最近の物理學

理學博士 仁科芳雄

昭和十一年十二月十五日

海軍技術研究所

本篇は下記講演の筆記なり

講演年月日　昭和十一年五月十三、十四、十五日

講演題目　最近の物理學

講演者　理學博士　仁科芳雄

講演場所　海軍技術研究所講演室

聽講範圍　判任官以上

最近の物理學

目　次

頁

1. 緒　言 …… 1
2. 原子及原子の實體 …… 1
3. 原子の構造 …… 5
4. 光の粒子說 …… 6
5. 物質の波動說 …… 9
6. 原子內の電子の運動 …… 11
7. 量子論及波動力學 …… 11
8. 光と物質の相異 …… 14
9. Pauli の principle 及週期律 …… 15
10. 分子の構造 …… 24
11. 原子核及原子核の構造 …… 25
12. 原子量及同位元素 …… 26
13. 物質の窮極の單位 …… 28
14. 原子核の崩壞及放射線 …… 30
15. 原子核の破壞 …… 33
16. 人工放射能 …… 39
17. 宇宙線の發見 …… 42
18. 宇宙線の源 …… 43
19. 宇宙線の本質 …… 44
20. 緯度と强度との關係 …… 51
21. 宇宙線の Energy …… 54
22. 宇宙線の發生 …… 56
23. 宇宙線の應用 …… 57
24. 結　言 …… 57

〔終〕

最近の物理學

理學博士　仁科芳雄

1. 緒　　言

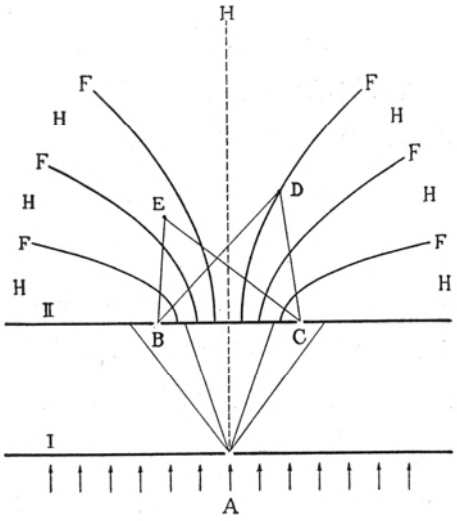
唯今御紹介に預りました仁科で御座います．此から九時間大體私達のやつて居ります事に就いて御話致し度いと思ひます．各方面で屢講演を致しますが講演後どうも判らないと云ふ場合が多い様である様に思ひます．此の事は卽ち判る判らないと云ふ事が問題なのでありまして，其れは自分の Experience に Analogy を持つものは判り，持たないものは判らない，卽ち新しい事は判らないのが普通なのであります．斯うした意味から申しますと私共にしましても判らないと云ふ事になります，何故ならば私共の有する概念，之は Microscopic に矛盾無く終止する法則を當て嵌め得ないと云ふ様な，つまり經驗を超越したものでありますから，之を基礎として行ふ處の分子，原子の研究が總ての場合に當て嵌らなくとも不思議では無い譯であります．

私共から見ますと皆様の大部分は應用研究の部門の方でありますから私共のやつて居る事に興味があるかどうか疑問でありますが，最近の傾向として Fundamental phenomenon が應用方面に新しい方面を開くと云ふ傾向がある様に思ひます，でありますから應用方面の方から見ると或は非常に役立つものでないかと思ひます，寧ろ其以上であると思ひます．兎に角應用方面にある皆様の如く新しい物を造ると云ふ爲には Fundamental effect が如何なる事態を示したかと云ふ其結果だけでもそれを Master する事が非常に必要だと思ひます．例へば America の G. E. Co. の行つて居るのを見ましても，少くとも何か新しい方面を行ふには新しい現象或は結果を發見すると云ふ事が非常に助けになると思ひます，ですから私の話の結果だけでも充分自分のものにして頂き度いと思ふのであります．

2. 原子及原子の實體

先づ原子に就いて申上ます．私共は化學の內で總ての物質は元素から出來て居る，卽ち

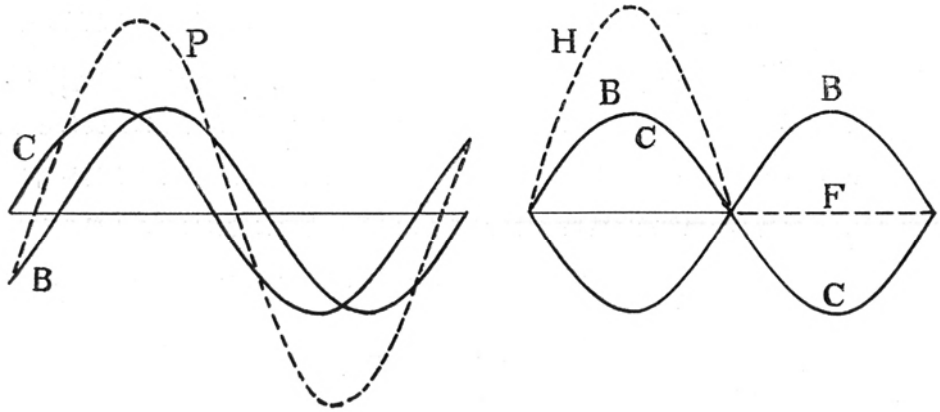
物質を分割して行つて其れ以上分割出來ないものを元素と云ふのであると云ふ事を知つて居ります．今日元素は九十個發見されまして後二個不明のものがありますが一體元素は何であるかと申しますと之は又原子から出來て居るのであります．卽ち元素を分割して其れ以上分割し得ないものを原子と云ふのであります．之は Dalton の原子說で總ての化學現象を說明するに最も良い假定であります．ところが 1912 年 X 線の干涉實驗に依りまして原子は確に實在すると云ふ事が判つたのであります．之の實驗を御話申し上げる順序と致しまして光の Grating を說明致します．



第　一　圖

第一圖は光の Grating で Thomas Young の行つた光の干涉の實驗であります．

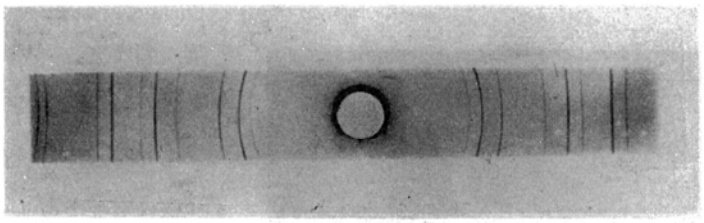
第一圖に於て A 及 B, C は夫々壁 I, II に穿けた小孔で，光が A より入射致しますと所謂廻折現象の爲に擴りまして B, C の小孔を通して II の外側に出ます．此の時 II の外側には F なる双曲線狀の暗黑の場所と此に挾まれた H なる明い場所とが出來ます．此は光が波動である爲で，第二圖の F なる暗い處は B, C よりの波動が丁度逆相になつた處で，H なる明い處は同相になつた處であります．



第　二　圖

X線も之と同様な現象を呈するのであります．X線は波長が短い爲に Grating は之を人工的に作ることは出來ませんが天然の結晶が之をやつて呉れるのであります．卽ち結晶に X線を當てますと光の Grating と同様な干渉を起すのであります．此は取りも直さず結晶が整然たる原子の配列である事を意味するのでありまして，吾々は之に依つて原子の數，原子の配置等を調べる事が出來るのであります．

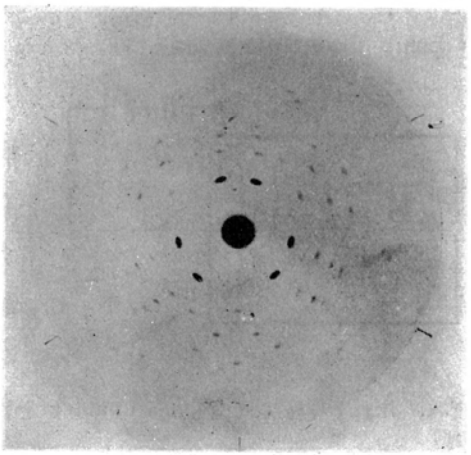
第三圖は Debye と Scherrer が Laue の X線干渉の實驗裝置に用ひた薄い閃亞鉛鑛の



第　三　圖

代りに硫化マンガンの細粉を用ひたもので圖の様な干渉輪を生じます．此れは色々の位置にある小さな結晶片からの反射に依る干渉で X線を波動と考へて理論的に求めたものと一致して居ります．

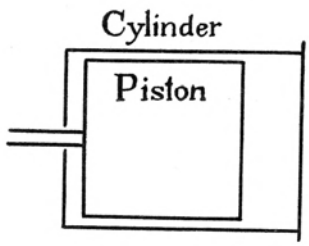
第四圖は Laue の X線干渉實驗で X線が薄い閃亞鉛鑛の正方體結晶の對角線に並行に入射された場合で，圖の中央の黑點は X線が其の儘結晶を通過して來た處で周圍の點々が廻折干渉に依つて生じた縞であります．此れも X線を波動と考へ閃亞鉛鑛の正方體結晶の立體格子に依つて生ずる干渉點と良く一致して居ります．



第　四　圖

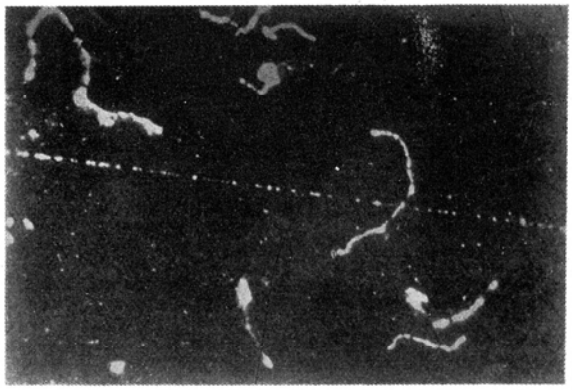
原子の實在を知る方法は此の他にも色々あります．例へば原子が相當な Energy を持つて居りますと，其の通つた跡を見ることが出來ますし又其の一つ一つを數へる事も出來るのであります．

前者は例へば Wilson の Cloud chamber でありまして第五圖が之であります．



第　五　圖

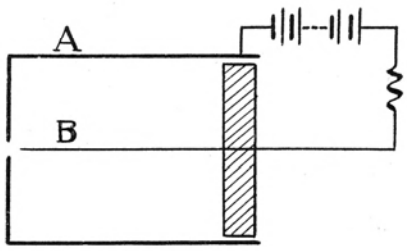
今 Cylinder 內に Water vapour を入れまして Piston を働かせ Super saturate の狀態にして置きます. 此處に相當な Energy を持つた Particle が飛込むで參りますと Cylinder 內の水の分子が電離されまして Water vapour を Condence し水滴を作ります. そこで此の細い水滴の集合を寫眞に撮るとか或は眼で見て Particle の通過した跡を認識する事が出來るのであります.



第　六　圖

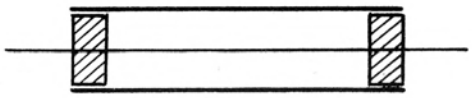
第六圖は之の Wilson chamber を使用して β線の通過した跡を撮影したもので β線は後に述べます樣に電子でありまして圖に見る樣に其の通過せる後は粒子性を示して居るのであります.

後者の一つ一つ數へる方法と致しまして Geiger counter とか Geiger-Müller tube が御座います. Geiger counter は第七圖の樣な構造で眞鍮の Cylinder A と良く磨かれた細い針金 B との間に 1000 ヴオルト乃至 1500 ヴオルトの電壓を加へて置きます.



第　七　圖

今此處へ相當な Energy を持つた Particle が飛込むで參りますと Field 內の原子にぶつかつて Ion を作ります. 此の Ion が Field で Accelerate されまして又他の原子に衝突し此れを電離させ, 結局鼠算式に Ion が增加し此れが電極で放電致しまして僅ではありますが電流が流れ, 此れを增幅して電話の Counter を數へるのであります. 次の Geiger-Müller の tube は Geiger counter と同じ原理では唯第八圖の樣に Field を Uniform field とし空間を廣くしたもので中の針金は直徑約



第　八　圖

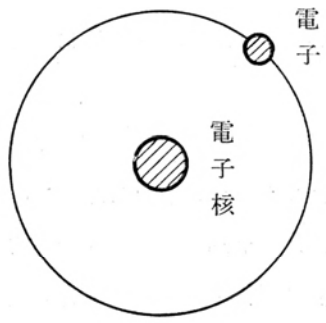
$\frac{1}{10}$耗, Cylinder 內の氣壓は水銀柱3糎乃至4糎になつて居ります. 但しWilson chamber にしろ Geiger-Müller tube にしろ通過した Particle が原子であるか電子であるかは他の方法に依つて知る事が出來るのであります.

斯樣な方法に依りまして原子は當然實在するものであると云ふ事が判りました. 此の實在と云ふ事は相當難しい問題でありますが, 吾々は實驗で確め得るものを實在と云ふのでありまして實驗は實在を認識する一つの方法であります.

3. 原子の構造

然らば原子とは如何なるものかと云ふ問題になります. 原子は第九圖の如く原子核の周圍を電子が廻つて居るのでありまして, 電子及原子核の發見に依りまして判明したのであります.

電子は眞空放電現象より發見されましたもので, 眞空管の陰極より陰電氣を帶びた粒子が飛出す, 之が電子でありまして J. J. Thomson は此の質量は $m=9.0\times10^{-28}$ g で水素原子の約 $^1/_{2000}$ であることを發表し (1897年) Millikan は此の電荷が $e=4.774\times10^{-10}$ e.s.u. であることを示しました (1910年). 此の陰極線の發見と同時に眞空管に於て陽電氣を帶びた粒子が發見されました. 此れは其の質量から種々の原子又は分子であつて, 其の電荷が上述の e の整數倍であることが判明致しまして原子核が發見されたのであります. 此の二つの實驗結果より第九圖の如き構造が考へられるに致つたのであります.



$e=-4.8\times10^{-10}$ e.s.u.
$m=\ 9\times10^{-28}$ g
$M=\ 1.66\times10^{-24}$ g

第 九 圖

之の電子の數及其の運動は各元素に依つて異り一定の法則に從ふものであります. 原子の重さは殆んど原子核の中にありまして水素原子の Mass を1として, 正確に云ふと酸素

原子の重さを 16 として測り之を Atomic weight と申します. 例へば酸素原子の Atomic weight が 16 と云ふのは酸素原子の重さは水素原子の重さの 16 倍であると云ふのであります. 卽水素原子の Mass を M としますと, 各原子の Mass は AM で表はされる事になります. A を Mass number と云ひまして後に述べます様に整數であります. 次に電子の數を Z 個と致しますと原子核周圍の電荷は $-Ze$ となります. 吾々は原子が電氣的に中性であることを知つて居りますから原子核は $+Ze$ なる電荷を持つて居ると云ふ事が判ります. Z を Atomic number と申します. 卽ち Mass number A は物質の重さを示し. Atomic number Z は物質の性質を表はすのであります. 言ひ換へれば元素の Chemical & Physical property は Z に依つて決まり, Weight に依つて定まる現象は A に依るのであります.

さて原子內の電子の運動は如何なるものかと申しますと, 之は最早 Newton の力學で取扱ふ範圍を超越したものでありまして, 之を論議するには吾々は光及び物質に對する觀方を變へなければならないのであります. 先づ光に就いて說明申上ます.

