、直徑面、圓錐面である。

原子は斯くて數個の標準姿態より成る複雑なる定常振動であり、夫々に振動數、從つてそれに比例するエネルギー量子が賦與される。最早ボーア軌道説は敗れ、之に代はるに單に定常振動に對するエネルギー水準が考へられて來た。エネルギー水準とは、各振動のエネルギー値(負量)を大小の順に階段的に表はしたものである。光の發散は、二つの振動の間の喰りとして解釋され、ボーアの電子飛躍に對應する。シュレーディンガー(Schrödinger)の大研究是である。

除外原理と電子波の偏り

「原子内電子は、量子番數の同一の組を持つものは、一個か又はり個である。」とはパウリ(Pauli)の禁制と云はれる。證明す可からざる原理である。此處に量子數は主量子數、方位角量子數、磁氣量子數及び廻旋量子數の4個である。パウリが禁制を發見したのは、新量子論の起る少し前であつた。彼はスペクトルの特性の研究から之を導き出した。パウリの禁制は化學の最も基礎的な問題、元素の週期律を説明する鍵でもある。

最初の3量子数は波動論の見地からは振動の節面を定義するもので、第四量子数は電子波の2方向の偏りを示す。

電子波に偏りを考へると、標準状態の数が増し、各エネルギー水準の数も増す。又電子は偏りを持つが爲に磁性を有する。電子磁石是である。粒子的に見れば電子に自轉がある事である。

パウリの禁制は、物質界を支配する大原理であるが、磁氣の理論に於ても勝利を表はした。

鐵の強磁性に就いては長い間理論に困難があつた。鐵の小磁石は電子に依つて起るが、此電子が凡て同じ方向に向はんとするのは何の故であらうか。ハイゼンベルクは、グイスの所謂内磁場を説明する爲に、禁制を取入れた。

今茲にA、B及びCの3個の電子が在るとし、AとBとは互に反撥しつゝあるとする。今中間にCが近づくと、3電子が互に反撥するが、注意すべきは、A、B及びCの結合効果は、A、B、C及びC、Aの對の間の相互作用の單なる和からは造られない。電子磁石の各々に働く力は、事實他の電子の凡てより來る力の和ではなく、或場合には非常に大きくなり得る。之に依つて鐵の磁性を説明し得るが、理論は尙不充分であり、何故に強磁性を示すものは鐵其他に限られるかが疑問となつて残つてゐる。

電子が磁氣を持つ爲に、 10^{-18} erg以下の近距離に於ては電子間の磁力は電氣力に比して大いに増大する。

此事實は特に注意を要する。

陽子も電子と同じく偏りを持つ。水素瓦斯が2種のガスの混合より成るのは、陽子にも偏りがあるからである。但し電子磁石の強さは、1ボーア磁子であるが、陽子のは電子の $\frac{1}{1836}$ である。1ボーア磁子とは廻旋(自轉)の無い舊い意味の電子が第一水素軌道を描く時に起る磁氣能率を云ふ。

地球は、自轉方向と公轉方向と一致するが、是等2方向が相反する場合は、太陽系には非常に少いが、海王星の衛星の廻轉方向は海王星の公轉方向と相反する。電子を粒子的に考ふる時、其公轉に依る磁氣と自轉に依る磁氣とも此二種の差を生ずる。

光子(光粒子)の自轉角運動量は1量子以下であるが、自轉軸を進行方向に向ける。電子の場合には角運動量は常に半量子を持ち、其方向は任意なのである。水素原子は數分の一秒で分子に結合するが、水素分子では其2陽子磁石が並行反並行なるに従ひ、2種の分子を造る。水素ガスは兩者の混合であり、各極めて安定であるが、尙衝突に依つて一型より他型に變化して行く。低温では一型を得、熱すると他型が現はれて來る。

元素の核磁氣はスペクトルの所謂超微構造を起す。

新量子力學は斯くて舊力學を驅逐して、原子内並びに大規模の世界に行はれる力學を樹立した。

一一 原子核構造の最新論

電子陽子の波粒性

電子は粒子であり又波動であると云ふ。是は關與する物體が電子に對して非常に大なるか又は小なる場合に、電子の現はれ方が夫々異なる事を意味するものである。

光の場合も同様である。光が平面鏡に當つて反射する状況は、ゴム球を床に投げた場合と全く同様である。光の屈折は、速さの相違する二媒質中に於ける質點の運動と同じい。此點に於て光は粒子と同等に働くのである。

然るに、水面に浮いた油が日光に當たると、綺麗な干渉色を呈する。是は薄膜に對して光は波動として働くからである。毛のやうな細隙を光が通る時は光は直進せず所謂廻折の現象を示す。斯様に關與物體が光に對して細小である場合には、光は波動として見なければならぬ。

電子も其如く、電子が結晶體内に配列する原子群に當たると、波動として働き、廻折の現象を起す事、

X線の場合と同じい。粗大なる物體に對してのみ電子は粒子として働く。

昔ヘルツが陰極線は波動ならんと想像したのは、今から考へれば正鵠を得てゐた。然し確證が與へられず、寧ろ其後に陰極線は粒子の群なる事が證明されたのであつた。

兎も角も電子は波動の塊と見るべく、原子内には電子の定常波が存在するのである。ボーアが考へた、原子内電子の安定(定常)軌道の概念はルイ・ドゥ・ブローイに依つて波動の定常振動に置換へられた。

陽子も亦波動として働く。陽子とは水素陽イオンであり、電子と等量の陽電氣を持ち、其質量は水素原子と約同じい。

原子は原子核と之を廻る電子とより成立する。原子核は陽子數個と電子數個とより構成される。従つて原子の一系は波動の塊團である。陽子は即ち水素の原子核である。水素原子は陽子と核外の電子一個とより構成される。

電子の「不可入性」

核外に在る電子は、原子核を造る電子と同じものであるが、唯々其存在場所の相違より、核外電子と呼ばれ、原子核を造るものは核内電子と云はれる。

核外電子は其エネルギー状態は四個の所謂量子數に依つて表はされる。パウリは、同一原子内では、此四個の量子數を夫々同じくする電子は、一個以上無しと原理的に定めた。之をパウリの禁制と云ふ。之に依つて元素原子の週期律、スペクトルの説明其他が始めて興へられるので、物質界を支配する一大鐵則となつてゐる。

斯様に同一エネルギー状態を持つ電子は一個か又は〇個かと云ふ事になるが、是は新衣を纏うた「不可入性」の概念であらう。電子は波動なるが故に、其擴りは無限である。勿論其振幅は實際上原子大以下の領域に限られるであらうが、兎も角二個の電子は其波動が互に重り合はねばならぬ。最早空間的には不可入性の概念は閉ざされた譯である。

電子陽子の廻旋

核外電子は自轉性を持つてゐる。電子が自轉する故に核外電子は一つの磁石となる。ボーア流に申せば電子は又軌道運動を爲すが故に、此爲にも磁性を表はす譯である。先に申した四個の量子數の一つは、電子の此廻旋に對するエネルギー量子數である。陽子も自轉性を持つ。核内電子は其廻旋を壓迫されてゐるのである。單に核内陽子の廻旋に依り、原子核の廻旋が定まつて来る。勿論陽子の自轉軸の方向に

依り、原子核全體の角運動量從つて磁氣能率も變化する。従つて原子核が廻旋を持たない元素もあり得る。

原子核の廻旋は次のやうにして定められる。

アルファ粒子の散亂

アルファ粒子とは放射性元素から放射されるヘリウム二價陽イオン即ちヘリウム原子核である。ヘリウム原子はアルファ粒子を原子核として、其周りに二個の核外電子を持つ。ヘリウムは原子價二であり、核荷電は電子荷電を單位とする時二である。

アルファ粒子は其運動エネルギーが甚だ大である。是が他の原子核の近くに來り、遂に其陽電氣と自己の陽電氣との反撥に依り、粒子の道が曲る。之をアルファ粒子の散亂と云ふ。一つの原子核とアルファ粒子との間の力は、或限界内クロロンの逆自乗の法則に嚴格に従ふが、若し其原子核がアルファ粒子と同じ程度の質量を持つ場合、又アルファ粒子の速さが大なる場合には、散亂の大いさは古典物理學では理解され得ないものとなる。此處に量子力學が其力を示して來る。此偏倚を知る時は、核の廻旋の大いさをも知る事が出来る。偏倚は時に數倍に互る。

アルファ粒子は廻旋を持たない事が知られてゐる。

帯スペクトルとスペクトルの超微構造

同一原子の二個より成る分子は、其スペクトル（分子スペクトルは帯スペクトルである。）は強さの変遷を示す。H-H, N₂, O₂, O₂などのスペクトルは此例である。肩書は原子量を表はす。之に反してO₂-H₂（酸素には原子量16, 17, 18）のスペクトルは強さの変遷を示さない。

帯スペクトルの線の強さの比から核の廻旋の大きさが又定められる。O₂にもH₂にも核廻旋は現はれない。

核が磁性を持つと、原子スペクトルに非常に僅かな影響を與へる。勿論核の中に同位體が含まれてゐてもスペクトルの超微構造を起すが、核廻旋も此超微構造を起すのである。超微構造とは、其名の示すが如く、分散度の悪い分光器では一本の線に見えるものが、實は非常に繊細な構造を持ち、多数の線より成るものを云ふ。

超微構造の幅からして、核廻旋を知る事が出来る。但し此方法は放射性元素原子には應用され得ない。筆者の學友ロシアのガモフは、放射性元素の原子核の大きさを計出し、それが其核廻旋と關係ある事を

見出した。

原子の合成

アルファ粒子が非常に大きい速さで原子核に近づき、核を周る所謂電位障壁上の一點に来る時、兩者間に共鳴効果が起ると、粒子は此障壁を貫き、其中に入るのである。障壁の中はアルファ粒子に對して引力が働く。是が所謂アルファ粒子の散亂異常である。アルファ粒子が例へばアルミニウム核の中心より 10^{-12} cm以内の所に來ると、此異常現象が起る。

ガーネーは此効果を波動力學から説明したが、筆者は獨立的に、デーヴィス効果なる現象を説明せんとして同様な考に到達した。

即ちアルファ粒子もアルミニウム核も共に、波動力學よりすれば振動状態である。二つの振動は電位障壁なるものに依つて距たれてはゐるが、若し兩側が共鳴状態に在るならば、エネルギーは一側より他側に移り得るのである。若し兩側の振動が共鳴状態に無ければ、一方より他方へエネルギーは傳はり得ない。是は普通の弦振動に類推を求める事も出来る。綱の中間に重い錘を附すれば、兩側が共鳴状態に在れば、一方が振動する時、他方も動き出すのを見る。

アルミニウム原子核には4個の共鳴エネルギー準位(振動エネルギー)があり、アルファ粒子が此水準と共鳴する時、核に入込み、之に捕へられるのである。アルファ粒子が ${}_{13}^{27}\text{Al}$ (原子番号13)の核内に入ると、 ${}_{13}^{28}\text{Al}$ (原子番号14)が合成され、同時に陽子1個が放射される。核荷電及び原子量は斯くて保存される。又此場合此核が興奮(エネルギー昇高)されるので、それが標準状態に戻る時、

アルミニウムのアルファ粒子をアルミニウム箔に當て、斯く重原子が合成されるのは最近の大なる発見である。
又此アルファ粒子が ${}_{13}^{27}\text{Al}$ (原子番号13)に捕へられると、 ${}_{13}^{28}\text{Al}$ (原子番号14)を造り、同時に原子量1.005で零荷電の粒子を放出する。属起された ${}_{13}^{28}\text{Al}$ より同じくガンマ線を出すのである。

零荷電即ち原子番号零で原子量が水素と約同一である粒子を中性子と云ふ。原子番号

第一節 中性子と原子核の結合 (ウソソウ写真)



第二節 中性子と原子核の衝突



中性子の存在

零荷電即ち原子番号零で原子量が水素と約同一である粒子を中性子と云ふ。原子番号

號が零である故に、物質原子の附近を通つても、大體に力を及ぼし又受けない。是が非常に速い速さを持つ時は、物質を貫通して、而も少しも他に影響を與へない譯である。彼宇宙線は極短電磁波でなく此中性子が非常に速い速さで動くものであると近頃段々云ふ人もある。

中性子は陽子と電子とが極めて近く結合したものである。両者が近距離に對置して所謂双極を爲すか、

又は寧ろ電子の中に陽子が浸漬されてゐるか、何れとも考へられるが、此大さは 10^{-14} cm程であり、其中心より 10^{-15} cm程の近距離に於て始めて其電場を他に示すのである。

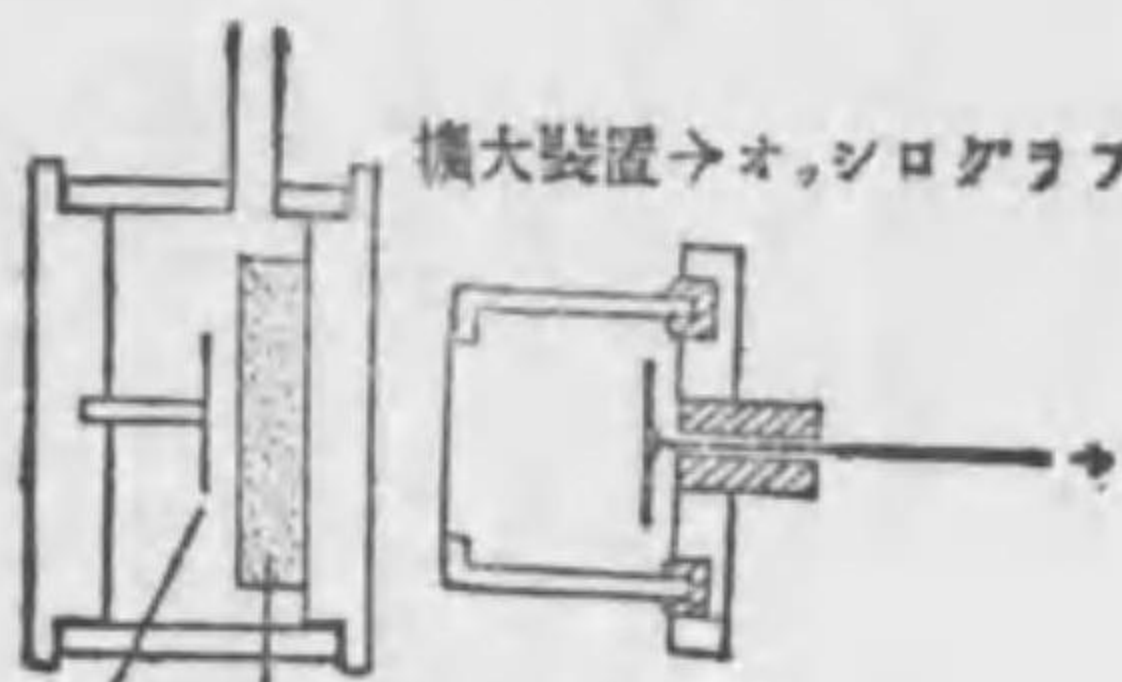
中性子は陽子とは衝突して相互作用するが、電子とは衝突相互作用する事は稀である。是は陽子或は電子の大いさに對して或結論を與へるものと思ふ。

鉛、真鍮、炭素等の原子核に、其核中心より 10^{-14} cm程の距離に近づくと、中性子は散亂を受ける。

ベリリウム、硼素はアルファ粒子の衝突に依つて、

第三節

フログラフ、オシログラフ装置大機



ベリリウム
ボロニウム

ベリリウムとボロニウムは、この装置で中性子の検出に用いられる。ベリリウムは中性子の衝突で陽子を放出し、ボロニウムは陽子の衝突でアルファ粒子を放出する。この装置は、中性子の検出に用いられる。

中性子を放射するが、他の原子に就いては實驗は充分でない。弗素、マグネシウムでは此放射は渺いやうである。

兎も角も中性子は、陽子、アルファ粒子と共に核構造の共通單位である。核内にては電子と陽子とが中性子を造るものと考へるのが至當のやうである。核廻旋に電子が與らないのも其爲であらう。又核よりベータ線（核電子）を放射する時、核が属起されてガンマ線を起すのも其結果かも知れぬ。アルファ線放射の場合には一般に核は属起されぬ。小さな核の中に核以上の大いさのものが集合してゐるのであるから、決して核外の状況を核内に想像してはならない。

明日の原子核構造論は、斯くて中性子の問題から始まるであらう。

三 宇 宙 線

空間のどこよりしてか、不可思議な、非常に透過力の強い或放射線が我が地球に向つて降り注いでゐる。吾人の身體をば毎秒約二十個のこの放射線が貫通し、又これは海面下二百米の深さに迄及んでゐるこの神祕極まる放射線を宇宙線と呼ぶ。

吉村冬彦氏が中央公論に書かれた宇宙線に関する面白い著想がある。筆者も同じ考へにまとはれてゐる一人であつた。誠に小説を現前にする物理學界。神祕なるもの、不可思議なるもの、今や次々と人間の手に納められんとする。

宇宙線が不斷に吾人の身體を貫通しながら、長くその存在の確證を得なかつたのは、實にその量が微小であり檢出が困難であつたからである。

宇宙線實驗の最初の方法は、例の金箔驗電器である。出来るだけ完全な金箔驗電器に電氣を與へて金箔を開かすに、その後箔は次第に閉ぢる。昔はこれは、絶縁體を通つて電氣が幾分逃れるためであるとした

が、然しこれは説明の全部でない。空気を傳つても電氣が逃れるのである。今ラヂウムの一塊を携へて電器に近づくと、開いてゐた箔は忽ちに閉ぢる。即ちラヂウム放射線によつて空氣がイオン化し、従つて電導性を持つのである。普通の空氣も幾分の電導性を持つて居り、これは、塵埃と共に浮遊し又は土壤の中に分散含有される放射性物質よりの放射線に主としてその原因を持つのである。けれども尙空氣電導性の殘餘の幾分は宇宙線によるのである。

ミリカン (Millikan) は金箔の代りに二本の石英纖維を用ひ、取外しの出来る鉛スクリーンを持つ金屬製球形槽の中に空氣を容れ槽内空氣の電導性を調べた。厚さ約十厘の鉛板で圍まれた場所へは、放射性物質よりの放射線は到底達しないのである。宇宙線装置を湖海の上に浮く氷片の上に置き、又は湖水の中に沈めて測るのである。岸又は底より一米離れば正に鉛十厘に相當する遮蔽能を得る。然し湖海の水が土壤に觸れて流れて來ないとも限らない。それで雪の解けた水で出來た池又は氷河の氷の中に装置を置く事もある。

槽の内側に寫眞フィルムを置き、一時間毎に纖維を自動的に照らしてその閉ぢ方を撮影する。空中高く飛行し又は自動的記録装置を昇揚して、高さと共に如何に宇宙線の強さが變化するかも研究さ

れた。二軒の高さでは最早地中放射性物質による影響は消滅し、高さと共に宇宙線の量が増大するのである。

一九三三年二月三日にはレゲナー (Regener) は二軒の高さに装置を置いた。この邊の氣壓は地上の値の六分の一に減じてゐる。槽内のイオン化度は地上に於ける百倍にも當たる。自記装置は、直徑約二米の二個の氣球に結がれ、高空でその一が爆發し、他の氣球は裝置降下に對するパラシュートの役をなす。海面上では、宇宙線の強さは、毎秒空氣每立方厘米に約三正負イオン對を造る。それ故一氣壓の空氣を容れた十立の體積には毎秒二五、〇〇〇對のイオンが出来る。

アメリカのC・D・アンダーソン (Anderson) はミリカンの若い共同者であるが、宇宙線の通路を寫眞した。これは次の原理による。

清潔な空氣を水蒸氣で過飽和にし、これを急激に冷却すると、若し空氣中にイオンが存するならばその周りに小さな液球を造る。宇宙線の徑にはイオンが出來てゐるのでこの場合液球の列が生ずる。これを電氣火花で自動的に瞬間撮影するのであるが、呼吸が難しく、二、三十枚に一枚の割合にしか良い寫眞が撮

れぬ。

此寫眞装置は一面はガラス板で出来てゐる。ガラス面に垂直に強い磁場を加へると、宇宙線の徑が曲がる。そのエネルギーは、電子が一億ヴォルト以上の電壓を受けた時に持つ値に等しく、彼のアルファ粒子の數十倍のエネルギーに當たる。

尙、金屬圓筒とその軸に沿うて張られた細い針金との間に數千ヴォルトの電壓を加へ、圓筒内の空氣中に宇宙線が入り込む時、爆發的放電を起さしめる検出方法もある。この放電の數をフィルムの上に撮影するか又はネオン燈の輝きに變へる。ホドスコープ (Hodoscope) といふ。

アメリカでは昨年よりコムプトンの計畫で北はスピッツベルゲンより南はニウ・ジラランドに亘り宇宙線の大探險を行つてゐる。又ミリカンも大探險を計畫してゐる。雪積る高峰上に、又は暗き坑内にこの重要な又ローマンチックな研究が行はれてゐる。涼味、興味は正に萬里の風を呼ぶといふべきか。

一三 宇宙線の話

宇宙線の發見

宇宙線！ その名稱から已に神祕の餘韻を吾等に傳へて來る不可思議なる宇宙線。

宇宙線の本性に關する研究ほど多數の有爲なる物理學者を困惑させたものは古來嘗てあるまい。宇宙線の研究はかるが故に方今世界的興味を中心に在り、又物理學のみならず、天文學に、地質學に、氣象學に次第にその重大性を現はして來た。

宇宙線は未知の源より發せられて我が地球に對する放射線である。その量は微小であり、特に鋭敏なる器械を以てしなければその存在は認められぬ。然し活力の極めて大なる放射線である。これは直接にガスをイオン化 (電離) するやうである。

空氣中又は周圍の岩石中に存する放射性元素によつても空氣の電離が起される。然し鉛の厚い壁で圍まれた槽中の空氣はこれらの影響を受けぬが、尙且つ透過的な或放射線により電離が起される。これは一九

○三年當時カナダのラザフォード及びマックレナン (McClelland) によつて発見されたことである。こゝこそ宇宙線の発見なのである。この研究に關しては所謂電離槽なるものが用ひられる。金屬槽の中にガスを容れ、この中に、蓄電池に連絡され互に離隔された二電極が挿入してある。槽壁を貫通する宇宙線によつてガス中に生じたイオンは、この電極に吸引されて槽中に電流を形成する。この電流の強さを測ると、イオンの数が知られるのである。

宇宙線の量は地上高く昇るほど増加する事は、一九〇九年ゴッケル (Gockel)、一九一二年ヘッス (Hess) とコルヘルスター (Kohlerster) とによつて自記装置を備へた氣球の昇騰により知られた。又一九三二年と年一九三一年のピツカール (Picard) の昇空も宇宙線の量の測定を目的としてゐた、單なる昇高の記録を造らんとするものではない。

宇宙線の量が上空ほど多いのは、この放射線が地球的起原のものでなく、宇宙的起原のものであることを示す。

宇宙線の本性

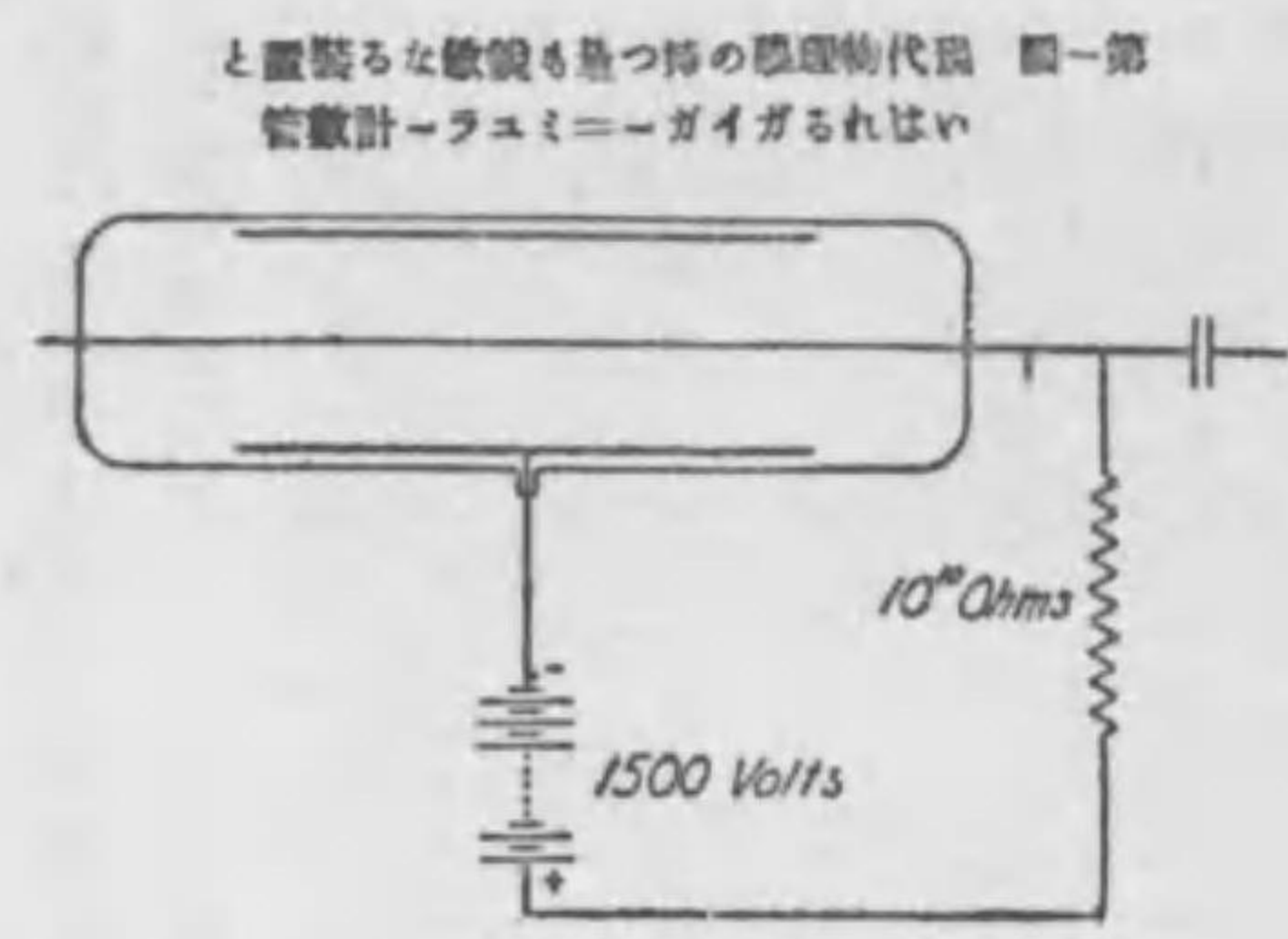
然し宇宙線の本性は尙未解である。極めて短い電磁波なりとする學者と、非常にエネルギーの大なる陽