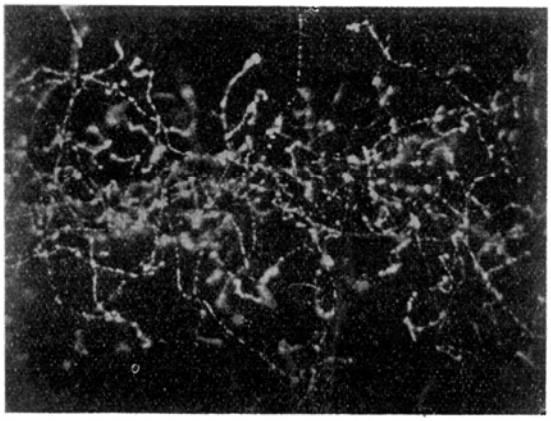
4. 光の粒子說

光は何であるかに就きましては Newton の微粒子說が正しいとされて居たのであります. 卽ち Newton は光は微粒子であるとして色々の光の現象を說明致しましたが尙說明不充分の現象が色々とあつたのであります. 處が 1800 年頃に Thomas Young が光の干涉現象を發見致しましてから光は波動なりとの說を唱へるに及んで光の微粒子說は倒れて了つたのであります. 其の後 Maxwell が光は電磁波であることを明にしてより光の波動說は最早疑のない事實となつて來たのであります.

處が私共は光電効果 (Photo electric effect) に直面するに及んで昔に立ち返り光は波では無さそうだと考へる様になつたのであります. 光電効果と申しますと短波長の光又は X 線を金屬に當てますと此の金屬から電子が飛出す現象であります. 第十圖は Wilson chamber で此の現象を撮影したもので, X 線を作用させて飛出した自由電子が飛躍した跡を示して居ります.

此を光の波動說から說明をしますと, 金屬の內部には自由電子がありますから之に光を當てますと光は Electric wave と Magnetic wave とが直角になつて進行して來るのであ

りますから强制振動を起して光の强さが增加するにつれて遂に電子が飛出すのであらうと一應說明し得た樣に見えますが次の事由に依りまして說明不能となるのであります.



第　十　圖

試みに飛出した電子の Energy を測つて見ますと若し光が單なる電磁波であるならば光の强さが增加するに連れて飛出す電子の Kinetic energy が增加すべきであります. 然るに事實は Kinetic energy は增加せず唯電子の數が增加するだけであります. 實際 Kinetic energy を增す爲には光の周波數を增加する事が必要なのであります. 之は結局光の波動說では說明不能であることを示します. 此處に於て光の微粒子說は再び復活したのであります.

卽ち 1905年 Einstein は光量子說を發表致しました. 此に依りますと光は波でなく一定の Energy を持つた Particle で玉突きの場合の樣に電子に衝突し, 其の際持つて居た Kinetic energy で電子を飛び出させるのであると言ふのであります　處で光量子が有する Energy E は光の振動數 ν に正比例して

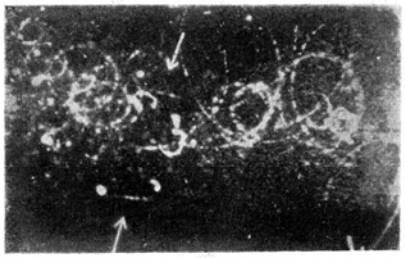
$$E = h\nu \quad \cdots\cdots(1)$$

で表はされ光の强さには無關係であると云ふのです. 但し h は後に申上げます Planck constant であります. 斯樣に假定致しますと光量子の衝突に依つて飛出す電子の Kinetic energy が光の强さに無關係なのは當然で, 光の强さを增せば光量子の數が增加し從つて飛出す電子の數も增加する譯であります. 又光の振動數を增加致しますと光量子の Energy は增加し飛出す電子の Kinetic energy も增加すると云ふ譯で, 光電効果の說明は充分に爲し得たのであります.

其の後又此光量子說の基礎を固める實驗事實が現はれて參りました. 此は Compton effect であります. 此は光が物質に當つて散亂する場合, 其の反射光線の波長は方向に依つて異る. つまり光の色が見る方向に依つて異ると云ふ現象であります.

第十一圖は Wilson chamber で此の現象を撮影したもので γ 線を作用させて飛出す反動

電子が飛躍した跡を示して居ります.



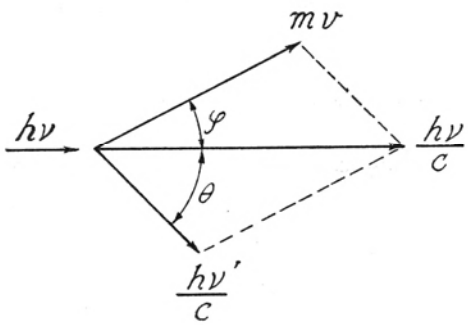
第 十 一 圖

光の波動說に依りますと此は强制振動でありますから此を何れの方向から見ませうとも振動數は元の光と同一であるべきで波動說では到底說明出來ないのであります. 此に反しまして光量子說に依りますと容易に說明出來るのであります.

光量子說に依りますと光量子は $h\nu$ なる Kinetic energy を有する微粒子でありますからその運動量は

$$\vec{P} = \frac{h\nu}{c}\vec{\omega} = h\frac{\vec{\omega}}{\lambda} = h\vec{\sigma} \quad \cdots\cdots(2)$$

であります 但し$\vec{\omega}$は光の方向に引いた Unit vector であります. 斯くの如き運動量を持つた光量子がぶつかりまして電子に mv なる運動量を與へ殘りの Vector 差が反射光線の運動量になること第十二圖に示す通りであります.



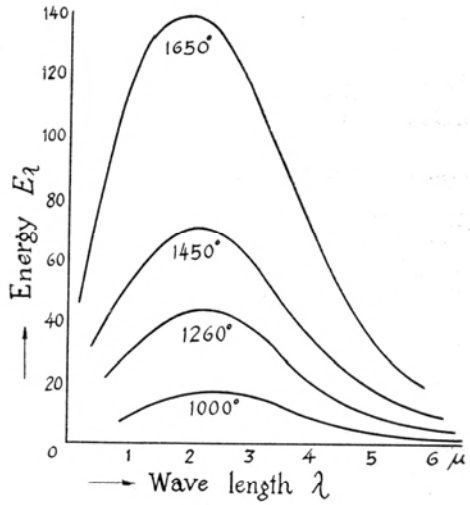
第 十 二 圖

此を見ますと θ が大なる程 ν' が少い事が判ります. 卽ち見る方向に依つて色が違ふのであります. 此を實驗と比較致しますと正に此の通りで光量子說も亦疑の餘地がなくなつたのであります. 此處で一寸 Planck constant h に就いて申上ます. 此は Planck が第十三圖, 黑體輻射曲線を說明する際に使用しました定數であります. 一般に物質は其の溫度を高めると光を放散致します. 如何なる波長の光をどれだけ出すかと云ふ事を黑體に就いて求めたのが第十三圖でありまして從來色々の學者が說明し樣と試みたのでありますが不成功に終つたのであります. 此は根本的に從來の理論と相容れぬ點があつた爲で, 此を發見したのが Planck であります.

卽ち Planck は此の Energy は Continuous に增加するのではなく

$$E = h\nu \quad \cdots\cdots(3)$$

なる分割し得ない一定量のものが Discontinuous に增加するのであるとの假定の下に圖の



第 十 三 圖

如き Convex curve の成因を説明し得たのであります. 此が今日の量子論の生れた最大原因なのであります. 斯くの如く光には波動説及光量子説の相容れない二つの説がありまして, 一方が成立つ時には一方は成立しないのであります.

5. 物質の波動説

以上は光に就いてゞありますが, 物質の方にも之と同様な現象が存在するのであります. 卽ち吾々が Particle であると考へて居た電子が光と同様に干渉現象を起すのであります. 光の場合ですと其の Energy 及運動量は前述の様に

$$\left.\begin{aligned} E &= h\nu \\ \vec{P} &= h\vec{\sigma} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

でありますが, 電子の場合ですと相對性を考慮に入れまして

$$\left.\begin{aligned} E &= \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \equiv h\nu \\ |P| &= \frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \equiv \frac{h}{\lambda} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(5)$$

となります.

但し

m_0 は電子が靜止して居る時の質量

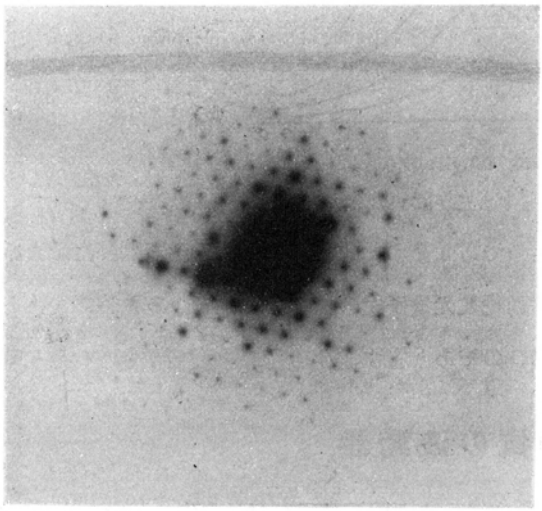
v は電子の速度

c は眞空中の光の速度

ν 及 λ は電子を波動と考へた時の振動數及波長であります．若し相對性を考へに入れませんと簡單に

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \quad \cdots\cdots(6)$$

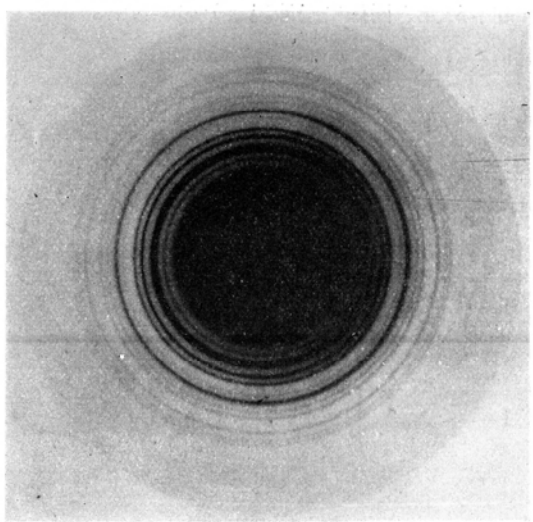
となりまして電子の干渉は斯くの如き波長の波動の干渉となるのであります．第十四圖は薄い雲母の箔に電子を打つけた場合起る干渉で電子が波動であることを示して居ります．



第 十 四 圖

第十五圖は雲母の粉に電子を打つけた時出來る干渉縞で第三圖に非常に類似して居ります．

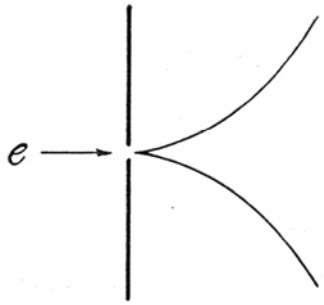
斯くの如く電子は粒子性を表はすと同時に波動性をも表はします．之は Classical には全く考へられぬ現象でありますが，波動を水の波の如く考へるから此をいざ電子に Apply すると變に思ふのであります．之を要するに電子は波にして波にあらず．粒子にして粒子にあらずと云ふ狀態を意味するのであります．



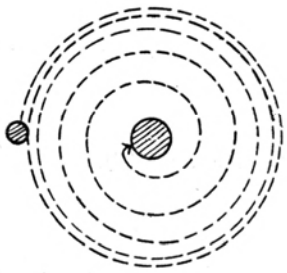
第 十 五 圖

例へば第十六圖の如く電子が細い間隙より飛込む場合，電子を波と考へますと廻折現象に依つて分散し壁の右側に於て $-e$ の $\frac{1}{2}$ とか $\frac{1}{3}$ なる電荷を發見すべきでありますが實

際は唯一つの $-e$ なる電荷を發見するのでありまして結局電子は波動狀態を呈するけれども Classical の波動と異り同時に粒子性を呈するのであります.



第 十 六 圖



第 十 七 圖

更に電子を粒子と致しますと例へば第十七圖の如く水素原子を取つて考へて見ますと電子は原子核との間の Coulomb force に依つて加速されて圖の如き軌道を畫きつゝ原子核に漸近し遂に原子核と衝突し兩方の電荷は中和されて仕舞ひ斯くの如き原子は存在し得ない事になります. 結局電子は粒子にして粒子にあらずと云ふ事になります.

6. 原子內の電子の運動

以上の如く物質に於ても波動, 粒子の二重性は光の場合と全く並行に表はれるものであります. 從來電子の運動が此れを粒子と見て相當の正確さを以て取扱ひ得たのは其の波長が問題に入つて來る物の長さに較べて短い爲であります.

然らば原子內の電子は如何なる運動をして居るかと申しますに, 此を矛盾なり云ひ表はす爲には從來の吾々の概念を根本的に變へなくてはならぬと云ふ事が解つて來たのであります. 卽ち原子とか分子とか所謂 Microscopic な世界に行はれる物理學は從來の物理學卽ち砲彈とか飛行機とか水とか所謂 Macroscopic な世界に行はれる物理學と餘程異つたものである事が明かとなつたのであります. 斯くの如き Microscopic な世界に通用される物理學の體系を量子論と唱へるのであります.

7. 量子論及波動力學

以下量子論に就いて申上ます. 先づ Newton の力學から出發致します. 今一つの質點を取りまして p を運動量 q を座標と致しますと p, q 間には

$$\left.\begin{aligned}\frac{dq}{dt}&=\frac{\partial H}{\partial p}\\ \frac{dp}{dt}&=-\frac{\partial H}{\partial q}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(7)$$

なる關係があります．茲に H は Hamilton 函數で Energy を表はします．卽ち

$$H=\frac{1}{2m}\vec{p}^{\,2}+V(q)\quad\cdots\cdots(8)$$

でありまして Newton の力學では

$$pq-qp=0\quad\cdots\cdots(9)$$

を滿足したのであります．此の古典力學を改造して Microscopic の世界に通用させる爲には此を所謂量子化する必要があります．Heisenberg は次の關係を與へて此を量子化する事に成功致しました．卽ち

$$pq-qp=\frac{h}{2\pi i}\quad\cdots\cdots(10)$$

であります．但し

$$i=\sqrt{-1}$$

$$h=\text{Planck constant}$$

式(9)と式(10)より古典論と量子論との關係が形式的に判るのであります．卽ち Planck constant が問題になる p, q に對して省略出來る如く小さいものであるときは式(9)と式(10)は一致し量子論は古典論に形式上漸近するのであります．斯くの如き數學を用ふれば原子，電子の問題は解決出來るのであります．此の Heisenberg の量子論の發展，適用，並に其の物理的意義の窮明に最も有力な役を演じたのが Schrödinger の波動方程式であります．

卽ち波は Hamilton 函數 H を Operator と考へ

$$\left.\begin{aligned}p&=\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q}\\ H\equiv W&=-\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial t}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(11)$$

とし $H=W$ を $\psi(q)$ に Operate 致しまして

$$\left.\begin{aligned}&H\psi(q)=W\psi(q)\\ &-\frac{1}{2m}\frac{h^2}{4\pi^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial q^2}+V(q)\psi(q)=-\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial\psi(q)}{\partial t}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(12)$$

なる微分方程式を樹立致しました．此の式は古典論に於ける波動を表はす微分方程式と良く似て居りますので之を波動方程式と呼び此の理論を波動力學と呼んで居ります．Schrödinger の式を解きますと

$$\psi = \psi_E(q) \quad \cdots\cdots(13)$$

となり．E なる Parameter がある値をとる時のみ Eigenwert の Solution を有します．此の Parameter E は實は System の Energy を表はすのであります．