陰帯電粒子、若しくは中性子より成立するといふ人がある。

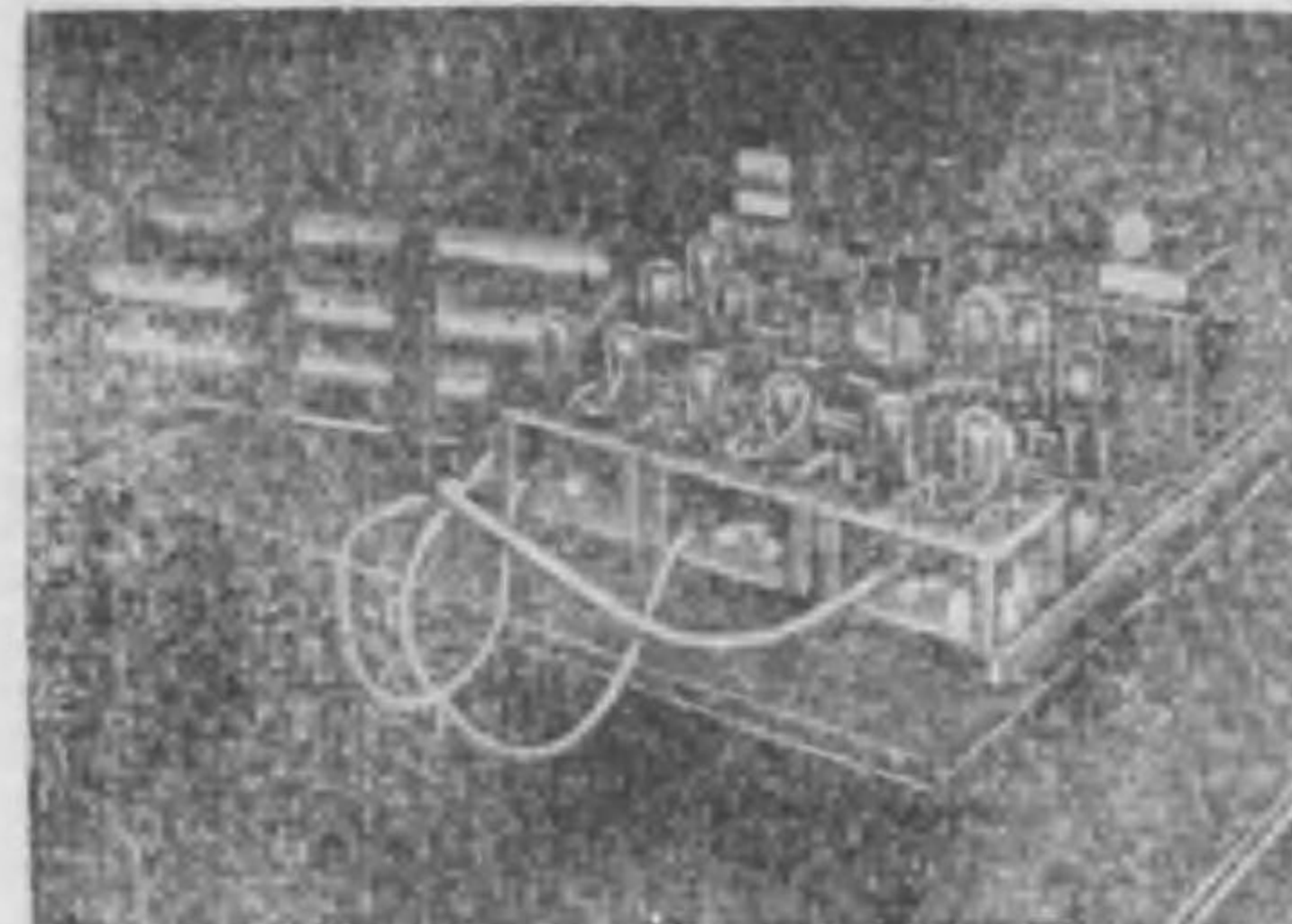
ミリカン又レゲナーは宇宙線の透過性を測定した。宇宙線は低原子量の元素に速かに吸収されるが、殊に高原子量の元素よりは二次線を放射せしめる。宇宙線は厚さ數米の鉛の板を貫通し、又海面下二百米迄にも達する。

宇宙線入射の個數

一九二九年、ボーテ及びコルヘルスターは、所謂ガイガー (Geiger) 及びミュラー (Miller) の計數管 (counter) を應用して宇宙線の入射を観測した。ガイガーミュラーの計數管とは、ラザフォード卿が現代物理学の持つ最も鋭敏なる器械なりと唱へたところのもので、放射線を検出する最も屈強なる装置である。第一圖に示す如く、金屬圓筒とその軸に沿うて張られた針金とから出來て居り、約十分の一氣壓の空氣を容れた硝子管中に封じ、約一千五百ヴォルトの電池



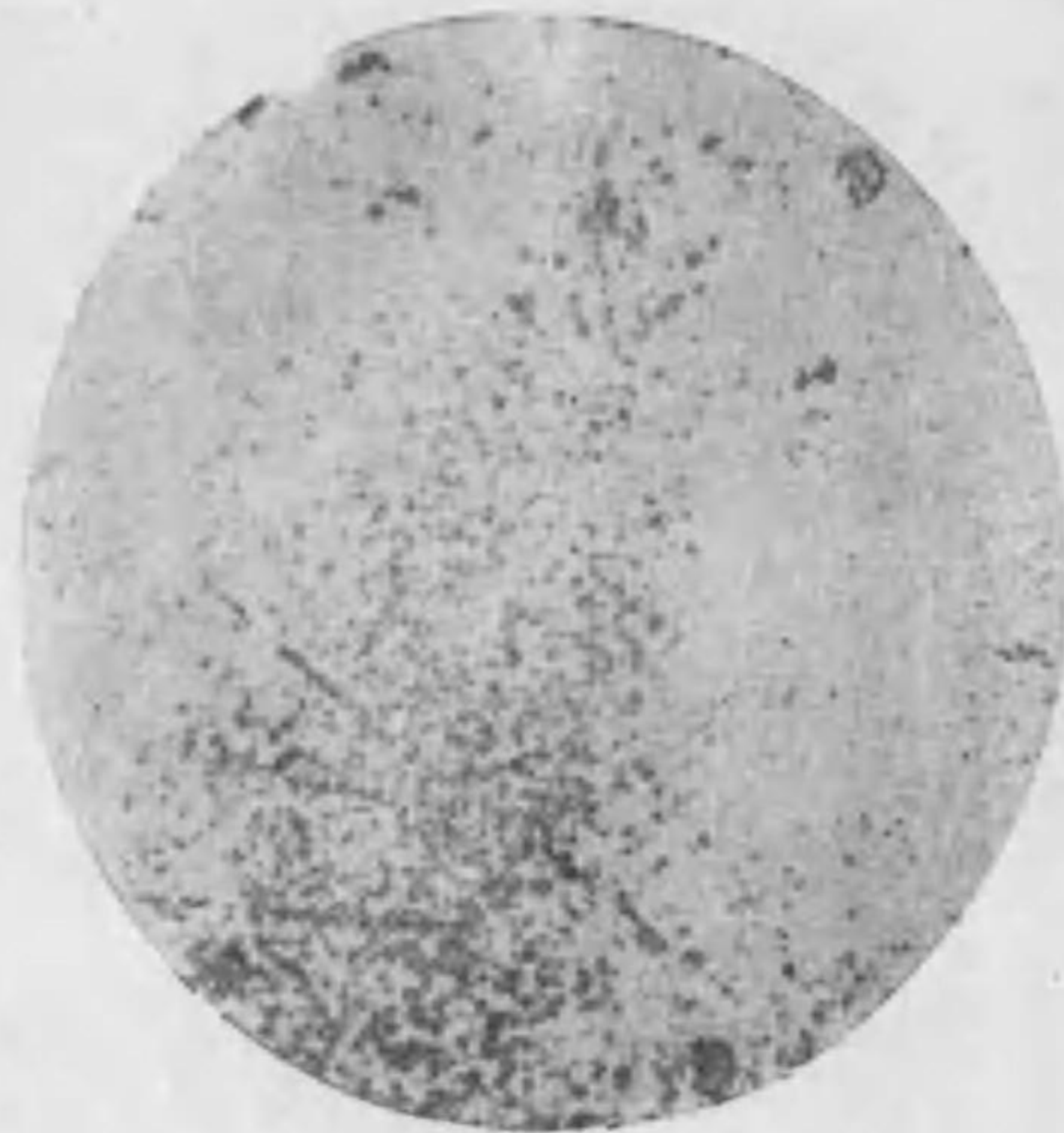
第二圖 宇宙線の射入を傳へる三重式記録装置



の陽極を 10^6 オームの抵抗を経て中軸針金に絡ぎ、陰極を圓筒壁に連ねる。放射線の作用によつて圓筒内の空氣の中に電氣が生ずるならば、これは一千五百ヴォルトの電壓を受けて加速し、この際途中の空氣をイオン化する。これらのイオンの流れは電流を形成し、眞空管で擴大されて音として聴かれ又記録される。

計數管を作用する放射線には、宇宙線の外、放射性物質よりのガンマ線によつて管壁より發生される二次的なベータ線がある。元來ガンマ線は非電離性のもので、そのエネルギーを軟かい二次的ベータ線に轉換する時のみ計數管を放電し得るのである。若し計數管の縦の列があるならば、それは一時に一個の計數管しか作用しない譯である。これに反して宇宙線はそれが通る各管を放電し、然も線の速さは光速度に近い故、これらの管は殆んど同時に放電されることになる。それで電氣迴路を適當に配置し、同時放電のみを記録するやうにすると、管の切口を通過する宇宙線のみを觀測し得るのである。第二圖は三

第三圖 三層の宇宙線の跡(霧室寫眞)



個の計數管より成るこの装置である。三個の管が一行にない時は、各管は一分間に二百回放電しても、同時音響は一日に一或は二個となり、三管を一行に相接して鉛直に置くと、一分毎に三個の同時放電を聞く。これこそ宇宙線の入射によるものである。

電離槽を用ひて電離電流のフレを調べても、入射宇宙線の數を推測することが出来る。勿論兩者共に、宇宙線が同時に二或は三個入射することがあるからその注意が必要である。海面水準では人體を通り毎秒十個乃至二十個の宇宙線が通る勘定になる。又宇宙線により海面水準一氣壓の空氣每立方厘米には毎秒數個のイオンが作られる。

計數管列の同後放電と同時に、自動的に閃光電球を點火して霧室寫眞を撮る研究もある。これによると宇宙線の跡が計數管の方向に生じてゐるのが明かに

見られる。一體過飽和氷蒸気は電子又はイオンの周りに小滴となつて凝結する性質がある。これより電離性放射線の径路が眼に視られる。又瞬間寫眞にも撮られる。霧室實驗とはこのことである。霧室に強磁場を加へ、徑の彎曲から放射線のエネルギーを定め得る。宇宙線はエネルギーが極めて大なる故に、その徑は容易に曲らぬ。放射性起原のものでないことがこれからも了解される。

宇宙線にも種々のエネルギーのものがあつて、高空では軟かいものが含まれてゐる。宇宙線の中には六兆回の鉛板を通つても尙且つ、電子が六億ヴォルトの電壓を受けて持つエネルギーに等しいエネルギーを持つものがある。

二次線の研究

今二個の電離槽の一方の上に吸収物質を置き、兩電離槽の電流の差を求めると、それは吸収物質の作用を示す。鉛を吸収物質として用ひる時、厚さが増すと初めは徐々に電離が増し、次いで急激に減じ、大なる厚さではより緩慢に減ずる。これは初め二次線が鉛の原子から發生され、次に空氣中に生じた二次線が鉛に吸収され、終りには主線が鉛中で吸収を受けるからである。二次線は發生元素が低原子量なるもの程透過が大である。又二次線の吸収も原子核によるものであり、高原子量の元素ほど吸収が大である。

シンドラー (Schindler) は同時的計測方法を二次線の研究に應用した。計數管列より側方上部に鉛板を置くと同時に一致の數が多くなる。これは主線の外に、鉛を通る時一個の二次線が出されるからである。一

第四圖 光った霧の相きオーロラ



般に主線の進む方向に二次線が多く出される。鉛の上と下とに計數管を置いてこの實驗を行へば、この説明の正しいことが解る。

アメリカの研究

今アメリカではA・H・コムプトン (Compton) が指揮者となり、緯度及び高度の異なるつた觀測所で宇宙線の研究を行なつてゐる。これは宇宙線が電離電粒子より成るならば、地磁氣の影響

第五圖 下層が赤い、黄色のオーロラ



を受けねばならぬとされるからである。

魔術に似たラヂオが興つてから、人類は均しく科學の驚くべきものであることは否み得なくなつた。而も吾人の日常取扱ふ多くの物も、否恐らく凡ての物が、種々の波動の群であることも解つて來た。宇宙は波動の世界である。

無線電信に用ひられる電波の波長は三軒に互る。光の波は波長一耗の一萬分の一附近である。X線の波長は更に短い。宇宙線は若し電波なりとせば、吾人の知る最短の波長を持つのである。宇宙線は不斷に存し又殆んど一定である。その發生原因は已に述べた如く尙神祕である。雲の湧き温度の變化する對流圈の上には、雲無く靜穩なる成層圈がある。成層圈に於ては鉛直方向でな

第六圖 オーロラの成長を示すフィルム



第七圖 ボツダムにアインシュタイン塔にある大気状況記録装置

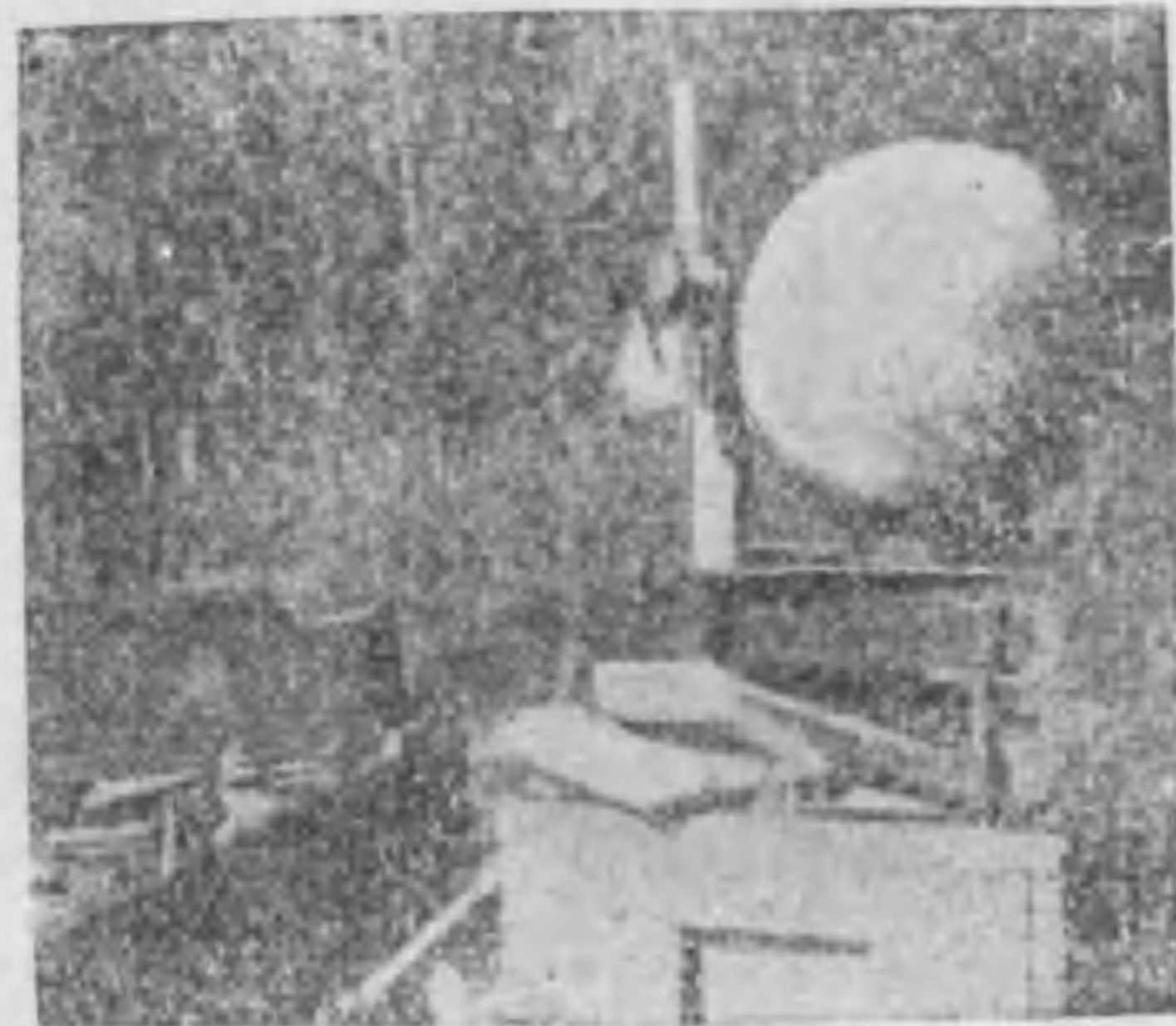


ド第一層と、百五十一—三百軒の間の第二層との反射によつて起る。宇宙線はこれらを通して地球に達し、然も驚くべき性質を持つてゐる。この線は宇宙に於ける元素成生の際に發せられたものとする學者と、物質破壊によるとする人である。

く水平方向に温度が變化してゐる。高さ

約六十軒に於て成層圈は終り、その上高さ百五十軒迄は流星の光る所である。オーロラは高さ八十軒より上方に現はれるラヂオの波のフェーディングは高さ四十一—九十軒の間のケンネリ—ヘヴィサイ

第八圖 第三十三號のアルゴン管を以て形質を電氣的



然しフランスのドーヴィリエ (Dauvillier) が太陽面の斑 (Macula) には數十億ヴォルトの電壓が存し、これが電子を地球に向けて抛げて宇宙線を造り、従つて宇宙線はオーロラと關係ありとして以來、諸家の地磁極附近及び赤道に於ける探險観測となり、急に研究は活潑となつた。第八圖は三十氣壓のアルゴンを填めた球形銅製電離槽であり、これにリンデマン電氣計が連絡されてゐる。鉛及び銅の厚い球殻で局所の放射性を碍つてゐる。知らず、宇宙線は如何なる報道を吾人に傳へるであらうか。

一四 ポジトロンの新發見

物質が如何なるものから出來てゐるかといふ極めて根本的な問題は、廿年前オーストリアのヘッスが宇宙線を確證してから、宇宙創造の神祕にまで關聯して益々重要な研究が遂げられつゝある、即ち物質究極の構成素としての電子及び陽子の外に、最近英國のチャドウィックによつて中性子の存在が實證され學界の注目を惹いたが、今回更に北米カリフォルニア工業大學のアンダーソン博士は宇宙線の問題に關して、ポジトロンの存在を提唱し、學界の視聽を集めるに到つた。

宇宙線の問題は現代物理学で最も注意を惹いてゐるが、之に關してアンダーソン博士が重要な發見をなしたことは注目すべきである。元來吾々は物質構成要素として電子を知つてゐる、是は陰電氣をもち、その目方は水素一原子の千八百分の一といふのであるが、之と大體同じ重さで而も陽電氣を帯びたところの新しい微粒子が發見されたのである、勿論水素原子の中心核は陽子と呼ばれ、電子と等量の陽電氣を帯びてゐるが、その目方は電子の千八百倍である、今回發見された新しい微粒子はこの電子でも陽子でもなく、而も陽電氣をもち質量が電子に近いか又は等しいところのものである。

宇宙線の通路を寫眞に撮るのにはウィルソンの装置といふものを用ひるが、是は水蒸氣で飽和した空氣の中にイオンが生ずると、その周りに水蒸氣が凝結して水滴となり之によつてイオンが存在することを知らせる装置である、宇宙線もその通路にイオンを作り、従つてその通路が眼に視え、又寫眞することが出来る。ウィルソン装置による研究によれば、宇宙線が地球にやつて來る時には電子としてであるやうである、その電子のエネルギーは非常に大きく、磁力の場を加へても容易にその道を曲げることが出来ない、然し相當大きい磁場を加へればその道に曲りを生じ、この曲りから電子のエネルギーを計算することが出来る。

ところが數百の宇宙線寫眞の内數個の寫眞に於ては、磁場によつて他とは通路が反對の方向に曲つてゐる場合があるが、このことは宇宙線の大部分は電子であるが、稀には電子と同じ程度の質量をもち、陽電氣をもつた微粒子のあることを意味する、この微粒子をポジトロン (positron) と稱し、宇宙線の研究に關聯して最近始めて發見されたものである、之に對し從來の電子を陰電子 (negatron) といひ、この新しいものを陽電子として區別しなければならなくなつた、斯様に宇宙線の研究は興味ある種々の事實を吾々に齎すもので、吾國でも今後益々この研究を盛んにする必要があらうと思ふ。宇宙線は外界空間から吾々に原子築造、原子破壊に就いてのニュースを齎す使者である。宇宙線の最も盛んな研究は北米シカゴ大學の A・H・コムプトン、カリフォルニア工業大學の R・A・ミリカン及びバルトール研究財團によつて行は

れてゐる。又英國のキアヴェンヂッシュ研究所でも之に關聯した問題を研究してゐる、前二者はカーネギー財團の研究費を受け宇宙線の組織的研究に従事してゐるのである。

一五 ヒツカール教授の昇空



最光の昇上球氣

オーギュスト・ヒツカール教授の第二回成層圏探險は已に新聞紙上にその大略が報ぜられたが、最近にこの探險に関する詳報を得たから、こゝにそれを紹介する。
ヒツカール教授の第一回昇空は一九三一年に行はれた。元來この昇空は種々なる觀測の外に、ベクトル宇宙線測

定が主要な仕事となつてゐる。成層圏は高さ約十千米から始まり、探險氣球によれば種々の測定をなし得るが、然し電氣狀況はそれでは容易に觀測し難いのである。

ヒツカール教授はベルギー、ブラッセル大學應用理學科の物理學實驗所主任であり、自身航空の技術を知つてゐる。(兩回共に自ら氣球を操縦し、助手が時間の函數としての宇宙線の強さの觀測に當つた。)彼は氣密なるゴンドラで昇空することにきめた。壓力分布を均等ならしめるため、球形のゴンドラを考案し之をリエージュのTHOR 工場で製作せしめた。今回の分は前回のと似たもので、九九・五%のアルミニウムの三耗厚の板より作られ、吊柱と床と二つの圓い人穴、又ゴムにより氣密にせる七耗厚の數個の硝子窓を有する。ゴンドラの直徑二米十。氣袋は一二〇〇瓩の重量を浮揚せしめるに充分なるべく、外壓の減少と共に高さ十五千米に於て一四〇〇〇立方メートルの最大體積に膨脹し、これ以上上昇するにはバラストを投下せねばならぬ。地上では二八〇〇立方メートルの體積をもつやう僅かに水素ガスをば入れる。アウグスブルクのRiedinger 工場で造られた。材料はゴム木綿で非常に軽く、上部は毎平方米九十瓦、下部は同じく四五瓦の密度をもつ。地上では長さ約五十メートルの梨形を呈してゐるが、最高度では膨脹して直徑三十メートルの球形を呈する設計である。

前回は繩の綱が纏れて故障を起したが、今回はその輪軸を廢し、漏斗によつてゴンドラ中に入り又U字

形金屬管に水銀を充して氣密の栓としたものにこれを通し、牽けば容易に管の中を動くやうにした。

ゴンドラ中には二個のバラシユート、又氣球下降を緩める外部の小バラシユートを備へ、壓縮酸素のポンプより吸氣を供給し、呼氣はアルカリ液に吸はしめる。非常用として液體空氣のポンプをも備へる。

測定用器械のみは外氣と交通することは無論である。すべて十四——十七籽の昇空に對して準備されてある。

八月十七日天氣圖は漸く良好な狀況を示した。スイス、チューリッヒの附近ヂューベンドルフ (Dübendorf) 航空場にあつて待機中のピツカール教授は、愈々翌十八日早朝出發に決した。陪乗助手はマツクス・コサン (Max Cosyns) である。當日になれば風は全く無い。スイス航空俱樂部の援助で準備は今や全く成つた。時に午前五時五分！

今や出發綱は解かれた。正に五時七分！ 前回は廿五分にして高さ十五籽に達したが、今回は速度を九分の一にし毎秒一米半の上昇速度に下げた。上部の人穴よりは鉛彈袋のバラストを投下し、一籽半に到つて始めてこの穴が内部より閉ざされ、以後航空者は外氣と遮斷された。

F N R S 號即ち理學研究國立財團號は、今回は下界とラヂオ通信を交換しつゝ已に十時と十一時半との間に十六籽半の最高度に達した。氣壓は水銀柱約七三耗である。高度は氣壓よりして國際航空表より推算

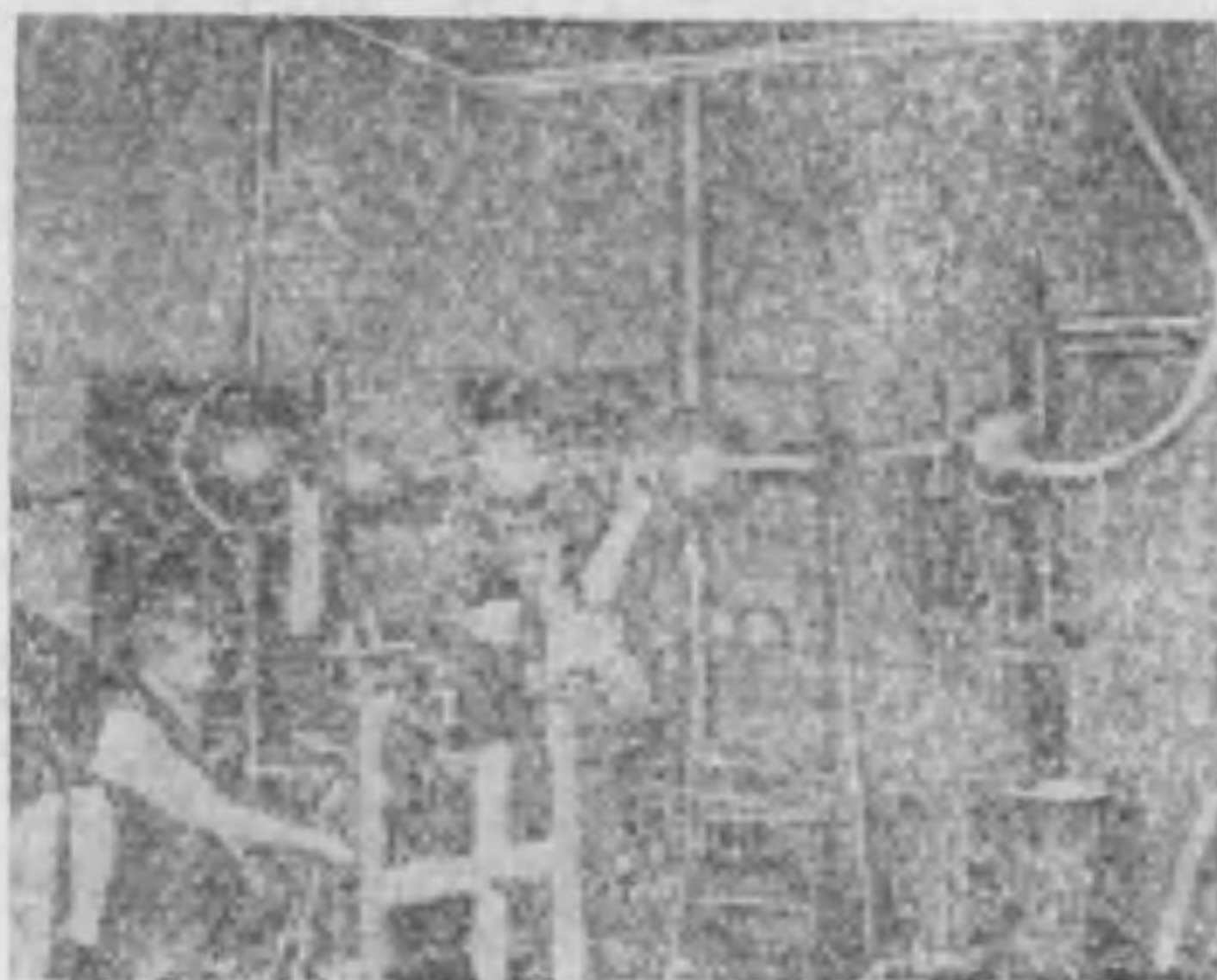
される。今や下降が徐々に始められ、午後二時半に地上十一籽の所に、三時半には三籽半になつた。十一籽までは擔によつてガスを排除して下がるのであるが、後はゴンドラの空氣を出し、三籽七に於て内外の氣壓を等しからしめ、人穴を開ける。五時十分イタリアのガルダ湖 (Garda) の南方カヴァラロ (Cavallaro) に見事に着した。唯、その際ゴンドラが轉がり、氣壓計その他を破損せしめた。附近のデセンザノ (Desenzano) の官民の助力によりその町に運ばれた。