ψ は如何なる物理的意義を持つかと申しますと，原子の Energy E が或る値を採つた時電子の位置を求めてみると (q_x, q_y, q_z) なる位置と $(q_x+dq_x, q_y+dq_y, q_z+dq_z)$ なる位置との間に見出す確率が

$$|\psi_E(q)|^2 dq_x dq_y dq_z \quad \cdots\cdots(14)$$

で與へられると云ふのであります．即ち電子を斯くの如き式の波動なりと致しましても粒子性を表はし．又斯くの如き式の粒子なりと致しましても波動性を表はす事になるのであります．

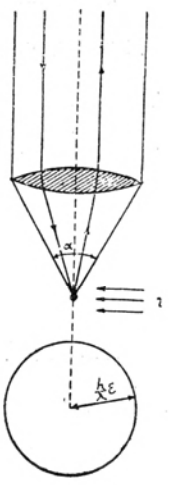
要するに吾々は量子論に於ける電子の運動を與へる數式の異なる斷面を見て居るのであつて波動性と粒子性を同時に見る事は不可能なのであります．

此等の事情を具體的に示すものは Heisenberg-Bohr の不確定原理であります．此は電子の時間 (t) 空間 (x, y, z) に於ける位置が夫々 $\Delta t, \Delta x, \Delta y, \Delta z$ なる誤差を以て測られた場合其の Energy 及運動量は夫々式(15)を滿足する $\Delta E, \Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$ より少い誤差では測り得ないと言ふ原理であります．

$$\left.\begin{aligned} &\Delta t \Delta E \geq h \\ &\Delta x \Delta p_x \geq h,\ \Delta y \Delta p_y \geq h,\ \Delta z \Delta p_z \geq h \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(15)$$

此が量子論に於て古典的概念に加へられる制限なのであります．

今電子の位置を光學的に測定して見ます．此方法と致しまして第十八圖の如く Microscope を使用する事に致します．此には γ 線の如く波長の短い光線を使用する Microscope が必要であります．今速度 v なる電子が矢で示す様に並行に走つて來ると致します．電子の位置を測るためには γ 線を Microscope の對物レンズを通じて電子に當て此が電子から反射され再び對物レンズを通り更に對眼レン



第十八圖

ズを通つて像を結ぶのであります．斯くして焦點内の各點が電子の位置と一對一に對應致しますから電子の位置が知れる譯であります．今 γ 線の波長を λ と致しますと Microscope の分解能は光の波動論より

$$\Delta x \geq \frac{\lambda}{2\varepsilon} \qquad \text{但し} \quad \varepsilon = \sin\frac{\alpha}{2} \qquad \cdots\cdots(16)$$

となります．處が γ 線を電子に當てますと Compton effect に依つて Recoil された反射光線が像を結ぶ譯でありますから何れの方向から來た反射光線が原則として解らないのでありまして，大體運動力量に於て $+\frac{h\varepsilon}{\lambda}$ と $-\frac{h\varepsilon}{\lambda}$ との間の量だけ不明なのであります．卽ち γ 線が電子に衝突する前後に於て運動量に

$$\Delta p_x \geq \frac{2h\varepsilon}{\lambda} \qquad \cdots\cdots(17)$$

なる不精確度が表はれるのであります．式(16)と式(17)を組合せて

$$\Delta x\, \Delta p_x \geq h$$

卽ち式(15)を得るのであります．此の結果の原因を檢べて見ますと，電子が觀測される爲にはどうしても γ 線と運動量の交換を必要とするのであります．而して此の交換される量は量子論特有の粒子的不連續性を有するのでありまして其の上他面に於て此交換された量が原則的に精確に知り得ないと言ふ此の二點に起因するのであります．卽ち測るものも測られるものも同じ Order の究極の單位でありますから其の相互作用に依りて斯くの如き誤差を作るのであります．

此は心理學に例を採つてみますと觀測するものが觀測されるものを左右すると言ふ現象に似て居ります．例へば生命とは何かと言ふ問題に於て生命の單位である細胞を分解する科學的解法が生命を死に致らしめる樣なものであります．

8. 光と物質の相異

以上說明しました樣に光と物質との間には大なる相似がありますが，反面に於て根本的差異があるのであります．例へば物質は一定の質量を持ち又帶電したものもありますが光には此れが在りません．又光は一定の速度 c を持つて居りますが物質は c 以下の勝手な速度を持ち得るのであります．又一つの原子内に於て電子の Energy は後に述べます Pauli の principle に從ひ其の Energy の state にある電子は唯一つで二つ以上存在することはありませんが，光には斯くの如き法則はありませんで幾個でも無制限に存在し得るのであ

ります.

9. Pauli の principle 及週期律

玆で Pauli の principle を説明致します. 光に就て Schrödinger の式を解きました時に Parameter E 即ち System の Energy の事を話しましたが, 此の E は又 (n, l, j, m) なる Parameter に左右されます. 此れを Quantum number と稱し第一表に示す値を採るのであります.

第 一 表

$$\begin{cases} n = 1, 2, 3, 4, \cdots\cdots\text{inf.} \\ l = 0, 1, 2, 3, \cdots\cdots, n-1 \\ j = l-s, l-s+1, \cdots\cdots, l+s \\ m = -j, -j+1, \cdots\cdots j-1, j \end{cases}$$

$$\begin{cases} n = 1, 2, 3\ 4, \cdots\cdots\text{inf.} \\ l = 0, 1, 2, 3, \cdots\cdots, n-1 \\ m_l = -l, -l+1, \cdots\cdots, l-1\ l \\ m_s = -s, -s+1, \cdots\cdots, s-1, s \end{cases}$$

さて此の Quantum number に色々の値を入れますと此に對應する色々な Energy の State が出來て參ります. Pauli の principle と言ふのは一つの原子内に於て Quantum number (n, l, j, m) が或る定つた値を採るとき此の State に於ける電子は唯一つ存在するか又は全く存在しないかで二つ以上存在すると言ふ事は有り得ないと言ふのであります.

次に Quantum number に就いて申上ます. 原子の内の電子の運動は Schrödinger の波動方程式即ち

$$-\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial t}\psi = H\left(\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q}, q\right)\psi \quad \cdots\cdots(18)$$

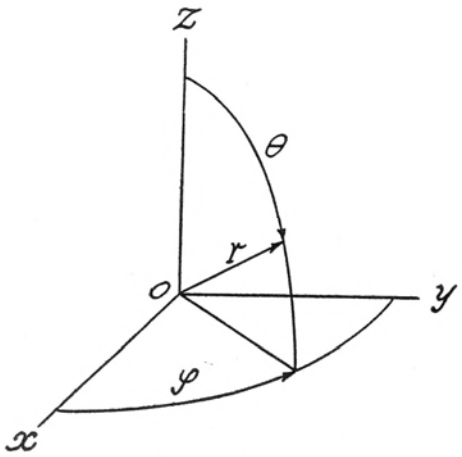
$$H\left(\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q}, q\right) = \frac{1}{2m}\sum_i \vec{p}_i^{\,2} + V(q_i) \quad \cdots\cdots(19)$$

に依つて計算出來るのであります. 今最も簡單なる水素原子に就いて解いて見ますと, ψ は原子核を中心として第十九圖の如く r, θ, φ 座標を採用致しますと Eigenwert $\chi(r)$, $\Phi(\varphi)$, $\Theta(\theta)$ の積となります, 即ち

$$\psi = \chi r)\ \Phi(\varphi)\ \Theta(\theta) \quad \cdots\cdots(20)$$

でありまして, さきに申上ました Quantum number n, m, l は夫々 r, φ, θ の函數であります. 更に n, l, j, m の Physical meaning を申上ますと,

n は Total quantum number (主量子數) と稱し電子軌道の徑を指定する量



第 十 九 圖

l は電子の軌道運動の角運動量を指定する量

s は電子自身の固有角運動量を指定する量で電子が一個の場合は$\frac{1}{2}$であります.

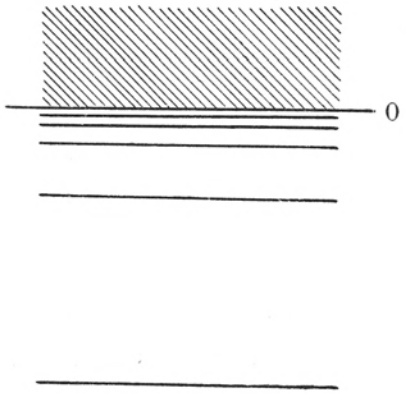
j はlとSとに依つて定まる角運動量の合成角運動量を指定する量で

m は電子が磁界に置かれた場合合成軌道を定める固有磁率に關係ある量で磁氣量子數と稱します.

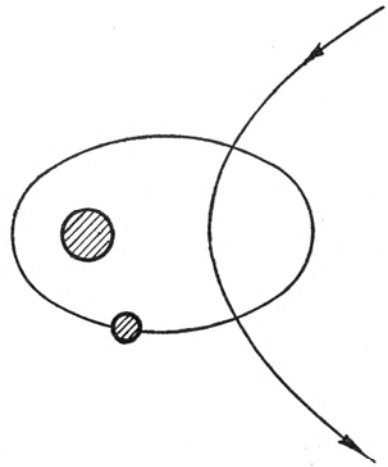
m_l は電子が磁界に置かれた場合電子の軌道運動の角運動量の磁界方向の成分で

m は電子自身の固有角運動量の磁界方向の成分であります.

原子の Energy E は此等の Quantum number に依つて定まるのでありますから, Quantum number が第一表の如き値を取りますから Discontinuous であることが判ります. 第二十圖は此の狀態を示すものであります.



第 二 十 圖

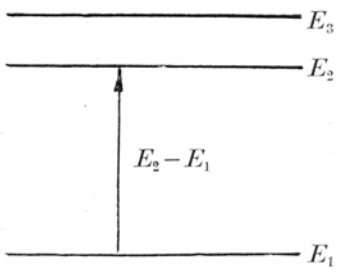


第 二 十 一 圖

Energy が Negative であると言ふ事は例へば水素原子を例に取りますと水素原子より電子を取り出すには Positive の Energy が必要であることを示すもので一般に原子核と結合した電子は Negative の Energy を持つのであります. 反對に飛出した自由電子は

Kinetic energy が大きいから Positive で任意の値をとれるのであります. 卽ち Positive の範圍では Continuous であります.

今第二十二圖に於て E_1 なる State にある水素原子に Kinetic energy を持つた電子を打つけて次の State E_2 に持ち上げ様とする場合其の Kinetic energy が E_2-E_1 より小さい時は例へ此れを打ちつけても水素原子に Energy を與へる事は出來ず唯 Scatter してしまふだけで, 此れより大なる Energy でなければ水素原子に Energy を與へる事が出來ないのであります. 此が Classical と異る點で Classical には如何なる小さい Energy でも與へることが出來ると考へて居たのであります.



第 二 十 二 圖

次に Kinetic energy が E_2-E_1 に等しければ次の State E_2 になり此れより大なる Kinetic energy を與へても State E_2 になる事には變りなく殘りの Kinetic energy を持つた電子が逃出すのであります. 斯く E_1 なる State より E_2 なる State に移ることを光の吸收と申します. 斯くして與へられた Energy は State E_2 より State E_1 に戻る時

$$\nu=\frac{E_2-E_1}{h} \qquad \cdots\cdots(21)$$

なる振動數の光を輻射するのであります.

此の振動數は大體紫外線以上の振動數に相當致します. 紫外線が地上に到達しないのは此の理に依るのであります. 卽ち太陽から出た光線の內紫外線以上の振動數を持つた光線は大氣中の原子を或る State より次の State に上げる爲に使はれて地球に到達する迄に大部分吸收されて仕まふので反對に可視光線, 赤外線等は Energy が不足であるから Scatter されて地上にやつて來るのであります. KH 層は太陽よりの波長の短い光線が吸收され Negative の State より Positive の State に迄上昇され Ionize された狀態なのであります.

原子の Energy E は Quantum number n,l,j,m に依つて定まることは前に述べた通りでありますが, 然らば如何なる State があるかと申しますと第一表に色々な値を挿入して見れば良いのであります. 例へば $n=3$ と致しますと,

$$\left.\begin{array}{llll} n=3 & l=0 & j=\frac{1}{2} & m=-\frac{1}{2},\frac{1}{2} \\ n=3 & l=1 & j=\frac{3}{2} & m=-\frac{3}{2},-\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{3}{2} \\ n=3 & l=1 & j=\frac{1}{2} & m=-\frac{1}{2},\frac{1}{2} \\ n=3 & l=2 & j=\frac{5}{2} & m=-\frac{5}{2},-\frac{3}{2},-\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{3}{2},\frac{5}{2} \\ n=3 & l=2 & j=\frac{3}{2} & m=-\frac{3}{2},-\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{3}{2} \end{array}\right\} \cdots(22)$$

卽ち $n=3$ なる State に入り得る電子の數は合計 18 個であります. 同樣にして $n=2$, $n=1$ の場合を計算してみますと

$$\left.\begin{array}{llll} n=2 & l=0 & j=\frac{1}{2} & m=-\frac{1}{2},\frac{1}{2} \\ n=2 & l=1 & j=\frac{3}{2} & m=-\frac{3}{2},-\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{3}{2} \\ n=2 & l=1 & j=\frac{1}{2} & m=-\frac{1}{2},\frac{1}{2} \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

$$n=1 \qquad l=0 \quad j=\frac{1}{2} \quad m=-\frac{1}{2},\frac{1}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots(24)$$

卽ち $n=2$ では 8 個, $n=1$ では 2 個の電子が入り得る譯であります. Pauli の principle に依りまして同じ State に入り得る電子は一個又は零であると言ふ事が判つて居りますから此を調べてみますと水素原子は

$$Z=1 \quad n=1 \quad l=0 \quad j=\frac{1}{2} \quad m=-\frac{1}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

でありまして此の State にある原子は最早水素原子の外には無いのであります. 次にヘリウム原子は

$$Z=2 \quad n=1 \quad l=0 \quad j=\frac{1}{2} \quad m=\frac{1}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

でありまして此で $n=1$ は終りでありまして次は $n=2$ の State であります. まづ此の State に入る原子はリチウムで

$$Z=3 \quad n=2 \quad l=0 \quad j=\frac{1}{2} \quad m=-\frac{1}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

次はベリウムで

$$Z=4 \quad n=2 \quad l=0 \quad j=\frac{1}{2} \quad m=\frac{1}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

以下斯くの如くにしまして 92 個の原子の State を知る事が出來るのであります.

然らば $n=n$ なる State に入り得る電子の數は幾何かと申しますと，第一表に於て m_l, m_s の方から計算致しますと，m_s, m_l は $l=l$ に對して

$$m_s: -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \qquad \text{合計 2 個}$$

$$m_l: -l, -l+1, \cdots, l-1, l \qquad \text{合計 } (2l+1) \text{ 個}$$

の値を採り得る譯でありますから m_s と m_l の組合せ數は $2(2l+1)$ 個であります．此等を $l=0$ より $l=n-1$ 迄合計致しまして

$$\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2 \quad \cdots\cdots(29)$$

即ち與へられた n に對して入り得る電子の數は $2n^2$ 個であります.

又 n, l, j, m の方から證明致しますと

$$m: -j, -j+1, \cdots, j-1, j \qquad \text{合計 } (2j+1) \text{ 個}$$

$$j: l-\frac{1}{2}, l+\frac{1}{2} \qquad \text{合計 2 個}$$

此れを組合せて

$$j=l-\frac{1}{2} \text{ に對して} \quad m=2l \text{ 個}$$

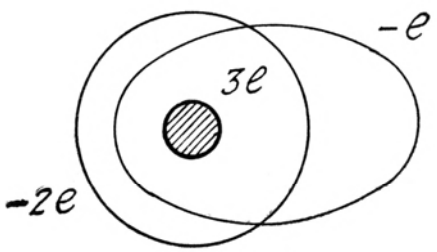
$$j=l+\frac{1}{2} \text{ に對して} \quad m=(2l+2) \text{ 個}$$

合計致しますと

$$\sum_{l=0}^{n-1}\{2l+(2l+2)\} = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2 \quad \cdots\cdots(30)$$

何れから計算するも同じであります．Pauli は此れが原子內の電子配列を支配し週期率存在の基礎をなすものである事を明らかにしたのであります.