ピツカール教授はスイス人なる故にこの邊の地勢をよく知つて居り、山河湖を望みつゝ適當の操縦をなしたのである。前回は十八時間の滞空であり、今回は十二時間の滞空である。前回上昇下降に失敗したが、今回は全く好況に行はれた。前回は一五七八一米の高さに上昇したが、今回は更にその上に昇つてゐる。又前回は理學的測定が失敗に終つたやうであるが、今回は宇宙線の觀測に成功したといはれる。ゴンドラ内の溫度は零度と負十度との間であり、餘りに寒かつたといふ。前回はゴンドラの上半部を黒く塗つたために四十——三十度の溫度を示した。今回は全部を白く塗つたのである。

宇宙線は深さ二百米以上の清純なる湖水の底には最早達せぬ。しかし上方に昇ると宇宙線の量が減ずるといふ人と増すといふ人とがある。これには空氣の密度の變化をも考慮せねばならぬことである。

一六 最高電圧の陰極線の面白い性質

第一圖 十九萬ボルトの三極管陰極線の部分

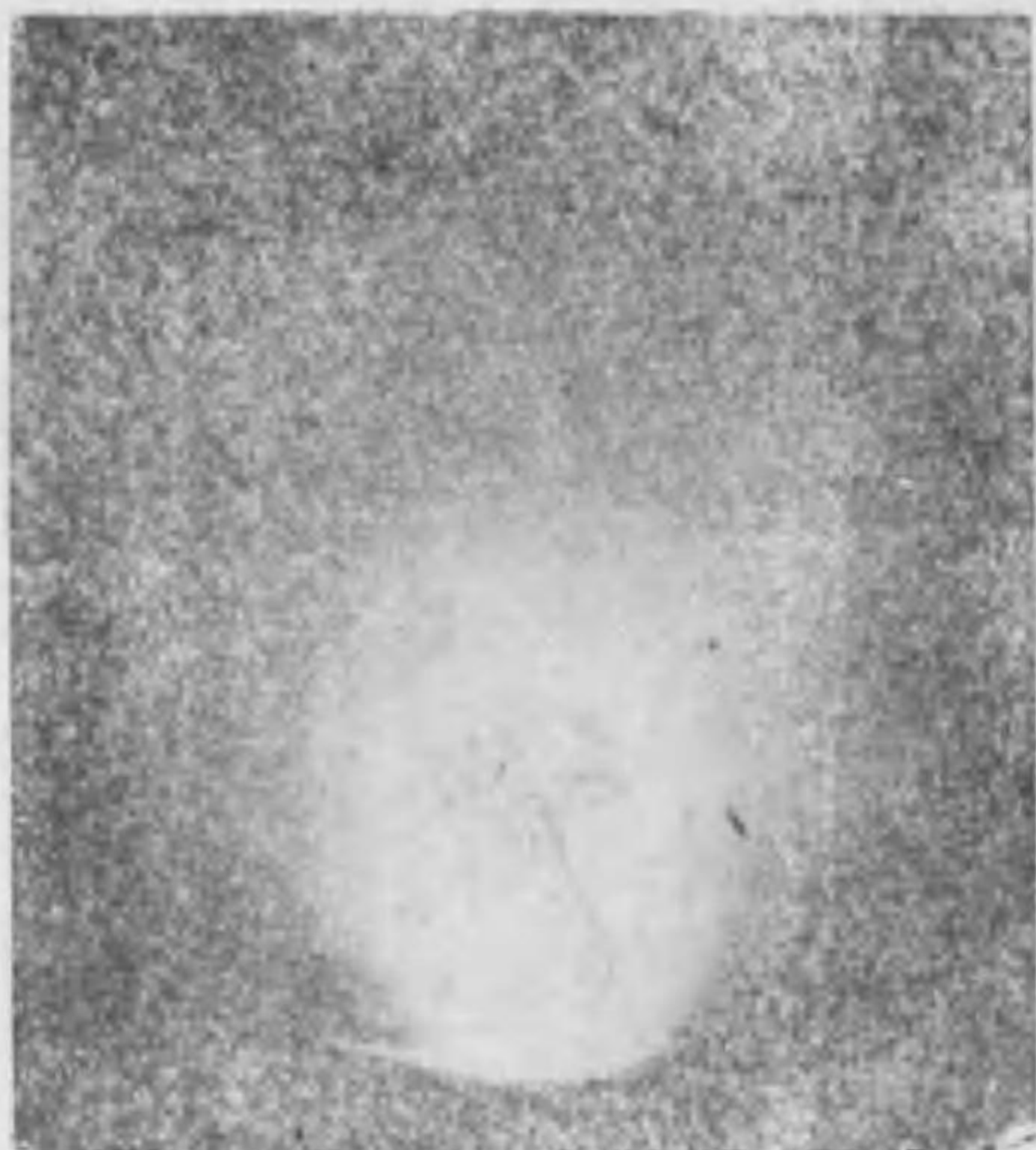


一體X線は短い波長の不可視光線であるが、生物に及ぼす作用は、電離作用を持つ爲なりとする學者が多い。即ち附近にイオンを生じ、このイオンが細胞に作用するとするのである。これと關聯してイオンの多い地域に於て果實蠅の發育を研究した二、三の例がある。

X線が細胞に直接に働くと考へてもさして困難ではないやうであるが、兎も角X線と並行して陰極線に依る作用を研究する必要があると思ふ。この陰極線は負帯電微粒子の迅速に運動するものである。真空管内のみならず、特別の裝置に依りこれを管外にも出し得るのである。已に小動物の耳部の皮膚に當てて、そこに特別の現象を起させた報告がある。

數十萬ボルトの電圧を真空管に加へ、陰極線を管端のニッケル窓から外の空氣中に持ち出す實驗は、

第二圖 窓外の空氣の發光



最近の數年G・E・Cのクーリッチ博士が行つてゐる(第一圖)。

發散型の陰極線束が圓錐狀を爲して窓に近づき窓及び外部の空氣中で散亂される。第二圖は窓外の空氣中の窒素が、陰極線を受けて發光する狀を示す。

陰極線を方解石の結晶に當てると、溫度一五〇度に於て鮮黄色に、窒温で橙黄色に、液體空氣の溫度に於て淡紅色に發光を放たしめ、又衝擊後數時間發光を放たしめる。ヴィレマイトは綠色の發光を放つが、燐光を發しない。一體に發光は不純物の存在で色を異にする。それで同一礦物でも産地で發光を異にするので、この方法に依れば産地を

決定するのに有利である。

方解石は、螢光と共に、衝撃中青白色の閃光^{閃光}を示す(第三圖)。これは背景の螢光に對して黒く見え

(1) 閃光の石解方 第三圖
る見えが閃光のく多。大實約



る。面を少し傷けると、衝撃後一時間も閃光點を示す。これを顯微鏡で見ると、小噴出孔より直線狀に小さな溝が出て居り、是は表面に平行してゐる。液體溫度に於けるセルロイドのやうなコロイド質では、溝は曲つてゐる(第四圖)。閃光點は絶體に於ける火花放電であり、その模様は内部構造に依る。

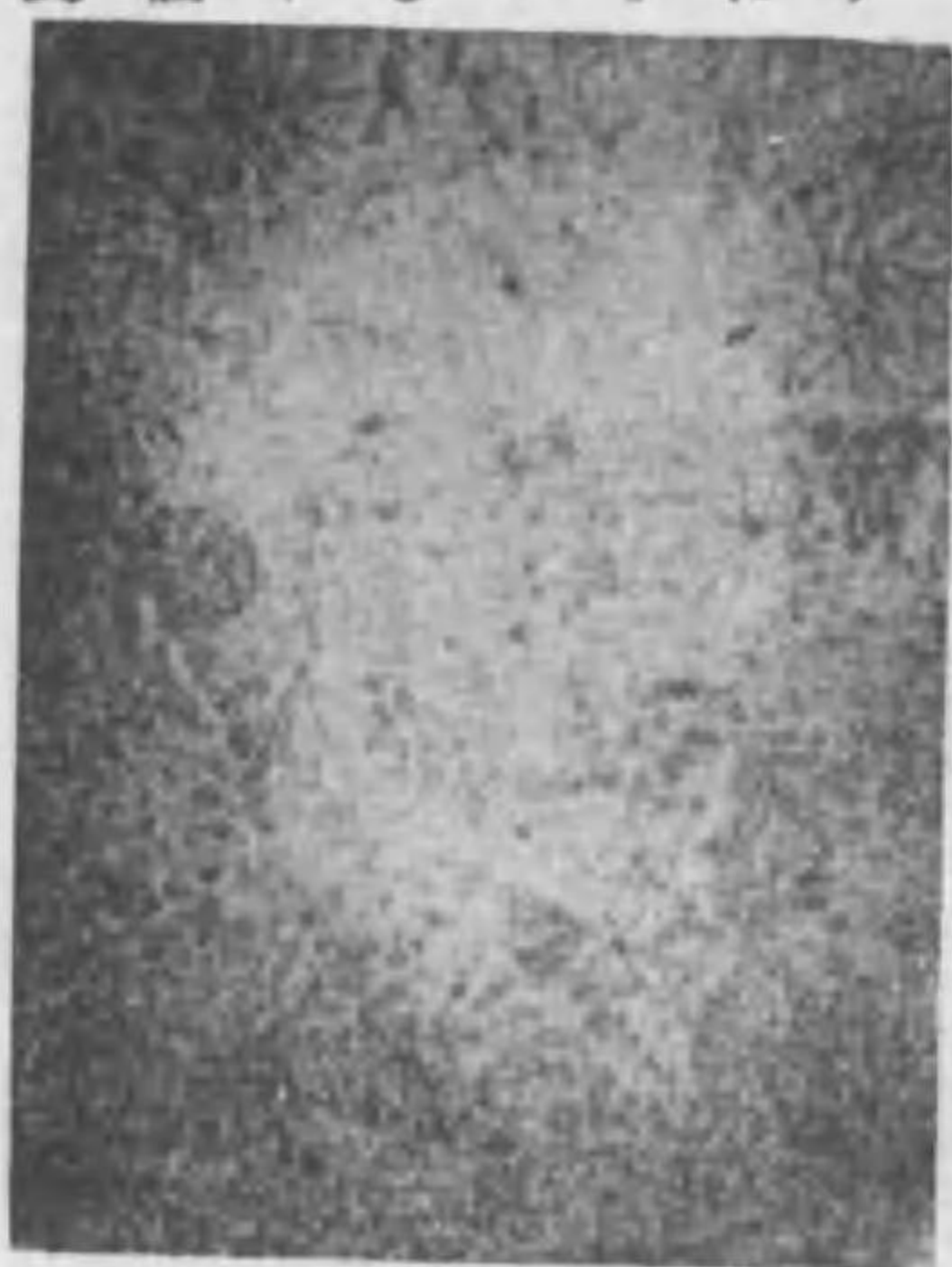
マンガン硝子は陰極線衝撃に依り紫色に、鉛硝子は褐色に化する。この色は大部分は永久に残る。眼鏡レンズ、陶器製齒を、この方法で望む濃さに着色し得る。融解石英は數分間の衝撃で紫色に着色するが、強熱せば焼失する。岩鹽は衝撃時間に依

(2) 閃光の石解方 第三圖
大實倍十數



り橙、褐、黒に色附く。熱すると青くなる。室温では黒色は一年以上も残る。陰極線は、無聲放電、紫外線、或はアルファ線の作用以上に、分解作用を持つ。アセチレンガスを黄色の固體にする。酸

質は、^{第四圖}液體空氣の溫度に於けるセルロイドの閃光點



ズンは分解するが、定常状態では、^二の空氣がオゾンになる。水素と酸素とは反應して過酸化水素、水蒸氣等を造る。イーストは、直接にビタミンDを發生する。油は、分子量、屈折率、色、乾燥速度が變はる。又バクテリアを殺す。已知密度の膜は、厚さに應じ電壓を高めなければ透過しないので、陰極線は厚さの測定にも用ひられるであらう。

一七 工業に於けるラヂウム

ラヂウムが工業に應用されだして來たといへば、一寸奇異に聞えようが、破壊せずして物質を試験する新方法として、ラヂウムが用ひられて來たのである。

X線による冶金學上の研究は極度に發展された。然しX線による透過度は鋼の厚さ五吋迄である。こゝに又他の理由よりしてラヂウムが效力を示すのである。

ラヂウムは常に多量の母元素ウランを伴うて産する。従つてこれを抽出する事は困難である。又ラヂウムは純粹元素として得られても、他に對して餘りに化學的作用が激しい。普通は鹽化、臭化及び硫酸化合物の形式として使用される。化學的にはラヂウムはバリウムと性質が相似て居る。

ラヂウムは不安定で常に破壊して他の物質元素を造りつゝある。その際三種の型式の放射線を出す。そのうちガマ線は非常に透過能が大である。ガマ線の波長は0.01—0.001Åである。

ラヂウムは分解してまづラドンいはゆるラヂウム・エマネーションに化する。然しラヂウムがその放射

能を半減するには一七〇〇年を要する故、實際にはラヂウムは不變の放射源と考へて宜い。

ラヂウムは研究には普通不溶性硫酸化合物として用ひられる。然し點源ではなく、擴りを持つてゐる従つて明瞭なラヂウム放射線寫眞(ラヂオグラフ)はこれによつて得られない。又實用上25mg以上のラヂウムは用ひられない。この量では値三萬五千圓許りで高價である。(この體積は1ccである。)

非常に細かいひびや浸加物でもX線寫眞で檢出される。ラヂウム寫眞はこの點不利である。又X線が陰畫に於いて對比の良いのは、それが種々の波長のものから成り立つてゐる、これは選擇吸收を容易ならしめ寫眞上に影の精密な區別を作るからである。ガマ線も「複光」的である。然しこの放射線は鉛も鋼も約同じやうに通るので、この點X線寫眞とは異なる。

標品が形及び厚さを不同にする時は、X線寫眞では、各部について撮影するのである、ラヂウム寫眞では全部を二度に撮影してもカブリを示さない。この點ラヂウム寫眞は優れてゐる。

ラヂウムは携帯に便である。取扱の危険もない。然しラヂウムからのベータ線が特に衛生上宜しくないので、ラヂウムは厚さ二耗の鐵容器に容れて用ひれば透過度の弱い放射線は遮られる。又ピンセットで持

つて容器を取扱ふ。

多量のラドンを非常に細い硝子管に封じて用ひれば、輻射源は極めて小さくなる。然し封ずる事も又斯く多量のラドンを造るべくラヂウム化合物を溶液にして保存し置く事も難しい。ラドンは壽命が短い。又これに對してポンプ及び純化装置も必要である。

X線寫眞に用ひられるスクリーンは、寫眞のエマルジョンに接して置かれた薄鉛板か又は、カルシウム・タングステートである。ラヂウム寫眞には後者が前者よりも良い。スクリーンを用ひると對比が良くなる。ラヂウムでは露出時間は數時間を要する。

一八 相對性原理

運動は相對的なものである。運動の絕對標準と云ふものは無い筈である。私達が物體が動くと申すが、是は通常地球に對しての事なのである。或は地球上に固定して居る物體即ち建築物等に對しての事なのである。私達が物體が鉛直に落ちると申しても、北極の上から観めると、是は曲線運動に見える譯である。更に此運動を太陽から観めると更に複雑になる。然るに太陽系全體は琴座に向つて運動して居る。而して琴座夫自身は絕對に静止するとは考へられない。斯くて絕對の運動静止と稱するものは無い事になる。こはガリレイやニュートンが私達に對して教へた事項なのである。

然るに光の現象や電氣磁氣の現象を論ずるに到り、其場としてエーテルと云ふものを考へるに到つた。即ち光はエーテルを媒體として一つの場所より他の場所に傳はり、電氣磁氣はエーテルを介して傳達されるものと考へた。力は直達せず、近接作用に依つて傳達するするには、如何しても或媒體が要る事になる。此エーテルが果して宇宙間に固定して居るものであるか、それとも亦天體の空間運動に伴隨されるものであるか、此疑問が起つて来る。

種々の實驗に依ると、此エーテルは宇宙間に絶對に固定するとも、或は天體と共に運動するとも考へられない。エーテルは恰も存せぬかのやうな結果になつたのである。夫はさうある可き筈である。若しエーテルが宇宙間に絶對的に静止するならば、これは運動の絶對標準となり、之に對する運動は絶對運動となる。絶對運動は思惟の上からしても許容出来ない筈のものである。アインシュタインは此エーテルを抹殺した。そして光や電磁氣の現象は眞空夫自身を舞臺として起るとした。眞空には初めから斯かる性質が具はるとする。眞空は幾何學的空間でなく、物理學的空間であるとした。さうする事に依つて事項が非常に簡明に論ぜられるのである。幽霊たるエーテルはもう姿を隠して仕舞つた。

エーテルは否定されたが、光はやはり波動である。現在の物理學の狀況では是が波動でないとする事は出来ない。

エーテルを否定し、光の速さを觀測者に對する速さと定義すると、光の速さは光源と觀測者との相對運動に依つて變らない事になる。エーテルを考へた場合は、觀測者がエーテルに對して静止してゐる限りは光の速さは光源の運動状態に依らなかつた。夫は光が波動だからである。波の速さは凡べて波源の運動に依つて變らないものである。然し觀測者がエーテルの中を運動すると、其觀測者に對してはエーテルの河が流れて來る事になる。此河は、エーテルに對して一定の速さで走る光を載せて流れて來るから、觀測者

に對しては光の速さは變つて來る。斯く是迄の議論では、光源がエーテルの中を動くのと、觀測者がエーテルの中を動くのとは全く違つた結果を生じたのである。光源が觀測者に近づくのも、觀測者が光源に近づくのも同じくあつて欲しかつたのである。アインシュタインはエーテルを抹殺して此結論に達した。

眞空中に於ける光の速度は斯くて不變となる。毎秒三十萬軒である。運動の相對性を許す事から斯かる結論を得る。光速度の不變性は實驗の結果に良く符號する。色々の實驗が行はれて居るが、凡べて光の速度は不變なりと云ふ事に歸着する。

アインシュタインは光速度不變の原理を第一の假定とした。そして物理學的法則の不變性を第二の原理的假定として議論を進めた。物理學的法則は、全く立場に無關係に同一の數學的形式で表はされるものでなければならんとするのである。物理學的法則は本來斯くある可きものであるとするのである。

光速度を支配する法則も亦其一つである。實に凡ゆる觀測者の立場の對等なる事を許す爲には、一の體系に對して、物理學的法則はより簡單に、他の體系に對してはより複雑な形式で表はされるとする事は出来ない。是迄の物理學的法則には此不變性を満足しないものがある。これは改修する必要があるのである。

アインシュタインは光速度の不變性より絶對同時刻を否定した。同時刻は相對的なものであると云ふのである。アインシュタインの通俗書に見えるやうに、レールの上を汽車が走つて居るとする。今汽車の兩

端に當つて地上に對して同時に落雷が起つたとする。落雷の際の光は地上から見ても凡ゆる方向に同一の速さで進む譯である。勿論地球は他の天體に對して運動してゐるが、夫に無關係に地上に對して同一の速さで進む。初め汽車の中央に當つて地上と汽車内とに各々人が立つて居るとする。地上の人には左右の落雷からの閃光は同時に達する。然し汽車の中央に居る人の所へは同時に着くであらうか。勿論光は此人に對しても左右同一の速さで進む譯であるが、地上から判断すると此汽車が左から右へと運動する時は、車内の人は右からの光を迎へるやうに、左からの光は彼を追ひ距けるやうに見える。それで車内中央の人の所へは右から來た光は早く、左から來た光は遅く達する。然し車内の人に對しては光は左右等しい速さで進むのであるから、右からの光は時刻的に早く、左からの光は時刻的に遅れて出されたものとするであらう。(自分から汽車の前後兩端迄の距離は等しいのであるから。)

斯く地上の人の同時刻と稱するものは車内の人の非同時とする處である。處が車内から判断すれば地上は右から左へ運動して居る譯である。夫故車内に對して同時に落雷が起つた場合は、地上の人は之を非同時とする筈である。

同時刻が絕對性を失ふと、従つて物體の長さや形状も絕對性を失ふ。夫は動いて居る物體の長さはどうして一義的に定められるかを考へてみれば明かであらう。動いて居る物體の長さは、其前後兩端に當たる

點を觀測者に對して同時刻に地上に記し付け、後に此距離を測つて始めて一義的に定められる譯である。同時刻に定めなければ長さは色々に出て來る。前後兩端に當たる點を地上に記し付ける事が時刻的に前後すると、長さは不定になる。然るに同時刻は絕對性を失つて來た。動いて居る汽車の長さを地上から測つたのと、汽車内の人が其長さを測つたのと違つて出て來る。汽車内の人に對しては汽車は静止してゐる。其關係は汽車が地上に静止して居る時、私達が之を觀めるのと同じである。従つて物體が動くとき長さが變はると云ふ事が出来る。此場合長さは縮む事になる。速く運動すればする程長さは益々短かくなり、物體が光の速さで運動すると、運動方向に厚さが無くなる。然し物體と一所に動いて居る人から見れば、其人に對して物體は静止してゐるから、此長さは少しも變らぬ譯である。運動方向に垂直な二つの方向では兩觀測者の長さの測り方に變りは無い。即ち凡べての事項は此方向には對稱的であるから、従つて運動する物體は此方向には縮まらない。

時間の測り方も觀測者の立場に依つて變つて來る。A及びBの二人が互ひに運動してゐる時、互ひに先方の時計の進み方が緩いと考へるのである。先方の一秒とする處は此方のより長い時間になる。相對運動の速さが光の速さに等しくなると、先方の時計は全く動かぬやうに思はれる。

アインシュタインは引力の働く場は歪んだ空間であるとした。物體が引力を受けて曲線運動するのを歪

んだ空間で物體が慣性運動するのだと考へられると申す。力の作用を受けなくとも、空間が歪んで居る爲に、物體は其二點間の最短距離の方向を求めて運動する爲に、次第に其徑路が曲がるのだとする。空間が扁平な場合には二點間の最短距離の方向は之等を結ぶ直線となるが、空間が歪んで居ると曲線になる。球の表面は一つの歪んだ空間である。球面上に二點を取り、其最短距離の方向を求めると、二點を結び附ける大圓の弧になる。

物體許りでなく光も引力場で曲がる事になる。そして時計は引力の強く働く場所では遅れて來るのである。

一九 宇宙は膨脹する

1

支那の詩人は『壺中も亦天地』と云つた。一簞の食、一瓢の飲以て我が生を楽しんだ仙人に對しては、陋居も亦宇宙であつた。

然し晴夜眼を空に向ければ、幾億の星が燦然として輝くのである。數百の星雲も亦望遠鏡裡に覗はれる是等凡ては所謂大宇宙を形成するのである。其大いさ 10^{23} 程と學者は計算する。

幾何學で云ふ處の點は長さ、幅、厚さを持たず、單に位置のみを示すものである。之を零次元の世界と云ふ。直線や曲線は長さを持つが幅も厚さも無い。之を一次元の世界と云ふ。平面や曲面は二つの方向を持つが、厚さが無い。之を二次元の世界と云ふ。

吾人の經驗する世界は三次元の世界であり、長さ、幅、厚さの三方向を有する。

一次元の世界に棲む小動物は線の曲率を容易に知る事は出来ない。然し二次元以上の次元の世界から『見下せば』、線の曲率は一目判然たるのである。

二次元世界の曲率も同様、三次元世界即ち我々の空間から見下せば直ちに知られる。二次元世界に棲む扁平な小動物に對しては、其世界の曲率を知る事は仲々困難である。例へば大地は無限に続く平面であると考へられた。然し大洋を越えて旅行するに到つて、地は球を爲す事が發見された。小さな範圍の經驗では球面か平面かは區別する事が出来ない。

我が大宇宙は三次元球的空間を爲す。我が三次元空間が球狀を爲す事は四次元空間の存在を意味するものでなければならぬ。普通の球面は三次元空間に於ける二次元空間である。二次元球面の曲率は三次元空間より見れば忽ちに知られ、同様に三次元球面の曲率は四次元空間の超人間『神』より見れば直ちに知られる。然し三次元の世界に棲んでゐても經驗範圍が増し又理智判斷あらば、其空間の曲りを知る事が出来る譯である。

2

昔ドイツ、ゲッチンゲンのガウスは、我が空間が果して曲つてゐるか否かを試めず爲に、ゲッチンゲン附近に三個の地點を選び、三角形の内角の和を測つた。若し空間が曲つて居れば、三角形の邊は直線ではなく、内角の和は二直角にならない。測量の結果は空間が曲率を有しない事が判つた。

測量の際二點を結び附ける方向は光線に依つて定められる。若し空間が曲つて居れば、光線は常に二點間の最短距離を採らんとする故に、曲進するのである。此場合三角形は、恰も球面の上に大圓弧に依つて圍まれた三角形と類似する。

ガウスが失敗した理由はアインシュタインの相對性理論に依つて明かになつた。相對性理論に依ると、大なる質量の星の世界に於て始めて空間が彎曲するのである。例へば太陽附近では萬有引力が大であり従つて空間が彎曲するのである。此事は皆既日蝕の際、其附近を通る光線が彎曲する事から證明される。

宇宙は是等各天體の集合であり、又全體として曲れる空間を爲し、大いさ有限、無終端、無境界である
大宇宙に於ける我等は二次元球面上の小動物に當たる。

3

大宇宙は斯く球的閉空間を爲すが、現在これが次第に膨脹しつつあるのである。膨脹は其二點が互に相
隔たる結果である。宇宙内の各點は何れもそれが宇宙の中心であると考へ得可く、他の天體は之よりの距
離に比例する速さを以て遠ざかるのである。即ち地球より観測すれば他の星雲は後退するのである。天文
學上の観測は此事實を示す。

宇宙は其初め、非常に稀薄な物質で充たされて居り又極めて小さな正曲率を持つて居つたが、其後物質
は次第に凝結し、全宇宙は膨脹し出した。此凝結塊は相互に相引き、或物は廻轉の速度を得た。廻轉體は
それが凝縮を増すに従ひ速さは増加する。斯くて非常に大きな扁圓塊が餘りに其廻轉を速くすると、其外
縁が不安定となり、滴を抛げ出す。此滴が太陽となり、又集團が螺旋星雲を爲す。螺旋星雲は中央部以外
數十億の星より成立する。我が太陽は、銀河宇宙と呼ばれる星雲に屬する。此銀河宇宙は 5×10^5 年前から