原子の性質は外側電子の數及其の作る Field の狀態に依るので此が似て居る原子は其の性質も亦似て居るのであります．例へば Li の電子の數は三個でありますが第二十三圖に示す樣に外側電子は內側の電子の軌道に喰ひ込むで居りますから Li は $Z=2$ の He に似て居るのであります.

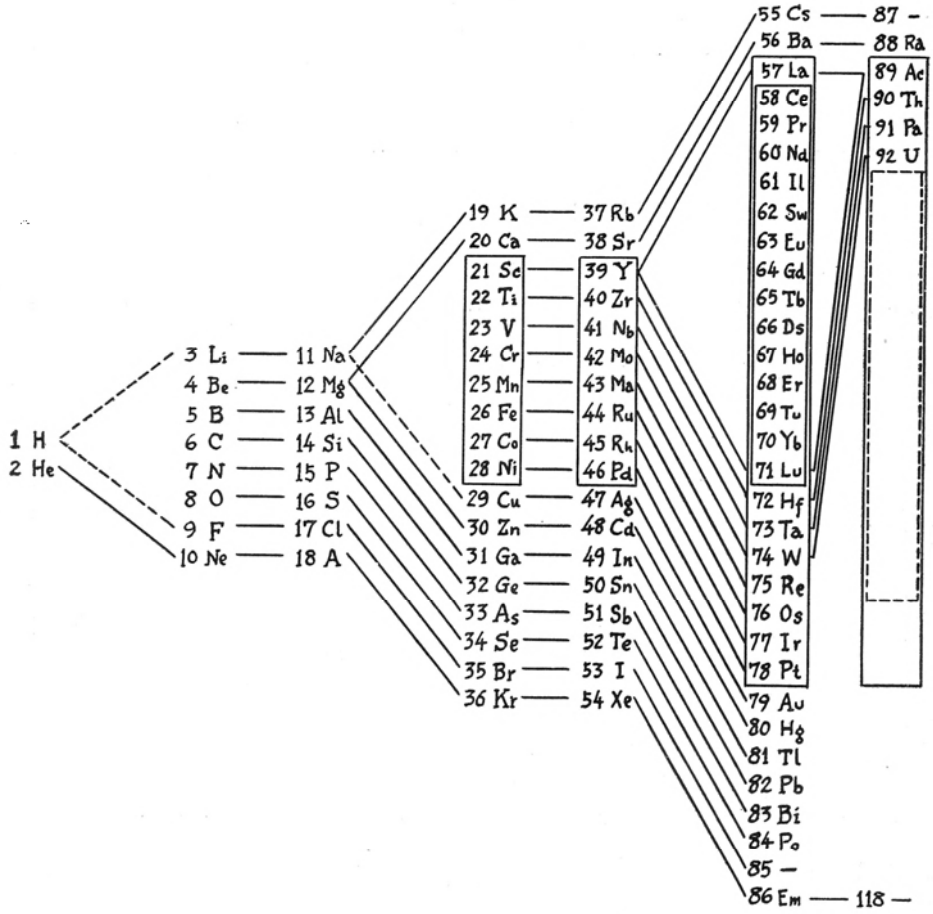


第 二 十 三 圖

第二表は Bohr が 1921 年理論的に組立てた元素の週期律を Julius Thomson が表示し

たものであります．各列は夫々所謂週期を表はすのでありまして，相類似する性質を有す

第　二　表



る元素は線で結んであります．此の表の齎らせた最も大きな功績は Hf の發見であります．其れは 72 の Hf は 40 の Zr に相似であることが判つて居ります．依つて其の鑛石の中より Hf は發見されたのでありました．

週期率に其の後色々の人が變改を加へまして今日一般に行はれてゐる原子内の電子配列が完成されたのでありまして此の理論的根底を爲したのは實に Pauli の principle であります．今此の原理に從ひ Ze なる電荷を有する裸の原子核が Z 個の電子を順次に捉へて行く行程を第三表に依つて御話申上ます．

第　三　表

		K	L		M			N				O			P			Q	Lowest State
		1*s*	2*s*	2*p*	3*s*	3*p*	3*d*	4*s*	4*p*	4*d*	4*f*	5*s*	5*p*	5*d*	6*s*	6*p*	6*d*	7*s*	
1	H	1																	$^2S^1/_2$
2	He	2																	$^1S_0$
3	Li	2	1																$^2S^1/_2$
4	Be	2	2																$^1S_0$
5	B	2	2	1															$^2P^1/_2$
6	C	2	2	2															$^3P_0$
7	N	2	2	3															$^4S^3/_2$
8	O	2	2	4															$^3P_2$
9	F	2	2	5															$^2P^3/_2$
10	Ne	2	2	6															$^1S_0$
11	Na	2	2	6	1														$^2S^1/_2$
12	Hg	2	2	6	2														$^1S_0$
13	Al	2	2	6	2	1													$^2P^1/_2$
14	Si	2	2	6	2	2													$^3P_0$
15	P	2	2	6	2	3													$^1S^3/_2$
16	S	2	2	6	2	4													$^3P_2$
17	Cl	2	2	6	2	5													$^2P^3/_2$
18	A	2	2	6	2	6													$^1S_0$
19	K	2	2	6	2	6		1											$^2S^1/_2$
20	Ca	2	2	6	2	6		2											$^1S_0$
21	Sc	2	2	6	2	6	1	2											$^2D^3/_2$
22	Ti	2	2	6	2	6	2	2											$^3F_2$
23	V	2	2	6	2	6	3	2											$^4F^3/_2$
24	Cr	2	2	6	2	6	5	1											$^7S_3$
25	Mn	2	2	6	2	6	5	2											$^6S^5/_2$
26	Fe	2	2	6	2	6	6	2											$^5D_4$
27	Co	2	2	6	2	6	7	2											$^4F^9/_2$
28	Ni	2	2	6	2	6	8	2											$^3F_4$
29	Cu	2	2	6	2	6	10	1											$^2S^1/_2$
30	Zn	2	2	6	2	6	10	2											$^3S_0$
31	Ga	2	2	6	2	6	10	2	1										$^2P^1/_2$
32	Ge	2	2	6	2	6	10	2	2										$^3P_0$
33	As	2	2	6	2	6	10	2	3										$^4S^3/_2$
34	Se	2	2	6	2	6	10	2	4										$^3P_2$
35	Br	2	2	6	2	6	10	2	5										$^2P^3/_2$
36	Kr	2	2	6	2	6	10	2	6										$^1S_0$
37	Rb	2	2	6	2	6	10	2	6			1							$^2S^1/_2$
38	Sr	2	2	6	2	6	10	2	6			2							$^1S_0$
39	Y	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2							$^2D^3/_2$
40	Zr	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2							$^3F_2$
41	Mb	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1							$^6D^1/_2$
42	Mo	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1							$^7S_3$
43	Ma	2	2	6	2	6	10	2	6	6		1							$^6D^9/_2$
44	Ru	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1							$^6F_5$
45	Rh	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1							$^4F^9/_2$
46	Rd	2	2	6	2	6	10	2	6	10									$^1S_0$
47	Ag	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1							$^2S^1/_2$
48	Cd	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2							$^1S_0$
49	In	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1						$^2P^1/_2$
50	Sn	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2						$^3P_0$
51	Sb	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3						$^4S^3/_2$
52	Te	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4						$^3P_2$
53	I	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5						$^2P^3/_2$
54	Xe	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6						$^1S_0$

55	Cs	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6		1			$^2S^1/_2$
56	Ba	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6		2			$^1S_0$
57	La	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1	2			$^2D^3/_2$
58	Ce	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1	2	6	1	2			$^3H_4$
59	Pr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6	1	2			$^4K^{11}/_2$
60	Nd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6	1	2			$^5L_6$
61	Il	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6	1	2			$^6L^9/_2$
62	Sa	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6	1	2			$^7K_4$
63	Eu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6	1	2			$^8H^3/_2$
64	Gd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1	2			$^9D_2$
65	Tb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	8	2	6	1	2			$^8H^{17}/_2$
66	Ds	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6	1	2			$^7K_{10}$
67	Ho	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6	1	2			$^6L^{19}/_2$
68	Er	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6	1	2			$^5L_{10}$
69	Tu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6	1	2			$^4K^{17}/_2$
70	Yb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6	1	2			$^3H_6$
71	Lu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1	2			$^2D^3/_2$
72	Hf	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2	2			$^3F_2$
73	Ta	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3	2			$^4F^3/_2$
74	W	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4	2			$^5D_0$
75	Re	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5	2			$^6S^5/_2$
		2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6	1			$^6D^9/_2$
76	Os	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6	2			$^5D_4$
		2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7	1			$^5F_5$
77	Ir	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7	2			$^4F^9/_2$
		2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	8	1			$^4F^9/_2$
78	Pt	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9	1			$^3D_3$
		2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10				$^1S_0$
79	Au	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	1			$^2S^1/_2$
80	Hg	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2			$^1S_0$
81	Tl	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	1		$^2P^1/_2$
82	Pb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2		$^3P_0$
83	Bi	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	3		$^4S^3/_2$
84	Po	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	4		$^3P_2$
85	—	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	5		$^2P^3/_2$
86	Rn	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6		$^1S_0$
87	—	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	1	$^2S^1/_2$
88	Ra	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	2	$^1S_0$
89	Ac	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	1 2	$^2D^3/_2$
90	Th	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	2 2	$^3F_2$
91	Pa	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	3 2	$^4F^3/_2$
92	U	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6	4 2	$^5D_0$

先づ Energy の最小な場合，卽ち $n=1$ では

$$1\mathrm{H} \quad n=1 \quad l=0 \quad m_l=0 \quad m_s=\frac{1}{2} \cdots\cdots (31)$$

$$2\mathrm{He} \quad n=1 \quad l=0 \quad m_l=0 \quad m_s=\frac{1}{2} \cdots\cdots (32)$$

の二つの電子が存在致します．此の $n=1$ なる State は之で終りで之を K State と申します．同様に $n=2$, …

第　四　表

n の値	1	2	3	4	5	6	7	…
State	K	L	M	N	O	P	Q	…

の狀態を夫々 L State, … と稱すること第四表に示す通りであります．同樣な考へ方で $l=0, 1, 2, 3, 4$ … の場合を $s, p, d, f, h, j,$ … で表はすと第五表の如くでありまして

第　五　表

l の値	0	1	2	3	4	5	…
State	s	p	d	f	h	j	…

$$n=1,\quad l=0 \cdots\cdots (33)$$

なる狀態を $1s$ と書きます．卽ち $n=1$ では $1s$ の State のみしかないのであります，次に $n=2$ では $l=0$ 及 $l=1$ の State がありますから此を同じ流儀で $2s, 2p$ と書きます．此の $2s$ の處へ 3Li と 4Be が入る譯であります．此で $2s$ は終りでありますから次は $2p$ State で先づ 5B が入つて參ります．以下同樣にして 10Ne にて $n=2$ を終るのであります．斯くして出來た原子は極めて安定な貴重瓦斯であります．

次の 11Na の第 11 番目の電子は $3s$ に這入つて行きますが此の電子の軌道は $n=2$ の State にある電子の軌道に侵入致しまして $n=3$ でありながら 3Li の $n=2$ と軌道と大差なく外側電子の作る電界が相似致しまして此の兩者は相類似した性質を示すのであります．此れが週期律に現はれた週期であります．斯樣にして次第に第三表の如く滿されて行きます．

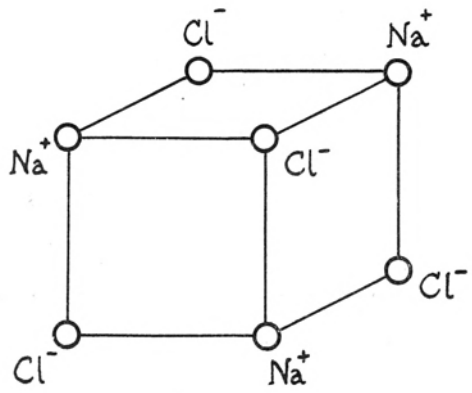
表中 21Sc から 28Ni 迄の 8 個の元素は第二表の第四列に於て四角の枠の中に入れたもので此の間では外側の電子の狀態は殆んど變らず內部の構造のみ發達致しますから其の性質は良く似て居りまして此を Fe 群の元素と稱します．39Y より 46Pd の間も同樣で Pd 群を作ります．第二表第六列の內側の枠で圍まれた 58Ce より 71Cp の間も同樣で此は稀土金屬類であります．72Hf より 78Pt も同樣で此は所謂 Pt 群を爲して居ります．第二表第七列の構成も矢張り枠で圍んだ群が存在して居りますが此れは恐らく Pt 群，稀土金屬群に夫々類似なものでありませうけれど 92U 以上は知られて居ないから此點は實證する事は出來ないのであります．原子の構造に就いては此で終りに致しまして次は分子

の構造に就いて申上ます.

10. 分子の構造

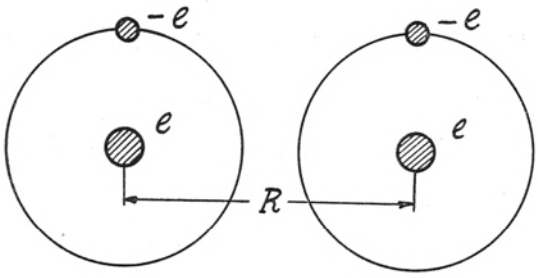
分子には其の構造上 Heteropolar と Homopolar の二通りがあります.

分子が二つ又は二つ以上の原子で構成されて居る時是を結合する力は何であるかと云ふ事は古くから問題にされて居たのでありましたが, 例へば NaCl の如きは Heteropolar でありますが, 其の分子は其れが固體であつても液體であつても Na^+ 及 Cl^- なる正負兩體が Coulomb force によつて結合し第二十四圖の如く構成されて居ると考へられて居るのであります.



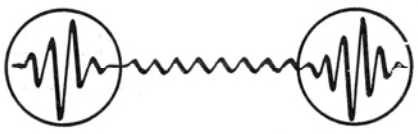
第 二 十 四 圖

此の理論に依りますと Homopolar 分子例へば H_2 の如く同性體で合成されたものに對しては全く說明がつかないのでありますが此れは量子論の方面より致しますと容易に說明し得るのであります.



第 二 十 五 圖

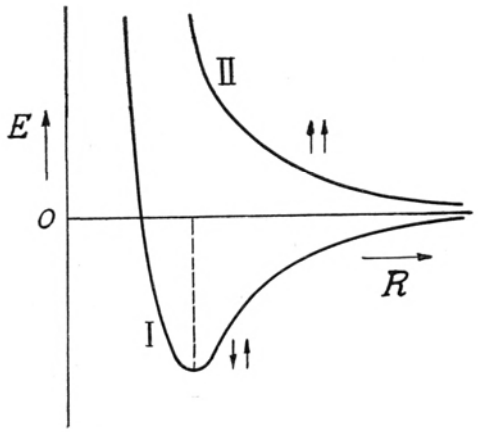
水素原子が二つ. 第二十五圖の如く近距離に置かれたと致しますと無線に於て二つの振動子を近距離に置いた時第二十六圖の如く共振現象を起し Energy が交互に變換されると同樣に, 二つの水素原子の電子が入れ換りまして再び元の狀態になるのでありますが此の入れ換へに要した Energy 此を Austauschenergy と申しますが此れを計算してみますと, 元素の種類に依つて第二十七圖の如く二通りあることが判ります. 但し横軸は原子間の距離であります.



第 二 十 六 圖

I は安定な分子を構成し得, II の方は不安定で分子を作り得ない場合であります. 此

は電子の固有磁率の關係に依るのでありまして，電子固有の軌道運動の軸の方向が Parallel であるか又は Anti parallel であるかに依つて夫々 II 又は I の狀態になるのであります．

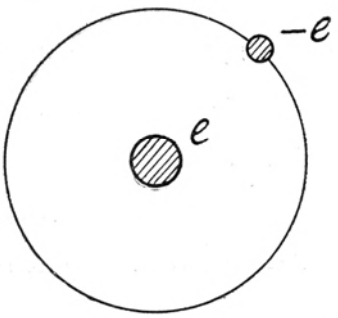


第 二 十 七 圖

此で H が H_2 なる分子を作る事が說明されたのであります．例へば He に就いて檢べてみますと II の形のものだけで結局 He は分子を作らないことになるのであります．又 MgO に就いて調べてみますと Mg も O も共に單獨では Parallel の電子が外側に二個あるのですが此の二つを近づけますと互に電子を取り換へまして二組の Anti parallel pair を作り所謂二價の分子を作るのであります．

11. 原子核及原子核の構造

原子外側の問題は以上で御判りになつた事と存じます．例へば水素原子に就きまして第二十八圖の如く一個の原子核一個の電子，唯此れだけの條件が與へられただけで色々と計算出來るのであります．例へば原子の構造とか其の Spectrum 等は此を機械的に知る事が出來るのであります．此は他の原子に就いても原理的には困難なく出來るのでありますが計算が非常に面倒になつて來まして實際は出來ぬ處もあります．とにかく原子外側の問題に就いては紙上で計算出來る樣になつたのでありますが原子核內部の問題はどうかと申しますと，やつと糸口を見附けたと云ふ程度で今後多くの實驗事實と理論を必要とするのであります．



第 二 十 八 圖

12. 原子量及同位元素

原子核の問題に入ります前に Atomic weight に就いて申上ます.

此の Atomic weight の問題は原子核構造の問題を解く重要な鍵なのであります.

第　六　表

Z	元　素	W	A
1	H	1.0078	1
2	He	4.00216	4
6	C	12.0036	12
12	Mg	24.30	24, 25, 26
17	Cl	35.46	35, 37
29	Cu	63.55	63, 65

第六表は二三の元素の Atomic weight の表でありますが之を見ますと例へば He, C 等の Atomic weight は大約水素原子の Atomic weight の整數倍であると云ふ事が考へられます. 其處で總ての原子の原子核は水素原子の原子核が出來て居るのではないかと云ふ事が想像されます. 此の基本になる水素の原子核を Proton (陽子)と名附けます. 此の水素原子の重さを 1 とすれば He, C 等の Atomic weight は夫々 4, 12 となります. 之を Mass number と稱する事は先に申上げた通りであります.

ところが例へば Mg, Cl, Cu 等の如く Atomic weight が整數に近くない元素もあります. 此は此等の元素は實は一色の原子でなく, 二つ又は二つ以上の原子があつて其の各が Atomic number Z は同じであるけれど Mass number A は違つて居て此等の原子, 此れを同位元素と申しますが或る割合で混合して居るのであると考へるのであります. 例へば Mg, Cl, Cu は夫々 A が (24, 25, 26), (35, 37), (63, 65), なる同位元素を持つのであると考へるのであります.

第七表は色々の元素の同位元素を示す表であります.

此の表で最も多くの同位元素を持つて居るものは 50Sn で 11 個であります. 同位元素を澤山持つて居る元素は偶數の Atomic number を持つ元素で, Atomic number が奇數のもので二つ以上同位元素を持つてゐるものはありません. 且つ此の二つの同位元素は其

の Mass number が必ず共に奇數で其の差は 2 であります.

第　七　表

	W	*A*
1 H	1.0078	1
2 He	4.002	4
3 Li	6.940	6, 7
4 Be	9.02	9
5 B	10.82	10, 11
6 C	12.00	12, (13)
7 N	14.008	14
8 O	16.000	16, (17), (18)
9 F	19.00	19
10 Ne	20.18	20, 21
11 Na	22.997	23
12 Mg	24.32	24, 25, 26
13 Al	26.97	27
14 Si	28.06	28, 29, 30
15 P	31.02	31
16 S	32.06	32, 33, 34
17 Cl	35.457	35, 37
18 A	39.94	36, 40
19 K	39.104	39, 41
20 Ca	40.07	40, 44
21 Sc	45.10	45
22 Ti	47.90	48
23 V	50.95	51
24 Cr	52.01	52
25 Mn	54.93	55
26 Fe	55.84	54, 56
27 Co	58.94	59
28 Ni	58.69	58, 60
29 Cu	63.57	63, 65
30 Zn	65.28	64, 65, 66, 67, 68, 69, 70
31 Ga	69.72	69, 71
32 Ge	72.60	70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77
33 As	74.96	75
34 Se	79.20	74, 76, 77, 78, 80, 82
35 Br	79.916	79, 81
36 Kr	82.9	78, 80, 82
37 Rb	85.45	83, 84, 86, 85, 87
38 Sr	87.63	86, 88
39 Y	88.93	
40 Zr	91.22	90, 92, 94
47 Ag	107.880	107, 109
48 Cd	112.41	110, 111, 112, 113 114, 116
49 In	114.8	115
50 Sn	118.7	112, 114, 115, 116 117, 118, 119, 120 121, 122, 124
51 Sb	121.76	121, 123
52 Te	127.5	126, 128, 130
53 I	126.93	127
54 Xe	130.2	124, 126, 128, 130 131, 132, 134, 136
55 Cs	132.81	133
56 Ba	137.36	138
57 La	138.90	139
58 Ce	140;13	140, 142
59 Pr	140.92	141
60 Nd	144.27	142, 144, 146
80 Hg	200.61	196, 198. 199, 200 201, 202, 204
82 Pb	207.21	206, 207, 208, 210 212, 214
83 Bi	209.00	209, 210, 212, 214
84 Po		210, 212, 214, 216 218
86 Em	222	220, 222
88 Ra	226.0	224, 226, 228
89 Ac		228
90 Th	232.1	228, 230, 234
91 Pa		234
92 U	238.2	234, 238

Atomic number と Atomic-weight は大體並行になつて居りますが必しもそうとばかり

第　八　表

Elements	Atomic number *Z*	Atomic weight *W*	Mass Number *A*
A	18	39.94	40, 36
K	19	39.10	39, 41
Co	27	58.95	59
Ni	28	58.69	58, 60
Te	52	127.5	128, 130, 126
I	53	126.93	127

は限りませんで中には並行しないものもあります．例へば第八表で見る如く Atomic number の多い元素が反つて Atomic weight が輕いのでありまして兩者が Independent の關係にあることを示して居ります．

此は同位元素の方から考へますと容易に說明が附くのでありまして例へば Co は $A=59$ でありますが此より一つ Atomic number の多い Ni は $A=58$ と $A=60$ の二色の同位元素を持ち此の混合が $A=58$ の方が多いため $W=58.69$ となり Co より Atomic weight が少いのであります．

13. 物質の窮極の單位

以上原子核は Atomic weight の方面から見て水素の原子核 Proton より出來て居ると云ふ事を申上げましたが斯くの如き窮極の單位にはどんなものがあるかと申しますと第九表に示す様なものがあります．

第　九　表

	陰電子	陽電子	陽子	(陰子)	中性子	ニリウト	アニリンウチト
電量	$-e$	$+e$	$+e$	$-e$	0	0	0
質量	m	m	M	M	M	0	0

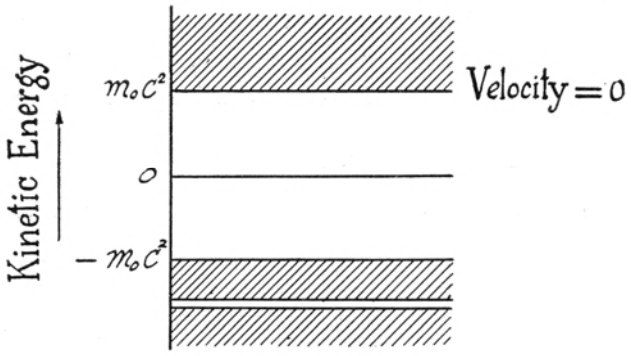
一番最初の陰電子は今迄に申上げました電子でありまして，最近宇宙線研究の際發見されました陽電子と區別して陰電子と云ふので，陽電子は質量が陰電子と同じく m で電荷が $+e$ の電子であります．之の二つが輕い方の單位で，重い方になりますと水素の原子核卽 Proton (陽子) があります．此に對して最近 Negative proton (陰子) と云ふものがあるだらうと想像されて居ります．此は Proton と同じ質量 M で電荷が陰電子と同様 $-e$ の粒子であります．此の外に 1932 年發見になる Neutron (中性子) と云ふものがあります．此は Proton と同じ質量 M で電荷の無い粒子であります．此の外に最近電荷の無い質量も殆んど無い Neutrino 及 Anti-neutrino と云ふものが考へられて居ります．此は後に述べる様に β- 線現象を說明する都合上考へられたものであります．此等のものの關係

に就いては追々に申上ます.

例へば陰電子と陽電子に就いて見ますと Dirac の說に依りますと電子の Kinetic energy は相對性より

$$\text{K. E.} = \frac{m_0 c^2}{\pm\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \cdots\cdots(34)$$

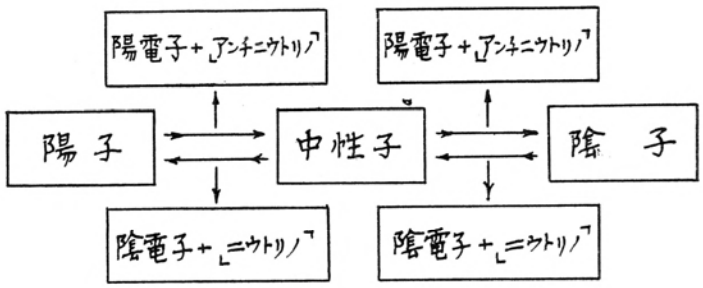
で此を圖示すると第二十九圖の如くなります. 古典的考へ方では速度零より下の空地の部分及び Negative の部分は全く想像も附かぬものでありまして從來此れは取捨てゝ了つたのであります. 處が量子論に依りますと Negative の部分が存在することはもとより Positive より Negative に Discontinuous に飛び移れるのであります. つまり量子論では吾々の空間を Negative energy を持つた電子で充滿されてゐると考へるのであります 此れは實は眞空なのでありまして斯くの如き充滿は吾々此れを觀測出來ないのであります. ですから此の滿された部分から第二十九圖の如く一個の電子を追出して孔を明け此の孔を觀測するのであります. 此の孔の作用を見るとどうしても正の電荷を持つた電子が必要になつて來るのであります. 此れが陽電子であります. 反對に Positive energy の狀態にあるものは此れを觀測し得るのでありまして此れが陰電子であります.



第二十九圖

Neutrino と Antineutrino の關係も此れと同樣であります. 卽ち Neutrino に依つて充たされた空間に於ける空孔が Antineutrino であります. 尤も此れは實驗に依つて確證された譯ではありません.

次に質量の重い單位の間の關係は第三十圖に示す通りで例へば Neutron が Proton に變換する時陰電子と Neutrino を放出するのであります. 此れは β 線放射でありまして Neutrino は Neutron の中に含まれて居た譯でなく, 創造されて放射されたのであります. β 線現象に就いては後に述べます.



第 三 十 圖

以上が物質の窮極の單位でありますが然らば此等が如何に組合はされて原子核を作つて居るかと申しますと，今此處に Atomic number が Z で Mass number が A な原子があると致しますと．其の原子核は電荷 Ze 質量 AM であります．其處で原子核を Z 個の Proton 及 $A-Z$ 個の Neutron から出來て居ると致しますと

$$\left.\begin{array}{lll} & \text{Proton} & \text{Neutron} \quad \text{Neucreus} \\ \text{電荷} = & e\times Z+ & 0\times(A-Z) = Ze \\ \text{質量} = & M\times Z+ & M\times(A-Z) = AM \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

と成りまして電荷，質量に關する限り滿足致します．其處で吾々は原子核は Z 個の Proton $A-Z$ 個の Neutron から出來てゐると考へるのであります．例へば Ni の場合は $Z=28$ $A=58$ 又は 60 でありますから 28 個の Proton 及 $58-28=30$ 個又は $60-28=32$ 個の Neutron から出來てゐると考へるのであります．酸素は $Z=8$, $A=16$ でありますから Proton が 8 個 Neutron が 8 個であります．故に原子核の重さは

$$\begin{array}{ll} & \text{Proton} \quad \text{Neutron} \\ 8\times 1.0081+8\times 1.009 \fallingdotseq & 16 \end{array} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

で正確に 16 とならないのは多分餘りの質量は光となつて逃げるのであらうと考へられて居ります．

14. 原子核の崩壞及放射線

此處で一寸物質の變換に就いて申上ます．物質の變換は從來色々と試みられましたが最近に至る迄成功しなかつたのであります　此れは如何なる譯かと申しますと原子を他の原子に變換するには，其の原子核を變換する事が必要で從來の方法では不可能だつたのであります．

從來は原子を變換させるには原子內の電子を追出せば良いと考へて居たのでありますが原子核を變換させぬ限り外側電子の狀態は自然に舊態に復し再び元の原子となつて仕舞ふのであります．斯くの如く原子核は極めて安定なものであります．

然らば原子核の變換に必要な Energy はどの位かと申しますと，前述の外側電子の配列を變へるに要する Energy が大體 1～10 電子ヴオルトであるに反し 10^5～10^6 電子ヴオルトの Energy が必要なのであります．

此處に電子ヴオルトとは Energy の單位で 1 ヴオルトの電位差で電子を加速する時の Energy で電子の電荷は -4.8×10^{-10} e. s. u. でありますから

$$1\text{電子ヴオルト}=4.8\times10^{-10}\times\frac{1}{300}\text{erg}=1.6\times10^{-12}\text{erg} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

從來原子變換に失敗したのは此れに使用した Energy の密度が小であつた爲目的が果されなかつたと言ふ事になります．處が不思儀なもので自然界には Ra の樣に他より Energy を與へられなくとも自分自身で放射線を出して自然に崩壞するものがあります．此れを放射性元素と申します．

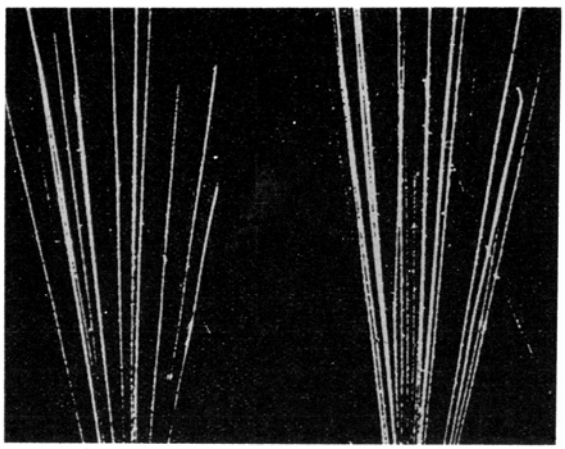
此の放射線は良く知られて居ります α 線，β 線及び γ 線であります．

α 線は He の原子核でありまして α 線を放出すると言ふ事は Atomic number に於て 2, Mass number に於て 4 の減少を意味するのであります．