存在してゐたのである。

即ち宇宙は進化すると共に膨脹する。非常に遠方の星雲と雖も其後退速度は光の最大速度を越す事は出
來ない。膨脹の極は「破裂」か。否々然らず。宇宙は膨脹を止めて又收縮し出すのである。

二〇 膨脹しつゝある宇宙

新宇宙観

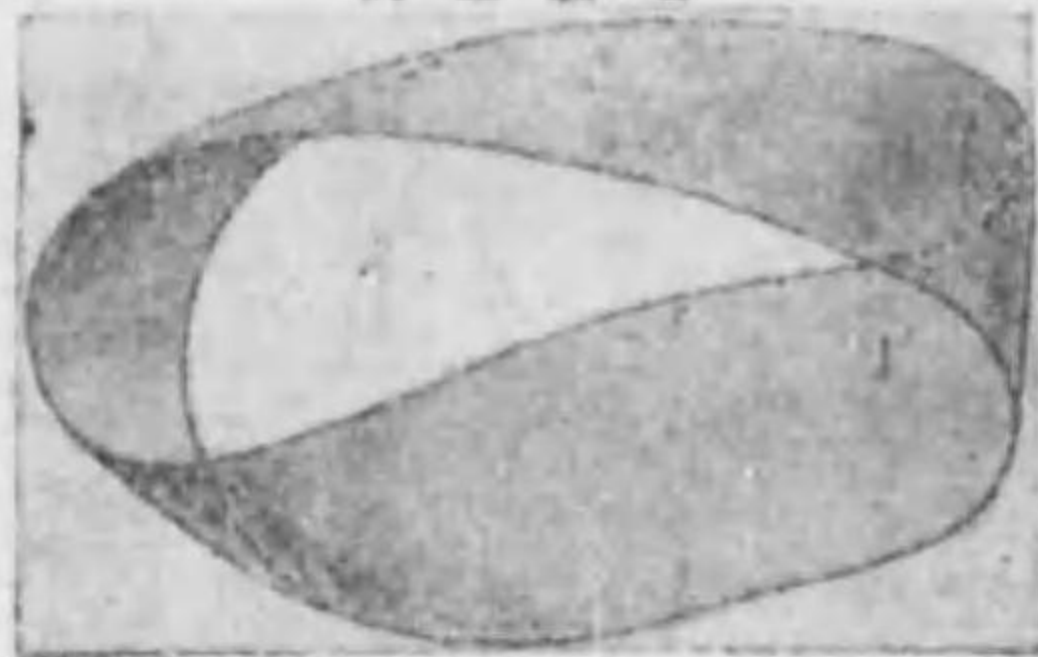
物理學的世界観の發展期に際し、新しき宇宙観が唱へられたことは興味あることである。この宇宙は無限無涯の空間でなく、已にアインシュタインにより、有限にして無境界なる空間なりと説かれた。しかもこの空間が次第に膨脹しつゝあることが、最近に天文學上の観測より發見され、又相對論より根據づけられたのである。

宇宙空間が有限無涯なることは、この空間が曲率を有し、非ユークリッド的であるためである。この曲空間の大きさはそれを填充してゐる物質や輻射エネルギーの量によつて定まるのである。

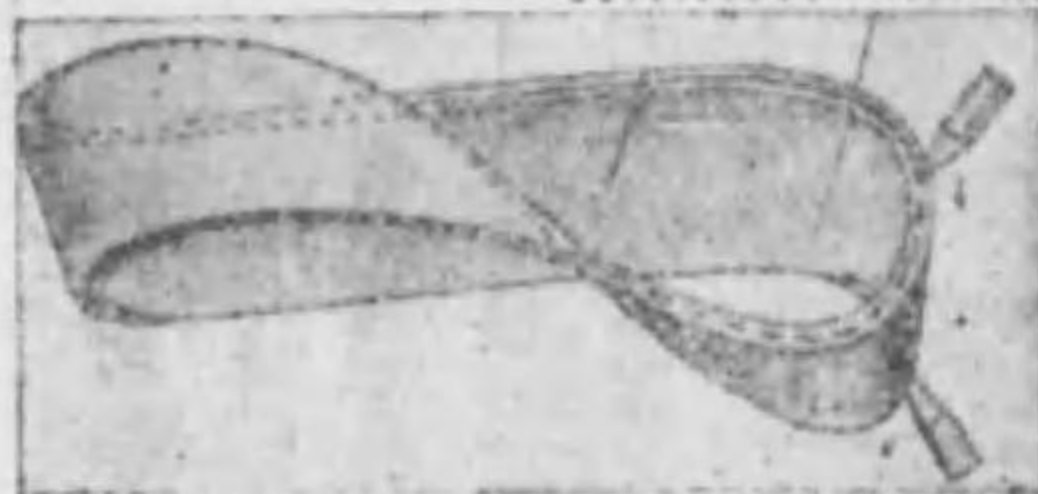
曲空間

曲空間とは何か。その概念を、次に人工的な實驗的な空間によつて説明しよう。

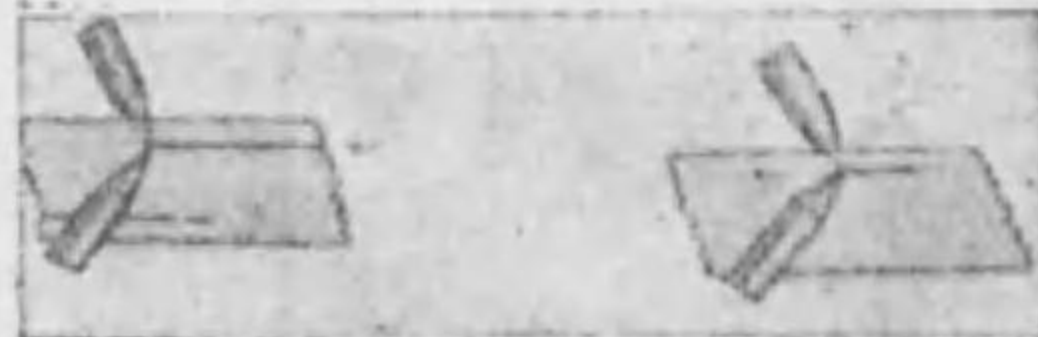
曲空間



第一圖



第二圖



右第三圖
左第四圖



第五圖



第六圖



第七圖

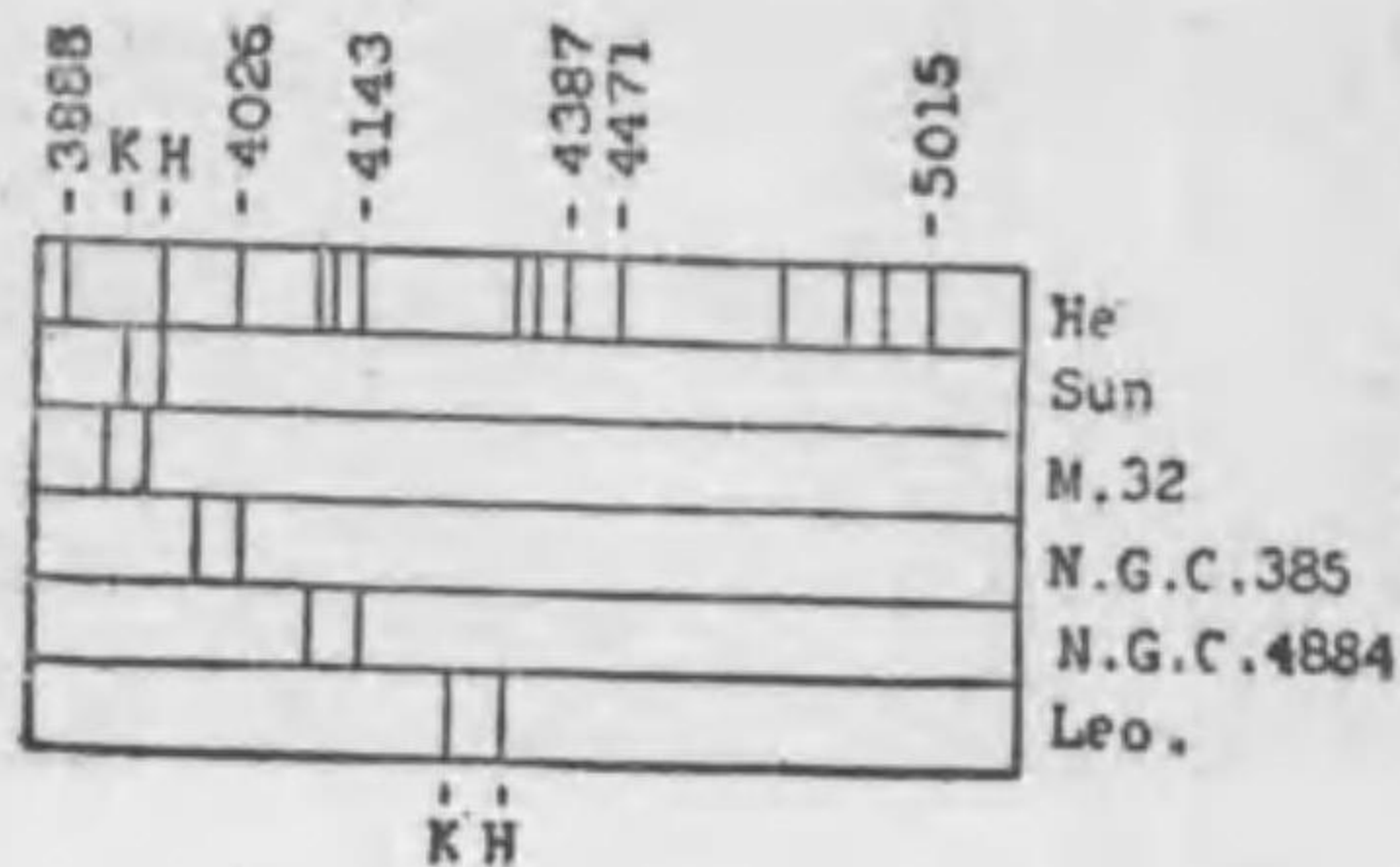
第一圖は、兩端を固着して無端の條とした紙片である。その一端を、固着する前に半迴轉してある。の紙片の面は、有限にして境界端の無い空間である。今第二圖の如く、その兩縁邊に二條の平行線を同時

に引き出す。一は實線で他は虚線で描く。さうすると一週後に両者が相収斂する。しかし両者は常に相平行である。又次に第三圖の如く、紙片の両面に同方向に同時に平行線を引く、條を一周すると一方は他方の面の縁邊に来る(第四圖)。紙面は光線や物體の進む方向を示すものと考へると、この實驗空間から、曲空間に於ては普通の如き平行線公理が行はれないことが解る。又第五圖の如く、前述の紙片を缺で二つに切り通すと、長さは原の二倍で曲率の違つた一つの空間を得る(第六圖)。しかし縁邊に近く常にそれより同じ距離に切り行くと、缺は出發點に歸り二つの別々な空間を得るのである(第七圖)。

さてアインシュタインが考察した宇宙では、物質が宇宙を一樣に填充し、萬有引力と宇宙的反撥性とが相約合つて一つの閉じた宇宙空間をなしてゐる。しかるに事實、宇宙の星雲は現在互に擴散しつつある。主としてスライファー(Slipher)により、銀河外螺旋狀星雲のスペクトル線は、地上の同種元素のスペクトル線に對して、赤方に變位してゐることが發見された。これ即ち星雲が吾人より後退するために起るスペクトル線のドップラー効果である。

スライファーの觀測は今から十年前のことであるが、一九二七年に、アッペ・ルメートル(Abbe, L. M. J.)等により、宇宙がアインシュタイン説の如く静止せず膨脹又は收縮し得ることが相對論より理論的に示された。スライファーの觀測は、この動的宇宙の一方膨脹性宇宙をば事實として決定するもので