β 線は電子でありまして，β 線を放出すると言ふ事は Atomic number で 1 の增加を意味するのであります．

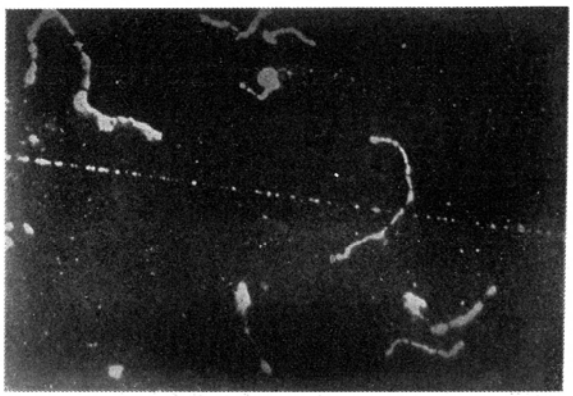
γ 線は波長が 10^{-11} 糎位の電磁波で元來變換に伴ふ副作用であります．

α 線 β 線及 γ 線を Wilson chamber に依つて撮影したのが第三十一圖，第三十二圖及び第三十三圖であります．

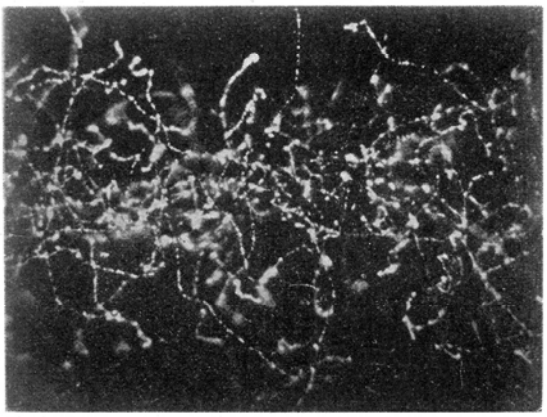


第 三 十 一 圖

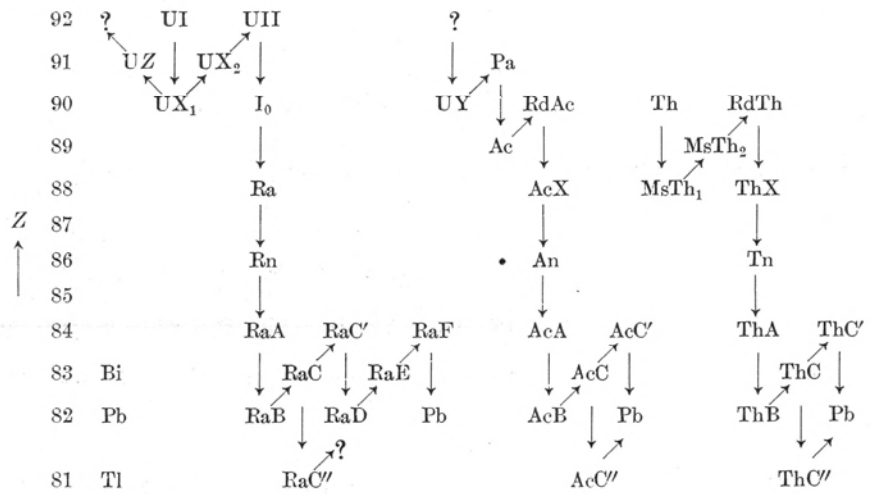
放射性元素には U 系，Ac 系，及 Th 系の 3 系統がありまして其の



第三十二圖



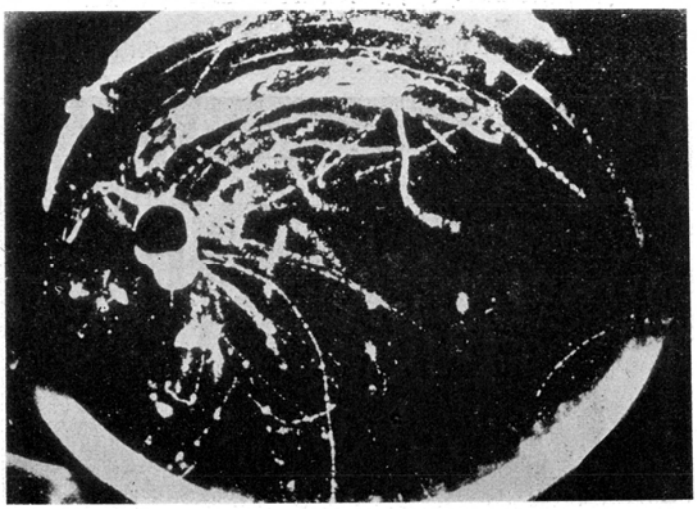
第三十三圖



第三十四圖

自然崩壊の有様は第三十四圖に示す通りであります．垂直線は α 崩壊で Atomic number で2，Mass number で4の減少を意味します．又斜に上る線は β 崩壊で Atomic number で1の增加を意味するのであります．

トリウムも亦放射性物質でありまして，此れは陽電子及陰電子を放射致します．第三十



第三十五圖

五圖が此れでありまして强い磁界を紙面に直角に作用させて置きますとトリウムより出る電子は磁界の爲に曲げられ此の曲り方よりトリウムは負正兩電子を放射する事が判つたのであります．

15. 原子核の破壞

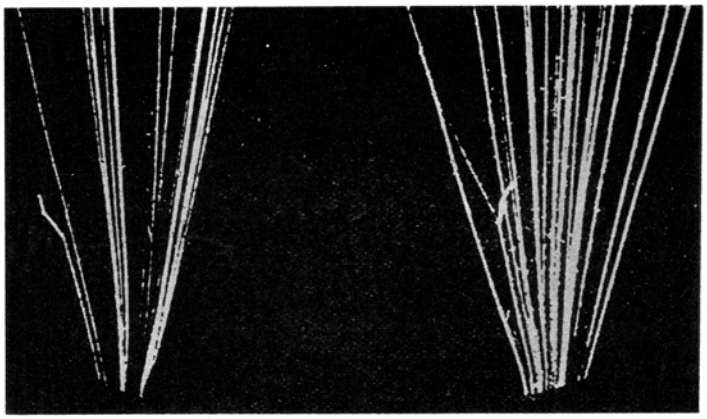
吾々は斯くの如き放射線を使用して人工的に原子を破壞することが出來るのであります．一例として Rutherford の實驗を採りますと，此れは α 線卽ち He の原子核を輕く元素の原子核に衝突させて Proton 卽ち水素の原子核を飛出させるのでありまして，如何なる方法によるも夫以上に分ける事が出來るもの卽ち原子と言ふ定義は玆に根底から覆されて了つたのであります．又原子核の窮極單位が Proton であることも同時に立證された譯であります．

例へば α 線を B, Ne, Al, Mg に作用させますと式 (38) に示す核反應を起し夫々 C, O, Si, Al が出來るのであります．

$$\left.\begin{aligned} {}_5B^{10}+{}_2He^4 &\rightarrow {}_6C^{13}+{}_1H^1 \\ {}_7N^{14}+{}_2He^4 &\rightarrow {}_8O^{17}+{}_1H^1 \\ {}_{13}Al^{27}+{}_2He^4 &\rightarrow {}_{14}Si^{30}+{}_1H^1 \\ {}_{12}Mg^{24}+{}_2He^4 &\rightarrow {}_{13}Al^{27}+{}_1H^1 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(38)$$

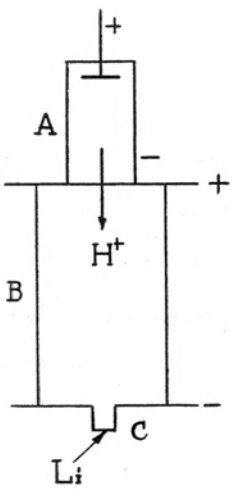
化學記號の添字は上が Mass number 下が Atomic number であります.

第三十六圖は式(38)の窒素に α 線を作用させた時 O と H の出來る有樣を示すもので



第 三 十 六 圖

一齊に放射された α 線が N に衝突して O と H を作り此れが二分して居る處を示して居ります. O 線と H 線の間の角及其の跡の長さ等より式(38)が滿足されて居る事が判るのであります.



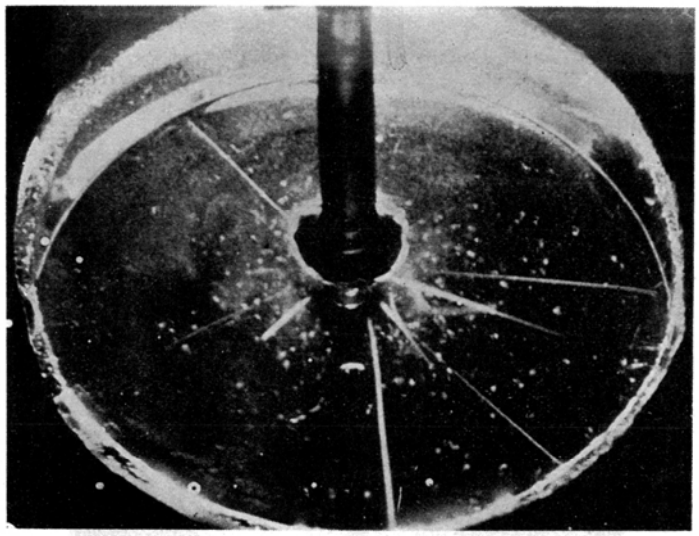
第三十七圖

此の方法は α 線の源である Ra の使用量が限られたものである爲此れに依つて變換出來る量は極めて僅であります. 其處で此れに變るべきものが發見されたのであります. 此れは水素又は重水素の原子核で此れを高電壓を以て加速し He 同樣の Energy を與へ樣と言ふのであります. 處が此れに必要な加速電壓は 100 萬ヴオルト程度で此れとても非常に困難な事であります. 處が 1932 年 Cockroft 及 Walton が必しも斯くの如き高電壓を必要としないと云ふ事を明にしたのであります. 以下此れを說明致します. 第三十七圖が其の裝置でありまして A なる放電管で作られた水素の陽極線が B なる加速管に入り此處に加へられた數十萬ヴオ

ルトの加速電壓に依つて加速されまして管の底にある Li に衝突して式(39)にある核反應に依り He を作るものであります.

$$_3L.^7 + _1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 \quad \cdots\cdots(39)$$

斯くして出來た He は 8.6×10^6 電子ヴオルトの Energy で第三十八圖に示す如く互に略反對の方向に飛出して居ります.



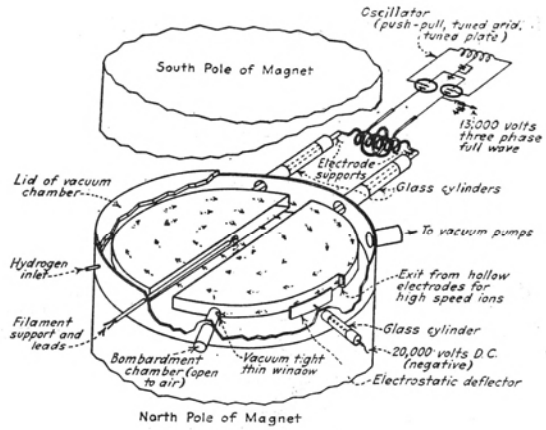
第三十八圖

斯くの如き大きな Energy が如何にして出來るのかと申しますと Li, H 及 He の重さを夫々 M_{Li}, M_H, 及 M_{He} で表はしますと

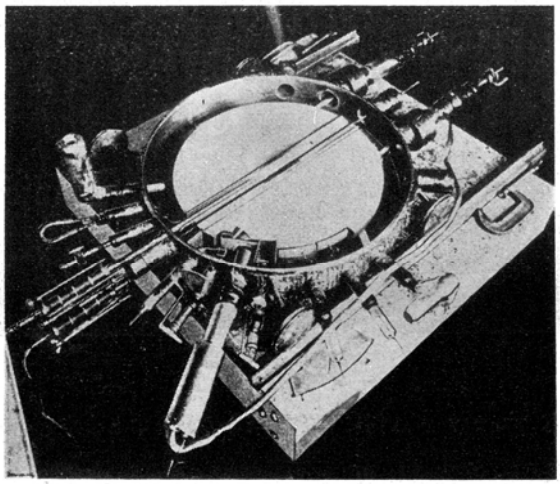
$$M_{Li} + M_H - 2M_{He} = \Delta M > 0 \quad \cdots\cdots(4)$$

で此の質量 ΔM が相對性の示す處に依りまして ΔMc^2erg なる Kinetic energy となつて消失する爲で Energy 不滅の法則を滿足するものでありまして出來た He の方向が 180° の角を爲すのは運動量不滅の法則を滿足するものであります.

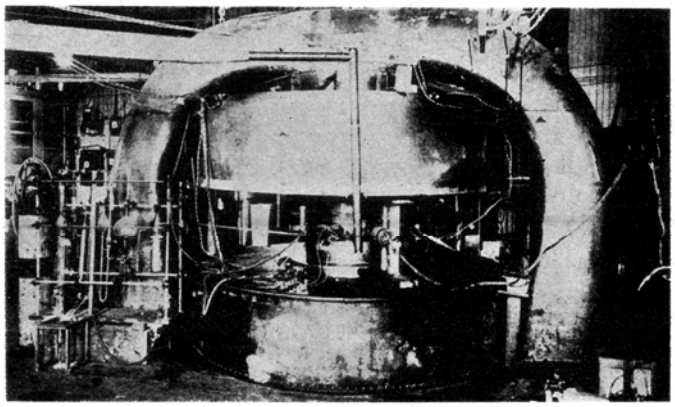
Lawrence は特殊の方法で 100 萬ヴオルトの加速電壓で加速したと同程度の大きな Energy を作る事に成功したのであります. 第三十九圖は此の裝置の原理を示すもので高周波電源に接續された二個の半圓形金屬室內で $_1H^1$ を加速するのでありまして. 此に直角に强力な磁界を作用させておきます. 今中央の纖條より電子が飛出しますと磁界に依つて曲げられ室內を廻轉する譯でありますが高周波電源の周波數及位相を適當にしておきます



第三十九圖



第四十圖



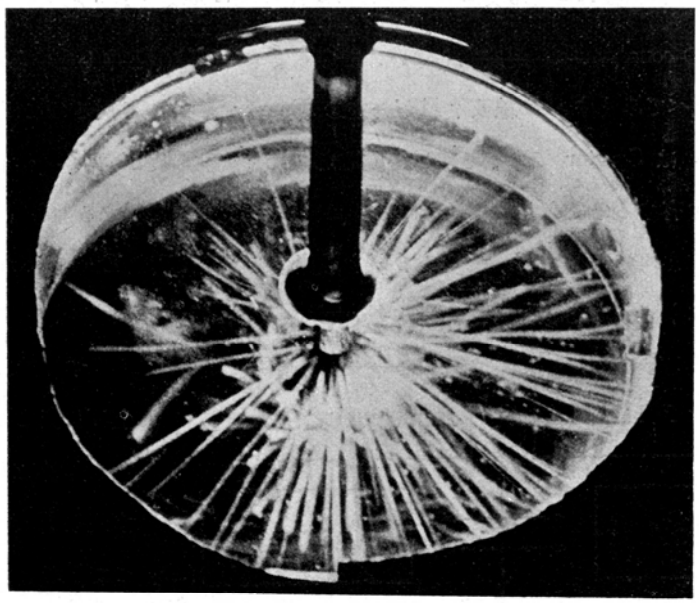
第四十一圖

と間隙を通過する度に加速電壓が加へられ次第に廻轉半徑を增大して行きます．斯くして室內に充滿されて居る水素に衝突して Proton を作り此に大なる Energy を與へ最後に飛出す時は 600 萬ヴオルトで加速されたと同程度の Energy を得ることになります．第四十圖は此の裝置第四十一圖は此を磁界に入れた處を示します．Lawrence は斯くして數瓦の Ra が作ると同程度の α 線を作り得たのであります．

Heavy hydrogen の原子核 ${}_1D^2$ も亦極めて有力なものでありまして，${}_1D^2$ に ${}_1D^2$ を打つけますと式 (41) の様な核反應用呈します．

$$\left.\begin{aligned} {}_1D^2+{}_1D^2 &\rightarrow {}_1H^3+{}_1H^1 \\ {}_1D^2+{}_1D^2 &\rightarrow {}_2He^3+{}_0n^1 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (41)$$

一つは更に重い水素，他は Neutron ${}_0n^1$ と $A=3$ なる He になります．此の加速電壓は 2 萬ヴオルト位で Neutron の源として極めて便利なものであります．第四十二圖は式 (41) の核反應で出來た ${}_1H^1$ を Wilson chamber で撮影したものであります．



第 四 十 二 圖

Neutron も亦原子變換に使用されるのでありまして其の利點とする處は電荷が無い爲に原子外側の電子に依る Coulnmb force が無い爲 Energy が非常に少くて濟むと云ふ點で例へば Li に打つけますと式 (42) に示す核反應を呈します．

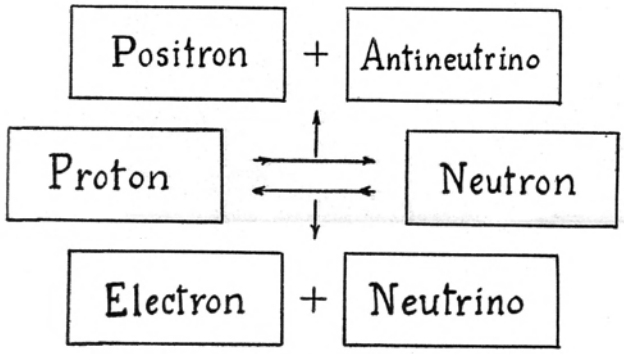
$$_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1H^3 \quad \cdots\cdots(42)$$

原子變換に使はれるものに α 線卽ち He の原子核 $_2He^4$, $_1H^1$ Proton 卽ち水素の原子核, 重水素の原子核 $_1D^2$ 及中性子 $_0n^1$ の外に γ 線を使用する事もあります. 例へば $_1D^2$ 及 $_4Be^9$ に作用させますと式(43)に示す核反應を呈します.

$$\left.\begin{aligned} {}_1D^2 + \gamma &\rightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1 \\ {}_4Be^9 + \gamma &\rightarrow 2\,{}_2He^4 + {}_0n^1 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(43)$$

此は γ 線の光電効果に依つて出來た電子の二次作用に依るのであります. 斯くの如く物質は變換出來得るものでありますけれど此を多量に行ふ爲には何か新しい原理が發見されぬ限り殆んど不可能なのであります.

此處で β 線放射に就いて申上ます. 此は Atomic number Z なる放射性元素が陰電子を放射して $Z+1$ なる元素に變換する現象であります. 此は原子核中の $A-Z$ 個の Newton の一つが陰電子を放出して Proton になり Proton は合計 $Z+1$ 個となり Atomic number $Z+1$ なる元素に變換すると考へれば一應說明された樣に考へられるのでありますが此では Energy の conservation が成立しないのであります. 何故かと申しますと此の β 線の Energy を調べてみますと α 線及 γ 線が一定の Energy を持つて居るのに反しまして β 線の Energy は Spector でも判る樣に不定なのであります. 處が元素 Z も元素 $Z+1$ も一定の質量を有するのでありますから此の System は β 線を放射する前も後も一定の Energy でありますから不定 Energy の β 線を放出すると云ふ事は Energy conservation に反する事になります. 此の說明策として Neutrino 及 Antineutrino が考へられたのであります. 此は前に御話申上げた樣に電荷も無く質量も非常に小さいものですが唯 Energy だけを持つて居るもので, 第四十三圖の樣に Neutron が Proton になるとき陰電子及 Neutrino を放射すると考へるのでありまして其の Energy の合計は一定であるに拘はらず其の配分が異なる



第四十三圖

爲に吾々は陰電子の Energy だけを測定して β 線の Energy は不定であると思つたと說明するのであります.

斯様にして Energy conservation は說明し得たのでありますが, どうも直接觀察出來ないものを實在すると考へるのは不都合の様に思はれるのであります.

最近 Energy とか Momentum の conservation は成立しないのでは無いかと考へられる様になつて來ました. 此の理由は例へば Compton 効果に於て $h\nu$ なる Energy の光が入射して $h\nu'$ なる反射光線と mv なる運動量の電子が同時に放出されなければなりませんのに實際調べて見ますとどうも同時に出て來ない様なのであります.

Conservation が成立しないのか或は又實驗が不正確であつたのか此は全く將來の研究に俟たなければなりません.

16. 人工放射能

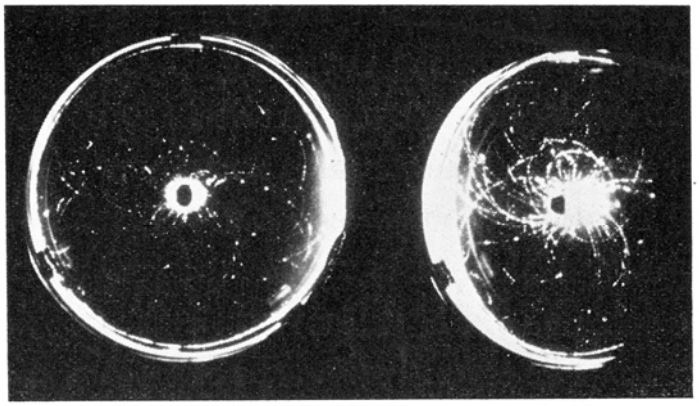
以上御話申上げました原子核反應に依つて變換されましたものは殆んど凡て安定な元素でありますが場合に依つては此の新しく出來た原子核が不安定であつて Ra の如く放射性を有するものがあります. 此れを人工放射能と申しまして佛國の Curie-Toliot の發見であります. 式(44)は此の核反應であります.

$$\left.\begin{array}{lll} {}_{1}B^{10}+{}_{2}He^{4}\rightarrow {}_{7}N^{13}+{}_{0}n^{1} & {}_{7}N^{13}\rightarrow {}_{6}C^{13}+\varepsilon^{+} & T=11\text{分} \\ {}_{13}Al^{27}+{}_{2}He^{4}\rightarrow {}_{15}P^{30}+{}_{0}n^{1} & {}_{15}P^{30}\rightarrow {}_{14}Si^{30}+\varepsilon^{+} & 3.2\text{分} \\ {}_{12}Mg^{24}+{}_{2}He^{4}\rightarrow {}_{14}Si^{27}+{}_{0}n^{1} & {}_{14}Si^{27}\rightarrow {}_{13}Al^{27}+\varepsilon^{+} & 2.5\text{分} \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots(44)$$

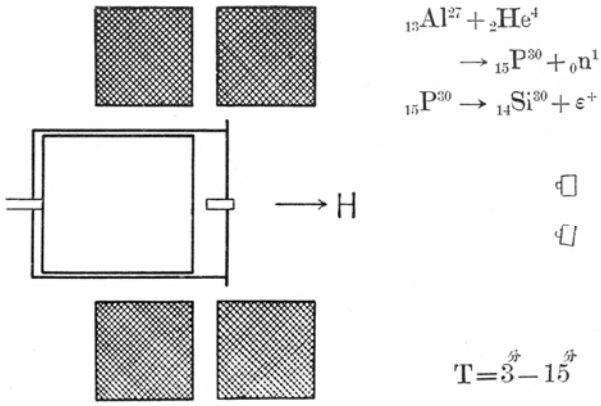
第一項の核反應は硼素に α 線を當てますと原子量13の窒素と中性子になります. 此の窒素が放射能を持つて居りまして陽電子の β 線を放射して原子量13の炭素となるのであります. 此を放射能窒素と申しまして其の放射能は强さが半分になる迄の時間を半減期と云ひまして11分であります.

第二項の核反應は Al を He でたたいた時で第四十四圖は此の反應に依つて出來た放射能燐 ${}_{15}P^{30}$ より出る陽電子を Wilson chamber を使用して撮影したものであります. 第四十五圖は此の實驗裝置であります.

其の後 α 線だけでは無く, 陽子, 重水素性, 中性子に依つても色々の物質に人工放射能を與へることが出來る事が判りました. 例へば陽子に依るものは



第四十四圖



第四十五圖

$$\left.\begin{array}{ll} {}_{5}B^{10}+{}_{1}H^{1}\rightarrow {}_{6}C^{11}\rightarrow {}_{5}B^{11}+\varepsilon^{+} & T=20^{分} \\ {}_{6}C^{12}+{}_{1}H^{1}\rightarrow {}_{7}N^{13}\rightarrow {}_{6}C^{13}+\varepsilon^{+} & 11^{分} \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(45)$$

又 Heavy hydrogen に依るものは

$$\left.\begin{array}{lll} {}_{5}B^{10}+{}_{1}D^{2}\rightarrow {}_{6}C^{11}+{}_{0}n^{1} & {}_{6}C^{11}\rightarrow {}_{5}B^{11}+\varepsilon^{+} & T=20^{分} \\ {}_{11}Na^{3}+{}_{1}D^{2}\rightarrow {}_{11}N^{24}+{}_{1}H^{1} & {}_{11}Na^{24}\rightarrow {}_{12}Mg^{24}+\varepsilon^{-} & 15^{時間} \end{array}\right\} \cdots\cdots(46)$$

式(46)の第二項の核反應で出來た $_{11}Na^{24}$ は同時に γ 線を放射し其の Energy は 500 萬電子ヴオルトで人體に對する透過力は Ra の最も硬い γ 線の 2 倍以上であると云はれて居ります．現に America では斯様な放射性 Na を大々的に製造して居ります．

又 Lawrence の實驗室では此の重水素核を用ゐて Cu や Pt に放射能を與へることに成

功したと云はれて居ります.

人工放射能を作る最も有力な武器は何と云つても中性子で, Fermi 一派の人々の發見であります. 中性子は前にも御話しました様に電荷がありません爲に原子核に飛込み易い爲, 原子番號の高低を問はず大部分の元素に放射能を與へる事が出來るのであります. 殊に速度の小なる中性子は此の作用が著しいのは注目すべきであります. 此の際中性子は原子核に捕へられて中に入り込み原子量の 1 だけ高い同位元素を作るものであります.

$$\left.\begin{array}{lll} {}_{13}Al^{27}+{}_{0}n^{1}\rightarrow {}_{11}Na^{24}+{}_{2}He^{4} & {}_{11}Na^{24}\rightarrow {}_{12}Mg^{24}+\varepsilon^{-} & T=15^{時} \\ {}_{16}S^{32}+{}_{0}n^{1}\rightarrow {}_{15}P^{32}+{}_{1}H^{1} & {}_{15}P^{32}\rightarrow {}_{16}S^{32}+\varepsilon^{-} & 13^{日} \\ {}_{26}Fe^{56}+{}_{0}n^{1}\rightarrow {}_{25}Mn^{56}+{}_{1}H^{1} & {}_{25}Mn^{56}\rightarrow {}_{26}Fe^{56}+\varepsilon^{-} & 2.3^{時} \end{array}\right\}\quad\cdots\cdots(47)$$

$$\left.\begin{array}{ll} {}_{29}Cu^{65}+{}_{0}n^{1}\rightarrow {}_{29}Cu^{66}\rightarrow {}_{30}Zn^{66}+\varepsilon^{-} & T=6^{分}\sim 6^{時} \\ {}_{47}Ag^{109}+{}_{0}n^{1}\rightarrow {}_{47}Ag^{110}\rightarrow {}_{48}Cd^{110}+\varepsilon^{-} & 20^{秒}\sim 20^{分} \end{array}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(48)$$

中性子に依る放射能は式(47)及式(48)に見る如く陰電子卽 β 線であります. 中には又副作用として γ 線を放射するものもあります. 例へば Na に中性子をぶつけますと式(49)の如き核反應を呈し

$$ {}_{11}Na^{23}+{}_{0}n^{1}\rightarrow {}_{11}Na^{24}\rightarrow {}_{12}Mg^{24}+\varepsilon^{-}+\gamma \qquad T=20^{時} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(49)$$

放射能 Na が出來, 此が β 線と同時に γ 線を放射するので半減期が 20 時であります. 此は Ra より遙に大きい透過力を持つて居ります.

此の放射能と生物の生理作用と如何なる關係があるかと云ふ事は近頃大分研究されて居りまして, 例へば燐が如何に生物の中を廻るかと云ふ事を調べるに此の放射能燐を使用致しますと此は 20 日間以上 γ 線を出しますから例へば鼠に喰べさせるなり植物に滲透させて其の循環狀態を調べるのであります.

人工放射能は此後の研究に依つてもつと壽命の長いものが發見されるでありませう. 現に Hf は半減期が 2～3 ヶ月であらうと想像されて居ります. 今日の處約 50～60 個の原子に放射能を與へることが出來る様になつたのであります. 將來色々の實用的放射能物質が作られるであらうと思はれます. 同時に原子核の理論は增々困難になり色々と變遷するであらうと考へられます. 此で原子核の話を終りまして此度は宇宙線に移ります.

17. 宇宙線の發見

此から申上ます宇宙線は今迄申上ました事と全然關係の無いことであります．宇宙線の有する Energy は非常に大きいものでありまして原子の處で 10^6～10^7 電子ヴオルトの Energy を扱ひましたのに反しまして 10^{10}～10^{11} 電子ヴオルト程度の Energy であります．Energy の點から見ますと丁度原子核と原子の關係が原子と宇宙線の比に相當する，斯樣な點が關係があると云へば云へるのでありますが將來何か重要な關係が發見されるかも知れません．

宇宙線は 1910～1921 年頃發見されたのであります．發見の動機と申しますのは次の通りであります．吾々の地球は色々の放射性物質を含んで居ります，例へば天井とか壁とか又空氣の中にも斯樣な物質がありまして盛に放射線を出して居るのであります．此はどうして判るのかと申しますと例へば Geiger-Müller tube 等に依つても知ることが出來るのであります卽ち放射線が Geiger-Müller tube を通過するたびに電話にボツボツと音をたてゝ，一分間に幾つ通つたと云ふ事を數へることが出來るのであります．

放射線の內で Penetrating power の大きいのは γ 線でありますから，吾々は最初 Geiger-Müller tube を働かさせる放射線は地球に含まれて居る γ-線であろふと考へたのであります．扨て γ 線と假定しますと，此は空氣に吸收されますから少くとも地上 1 粁位で吸收され盡し其れより高所へ行けば最早 γ 線は到達しないであろうと云ふ事が計算上判りますから例へば飛行船の樣なもので調べてみれば宜しいのであります．

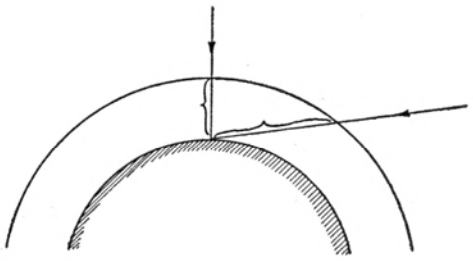
其處で 1910 年 Sockel と Hess が輕氣球で調べてみました處成る程初めは上昇につれて減少して行きましたが地上 4 粁から 5 粁と上昇致しますと反つて增加する事が判つたのであります．此處に於て吾々は何物とも知れぬ放射線が地球外より遣つて來るに違ひ無いと考へたのであります．此れが宇宙線發見の次第であります．