第八圖 銀河外螺旋狀星雲のスペクトル線



ある。

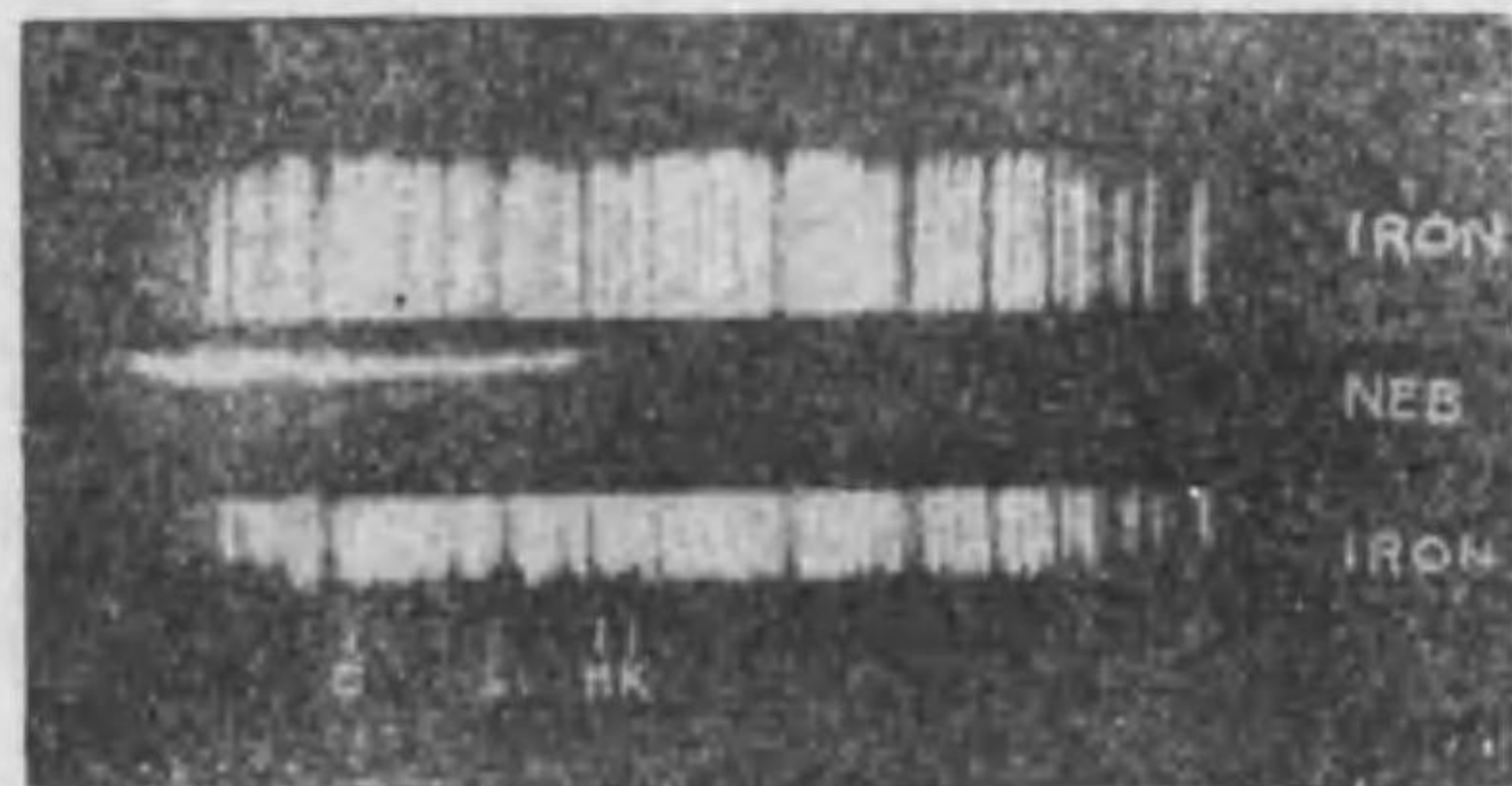
ルメートル等の結論は一九三〇年來ドゥ・ジッター(De Sitter)、エツチントン(Eddington)等の相對天文學者によつて注意され出して來た。かくて膨脹性宇宙が天文學界を賑はすに到つたのである。

銀河外星雲のスペクトル型式は、太陽スペクトルと似て居り、カルシウムのH、K線、G群及び水素線の痕跡が、連續スペクトルに於て廣い吸收スペクトルとなつて現はれてゐる。

スライファーのスペクトル表は、四十個の測定を含み、最近なるアンドロメダ星雲及びM 33以外は吾人より遠ざかりつつあることを示してゐる。

銀河外星雲のスペクトル

一體銀河外星雲のスペクトルは、銀河星雲に對するやうな裝置では撮影は困難である。銀河外螺旋狀或は橢圓狀星雲は、長時間の露出に於てもかすかな連續スペクトルを示す



に過ぎない。それ故に一九二八年來、ウィルソン山天文臺では、ハッブル(Hubble)及びヒューマソン(Humason)が、その百吋望遠鏡に附屬せしめる特別のプリズム式スペクトル寫眞装置を工夫して、八十個の星雲のスペクトル線の變位を組織的に研究した。波長で八七五オングストロームの間隔を長さ一耗に投じて、スペクトルの明るさを十分にした。勿論その結果波長測定の不正確はあるが、星雲の速度にしてこれは毎秒三百軒以下である。線の變位はヘリウム等のスペクトル線と比較して測る。

現在までの観測によると、最大の後退速度をもつものは、レオ(Leo)座に於ける小橢圓星雲群であり、その中の最大光輝を放つものは、毎秒一九七〇軒の速度をもつ。實にすばらしい速さである。そして一般に星雲の後退速度は、吾人よりの距離に比例することが判つた。又太陽の銀河内運動の影響を除くと、最近なる星雲でも、同じく後退することが知られた。

星雲までの距離はどうして測るかといふと、ハッブルがアンドロメダ星雲の外域に於けるセファイド(Cepheid)型變光星の發見以來、この星の見

掛けの光度と絶対光度とから、知るやうになつた。見掛けの光度は距離の自乗に逆比例するから、絶対光度が知れて居れば、距離は容易に知られる。そして絶対光度と光度の週期との間に關係があることはシャプレー(Shapley)が發見してゐる。一日以下の短週期のものは、長週期のものに比して明るさが弱い。即ちセファイド型變光星は「標準蠟燭」として役立つてゐる譯である。この外O型、B型星及びノヴァも距離の推定に用ひられる。

かくて星雲は吾人よりの距離に比例する速度で後退する。即ち天體は相互にその距離を増加し、宇宙は膨大しつゝあるのである。この事實が相對論にては、物質が輻射に轉換するための結果として考へられる。何が故に宇宙には反撥性あるか、これは物質間に引力あると同様の意味のものであらう。

二一 相對論の立場よりテクノクラシーを観る

ヨーヨーといふ玩具が街頭に流行りだした。精神統一に妙であるといはれる。あれは十八世紀の初め頃光信の描いた繪の中にある手車と同じもので、即ち日本がこの玩具の元祖であると、ドイツの繪入雜誌ウオッヘが記してゐる。正に發明の逆輸入である。

ヨーヨーと共に、最近ジャーナリズムを賑はしてゐるのはテクノクラシー (technocracy) である。

テクノクラシーの創唱者、ハワード・スコットは、ニウ・ヨーク、コロムビア大學の工科の教授連や技術者より成る一つの研究團體の主腦者である。彼等は過去十二年間北米のエネルギー調査を行ひ、その結果テクノクラシーの新學說に到達したのである。

この學說の基本假定は、社會活動によつて起る萬般の現象は測定され得るものであり、社會價值はエネルギー尺度によつてのみ正確公平に測定され、富はエネルギーを使用形態に變化したものに過ぎぬといふにある。

例へば一噸の石炭は、時と所に従つて價格を異にするが、そのエネルギーは一定不變である。價格制度即ち貨幣價值制度の下では富は一方に負債の存在を豫定する。現代の社會危機はこの制度の罪なりとして

テクノクラシーは、現行の貨幣制度に替へるにエネルギー制度を以てせよと叫ぶ。

近代は機械文明の尖鋭化した時代である。現に人影無くして動くレイオン工場が出現せんとしてゐる状態である。勿論價值は欲望の測度であらうが、機械社會に於ては福利や工作又生活標準はエネルギーを以て測られねばならぬ。

人間が機械の代りに労働し、若くは人間が生産單位として認められたのは過去の社會のことである。明日の社會に於ては生産には機械をして當らしめ、人類は多くの時間を修養に専らにせねばならぬ。

斯くて科學者、技術者は人類の經濟生活を委ねられ、生産能力の統制者となつて現はれるのも近いことであらう。

テクノクラシーの語は元來一九一九年カリフォルニア、パークレーのウィリアム・H・スミスの發案に懸かる。しかしスコットに到つて始めて機械と人間の新しい問題となつたのである。現代の産業の大部分が社會浪費である以上、銀行家もマルクシストも居らないエネルギー社會こそは、社會の最も確らしい次の状態であらうと豫言される。

機械主義論はユトピアズムに過ぎずとする人達がある。しかし晩かれ早かれ、エネルギーを以て力付けられた機械が人類を支配する日が来るであらう。ロボットが人類を奴隷にすると申すべきか。機械の力にこそ我々は今多大の考慮を拂はねばならぬのである。

エネルギー社會に於ては、法律の概念は全く一變しなければならぬことは、筆者が今より十數年前相對論の處女著を公けにした時に高調した處である。相對論に於ては物質よりはエネルギーをより深い概念とする。物質は保存されずしてエネルギーが保存される。テクノクラシーの理論の潜流として、必ずや相對論あるべきことは筆者の信じて疑はぬ處である。

原子と宇宙終

昭和八年九月一日印刷
昭和八年九月五日發行

定價金五拾錢

著作者 竹内時男

發行者 神田豐穂

東京市日本橋區吳服橋二ノ五

發行所 會社 春秋社

電話 日本標話 (24) 二一六六二九四

振替東京二四八六一



原子と宇宙

印刷所

東京市錦町二十九番地手會社

谷口印刷所

印刷者 谷口熊之助

〔所本製木植 本製〕

部一第・庫文秋春

- (45) 加藤一夫著 クロボトキン藝術論★
- (46) 富士川游著 科學と宗教★
- (47) 石川恒太郎著 日本浪人史★
- (48) ハヴエロツクエリス著 増田一郎譯 結婚史★
- (49) 三島巖七著 生殖理論★
- (50) 美濃部照若 動物の分類★★
- (51) 竹内時男著 物理學的新世界像★
- (52) 藤野滋譯 英國現代隨筆集★★
- (53) 内村連三郎譯 基督のまねび★★
- (54) 木村毅譯 アミエルの日記(前)★★
- (55) 柳田泉譯 アミエルの日記(後)★★
- (56) 五十嵐力著 平家物語の新研究★
- (57) 坪内逍遙著 東西の煽情的悲劇★
- (58) ステイブンス著 谷島・藤野共譯 若き人々の爲に★
- (59) 伊藤秀一著 世界經濟の理論と概観★
- (60) 古田大次郎著 死の懺悔★★
- (61) 宮崎安右衛門著 宮崎 アシジ 聖フランシス★★
- (62) 竹内時男著 宇宙と原子★

部二第・庫文秋春

- (1) 相馬御風著 一茶と良寛と芭蕉
- (2) 相馬御風著 貞心と千代と蓮月
- (3) 萩原井泉水著 旅人芭蕉
- (4) 萩原井泉水著 續旅人芭蕉
- (5) 萩原井泉水著 芭蕉の自然觀
- (6) 萩原井泉水編 尾崎放哉俳句集
- (7) 萩原井泉水編 芭蕉選集
- (8) 野口米次郎著 放たれた西行
- (9) 萩原井泉水著 「奥の細道」通説
- (10) 上野松峯著 詩に瘠せた芭蕉
- (11) 相馬御風著 良寛坊物語
- (12) 萩原井泉水著 芭蕉と一茶

三六判美裝・一冊一圓

(俳書詩歌類)

(以下續々刊行)

部三第・庫文秋春

(70)	(69)	(68)	(67)	(66)	(65)	(64)	(63)	(62)	(61)	(60)	(59)	(58)	(57)
内山賢次	内山賢次	八住利雄	八住利雄	八住利雄	八住利雄	内山賢次	神永三	神永三	神永三	青野吉	青野吉	青野吉	村松正俊
譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著
四少女	四少女	人生	人生	人生	人生	純正	人	人	人	國富	國富	國富	理想國家
(二)	(一)	(四)	(三)	(二)	(一)	會學	論	論	論	論	論	論	(二)

(80)	(79)	(78)	(77)	(76)	(75)	(74)	(73)	(72)	(71)
宮島新三郎	堀井嘉雄	今井嘉雄	今井嘉雄	今井嘉雄	中村千代子	中村千代子	中村千代子	村山三郎	村山三郎
譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著
吾日夢	草の葉	アンクル	アンクル	アンクル	アンクル	アンクル	アンクル	アンクル	アンクル
(以下續々刊行)		(三)	(二)	(一)	(三)	(二)	(一)	(二)	(一)

本四六判上製・一冊八十錢

(泰西名著紹介)

部三第・庫文秋春

(42)	(41)	(40)	(39)	(38)	(37)	(36)	(35)	(34)	(33)	(32)	(31)	(30)	(29)
岩崎勉	岩崎勉	柳田泉	柳田泉	柳田泉	柳田泉	田部重	内山賢次	内山賢次	安藤春雄	安藤春雄	高橋久	高橋久	佐久間政一
譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著
メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ	メタフユジカ
(二)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)

(56)	(55)	(54)	(53)	(52)	(51)	(50)	(49)	(48)	(47)	(46)	(45)	(44)	(43)
村松正俊	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎	村山三郎
譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著
理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家	理想國家
(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)	(一)

本四六判上製・一冊八十錢

(泰西名著紹介)

部三第・庫文秋春

(14)	(13)	(12)	(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
吹田順助	北川三郎	北川三郎	北川三郎	北川三郎	北川三郎	北川三郎	北川三郎	古館清太郎	佐久間政一	柳田泉	宮原晃一郎	柳田泉	柳田泉
譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著
移	世	世	世	世	世	世	森	文	自	憂	代	衣	英
民	界	界	界	界	界	界	の	藝	然	愁	表	裳	雄
文	文	文	文	文	文	文	生	復	活	哲	偉	哲	及
學	史	史	史	史	史	史	活	興	興	論	論	學	崇
	(六)	(五)	(四)	(三)	(二)	(一)							拜

本四六判上製・一冊八十錢

(28)	(27)	(26)	(25)	(24)	(23)	(22)	(21)	(20)	(19)	(18)	(17)	(16)	(15)
平林初之輔	平林初之輔	賀川豊彦	賀川豊彦	賀川豊彦	賀川豊彦	茅野蕭々	茅野蕭々	内藤濯	内藤濯	宮島新三郎	宮島新三郎	茅野蕭々	吹田順助
譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著	譯著
エ	エ	唯	唯	唯	唯	青	青	佛	佛	英	英	佛	獨
ミ	ミ	物	物	物	物	春	春	蘭	蘭	國	國	蘭	逸
イ	イ	論	論	論	論	獨	獨	西	西	に	に	西	の
ル	ル	史	史	史	史	逸	逸	の	の	於	於	の	浪
(三)	(一)	(四)	(三)	(二)	(一)	派	派	浪	浪	ける	ける	反	漫
						(三)	(一)	漫	漫	自然主義	自然主義	動	派
								派	派	(二)	(一)		

(泰西名著紹介)

338
440

終