大氣層は水 10 米程に相當しますから 5 粁，6 粁の高さは水に直すと 5 米，6 米に當ります．γ 線 X 線にしましても 0.5 米か 0.6 米高々 1 米位で吸收し盡されて仕舞ふものでありますから宇宙線の Penetrating power は實に大きなものであります．

18. 宇宙線の源

宇宙線に就きましては今日色々と研究されて居りますが獨乙の Kolhörster の研究に依りますと，宇宙線は新星より來ると云ふのであります．新星は Nernst の假定に依りますと Energy が凝結して物質になつて出來たもので，此の新星は放射性物質を澤山持つて居るから此れより出る宇宙線は Penetrating power が大きいと云つて居ります．

彼は其れ故に其の新星が頭上に來る時は第四十六圖に示す如く，宇宙線が大氣を通る路が短くなるから宇宙線の强さが增大すると云ふ見込みで瑞西のユングフラウ山に登り氷河の間隙が立體角が小さいので此處に入つて測定を行ひ其の結果アンドロメダ，銀河，ヘルクレス等の群星が頭上に來る時實際に宇宙線の强さは增大すると發表したのであります．處が後に色々の人が測つた結果此の說は嘘で今日では宇宙線は時と共に變らぬと認められて居るのであります．



第四十六圖

處が最近，矢張少しの違ひがあると云ふ人があります．少しでも違ふと致しますと吾々は宇宙線が何處から出て來たかと云ふ事を知る事が出來るのであります．此れを說明致しますと或る點に於ける宇宙線の强さは何れの方向を向いて測定しても其の强度は同一でありますから例へば宇宙線が銀河系より來て居ると假定致しますと銀河系に對して地球は廻轉して居る譯でありますから Doppler effect を生じ地球上の或る地點と其の反對の地點では宇宙線の强さが違つて參ります．銀河系に對する地球の運動は天文學上計算出來ますから此の測定より宇宙線が銀河系より來るか否かを知る事が出來るのであります．

宇宙線の出所として吾々が先づ氣の附くのは太陽であります．此は夜と晝とでどの位違ふかと云ふ事を調べれば宜しいので此の測定の結果宇宙線の約 $^{1}/_{1000}$ 乃至 $^{5}/_{1000}$ は太陽から來るかもしれないと云ふ事が判明致しました．

19. 宇宙線の本質

次に宇宙線の本質に就いて申上ます．宇宙線の大部分は大氣中に吸收され地上にやつて來るのは高々 $^{1}/_{100}$～$^{2}/_{100}$ でありまして地下へ參りますと更に其の $^{1}/_{100}$ とか $^{1}/_{1000}$ になるのですが Kolhörster が Stassfurt の岩鹽坑に入つて測りました處地下 200 米～300 米の深所に於て尙宇宙線の存在する事を知つたのであります．宇宙線の透過力は斯樣に大きいのでありますから其の大部分に帶電粒子であつて其の Energy は 10^{11} 電子ヴオルト以上でなければならぬ事になります．宇宙線の存在を知る方法に現在下記の三つがあります．

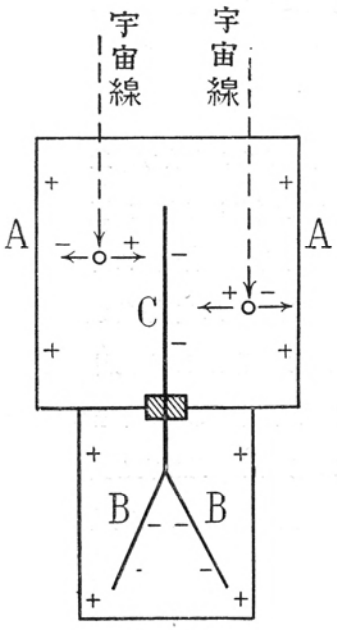
① Ionization chamber

② Geiger-Müller tube

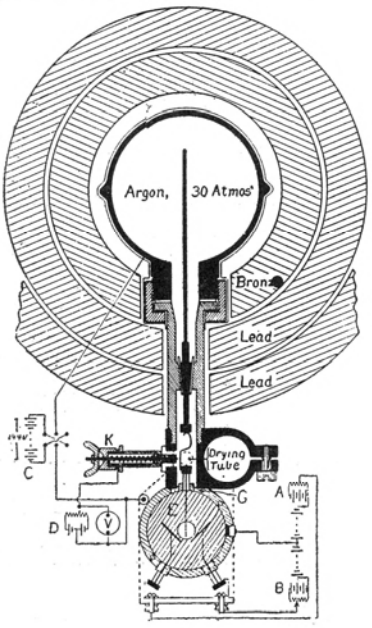
③ Wilson cloud-chamber

以下此等の測定器を說明しながら宇宙線の性質を御話して行きます．

第四十七圖は Ionization chamber の原理圖で室內には 30～50 氣壓のアルゴン瓦斯が封じ込まれて居りまして宇宙線が室內に飛込むで來ますと圖の如く電離作用を起し檢電器



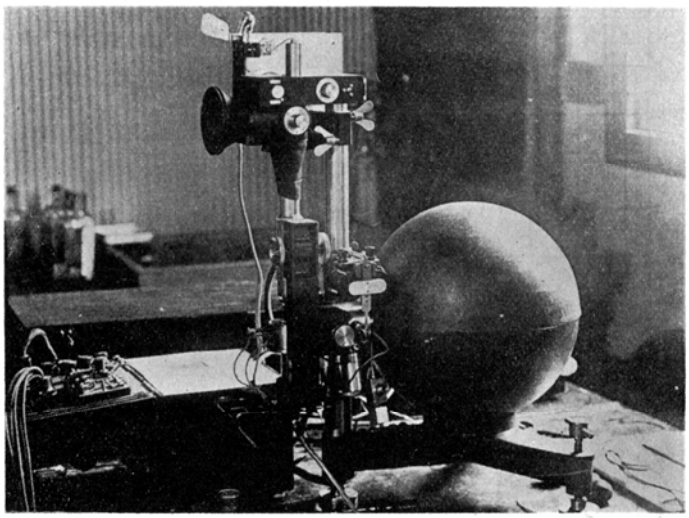
第四十七圖



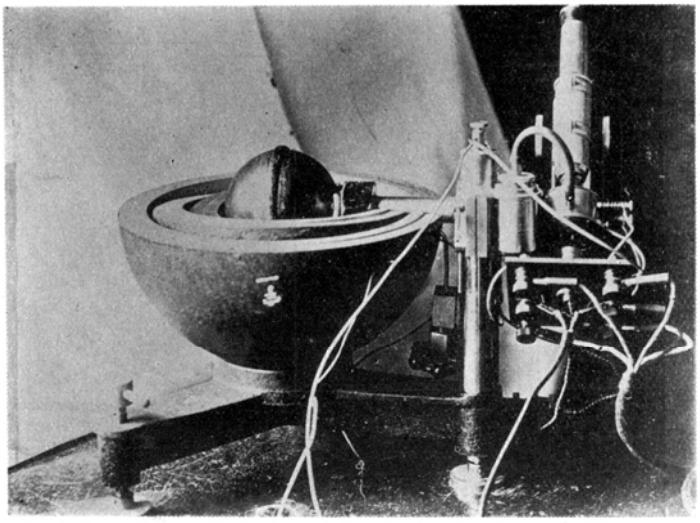
第四十八圖

等で其の電離度を測定するのであります．第四十八圖は米國の Compton が作りましたもので內側の球殻は厚さ 10 糎の 靑銅であります．其を更に同じ厚さの鉛で二度包むであります．此は宇宙線の外の 放射線を 遮斷する爲であります．室內には 30 氣壓のアルゴン瓦斯を封じ込み電極には 140 ヴオルトの電位を 與へて 置き電離度は Electrometer で測定するのであります．

第四十九圖は此の裝置全體の寫眞，第五十圖は外殻を取り去つた處であります．

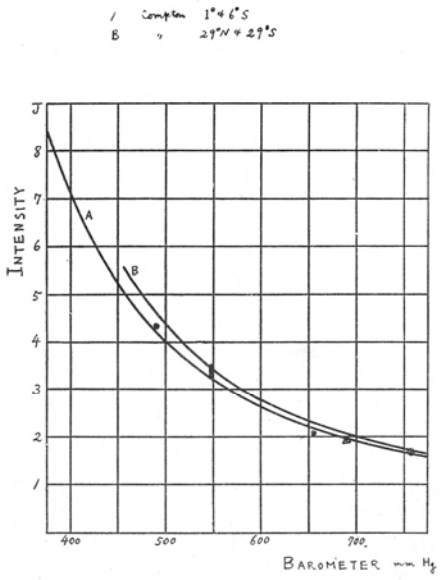


第 四 十 九 圖

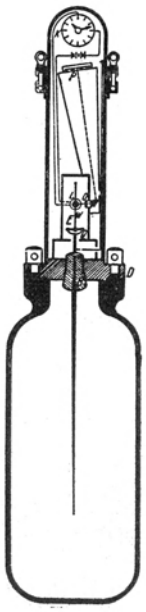


第 五 十 圖

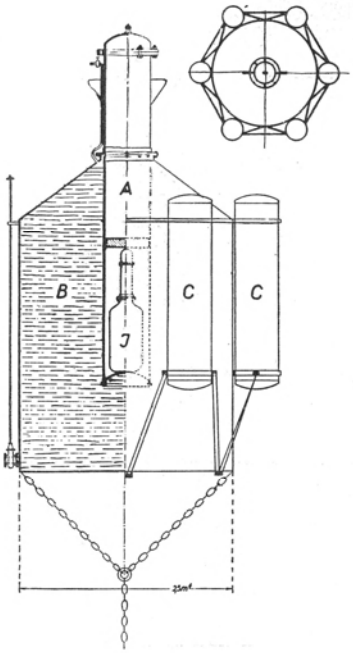
第五十一圖は Compton が此の裝置を使つて測定した結果で高所へ行く程强くなつて居



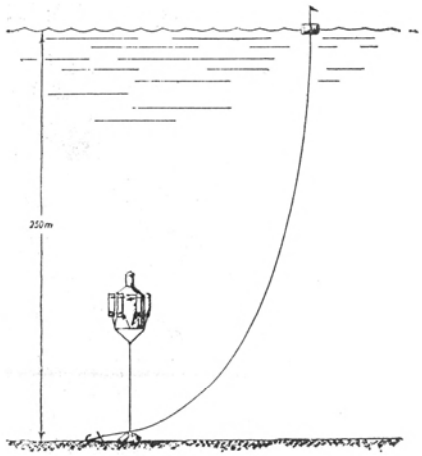
第 五 十 一 圖



第五十二圖



第 五 十 三 圖



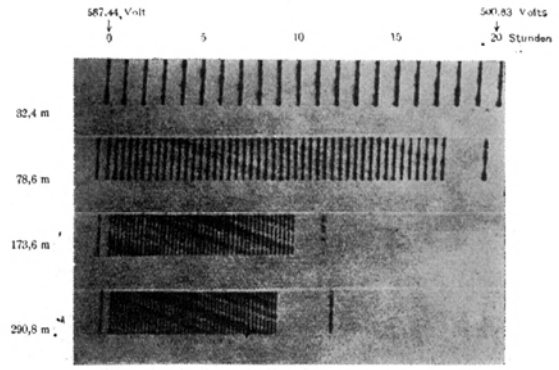
第 五 十 四 圖

ります A, B 二通りの測定結果を得たのは緯度に依る地球磁界の相違から來るのであります.

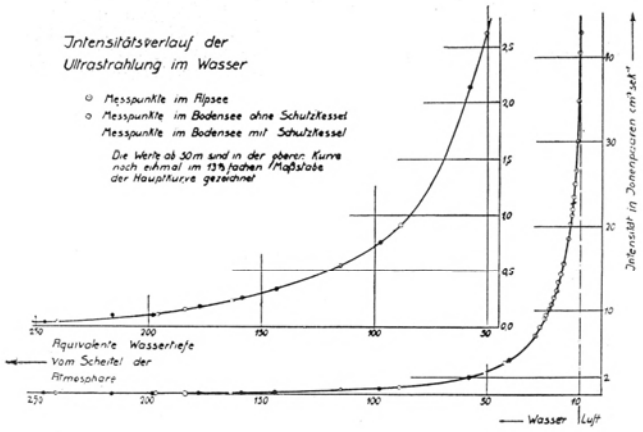
吾々も此と同じ装置を作りまして富士山に登つて測定致しました, 其の結果は良く Compton の測定と一致して居ります. 第五十一圖で點で示してあるのが夫で, 左より富士山頂, 同五合目, 太郎坊, 箱根及東京に於ける測定結果であります.

第五十二圖は Regener がボーデンゼー湖に於て測定した時の Ionization chamber で自働的に記錄出來る様に出來て居ります. 此の自働電離記錄器を第五十三圖の如き水槽に入れ, 第五十四圖の如くボーデンゼー湖の湖底に沈めて測定したのであります. 水槽には湖水表面の水を入れ湖水中に含まれる放射性物質の影響を除かんとするのであります.

第五十五圖は自働電離記錄器の畫いた寫眞で各深度に對する電離度が表はれて居りま

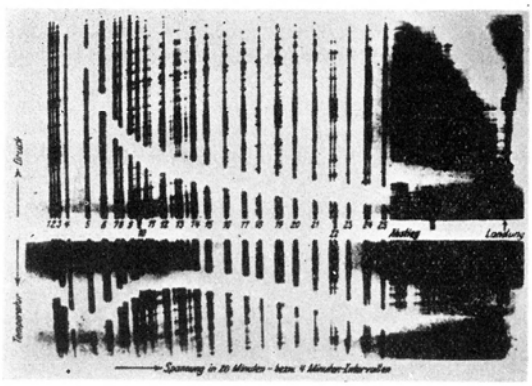


第 五 十 五 圖

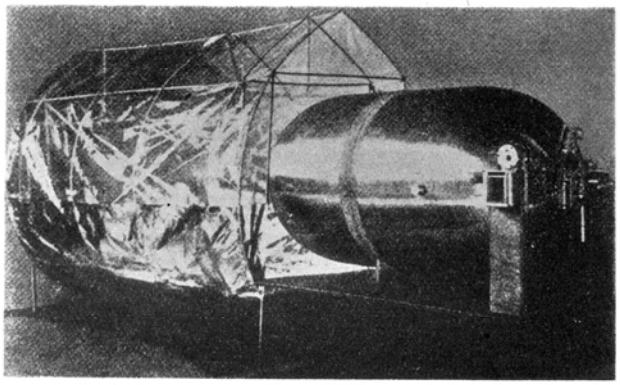


第 五 十 六 圖

す．此の記錄を綜合しましたのが第五十六圖であります．右方の曲線は縱軸を大きくしたもので此で見る樣に水深 250 米に及んでも尙宇宙線がやつて來て居ることが判るのであります．Regener は尙成層圈に於ける宇宙線强度の測定も行ひました．此れも自働電離測定裝置を用ひましたもので第五十七圖が此の記錄であります．此の記錄は電離度の外に外界の氣壓及溫度も同時に撮影してあります．此の記錄裝置を第五十八圖の如き籠に入れ此れをセロハン及アルミニウム箔にて包み丁度溫室の樣にして定溫度とし此を二個の風船で上昇させて測定するのでありまして約 28 粁の高所迄上昇しますと一方の風船が破れて下降し一方の風船が Damper の役目をするのであります．



第 五 十 七 圖



第 五 十 八 圖

斯くて前後七回の實驗結果を綜合したのが第五十九圖であります．此れを見ますと高度が或る程度以上になると電離度はあまり增加せずに Saturate 致します．此の値は地上に於ける値の約 300 倍位に相當致します．尤も 1933 年測定の結果は他のものより强くなつて居りますが此は色々調べた結果此の日は太陽黑點が顯著に現はれて居た事が判りましたから恐らく其の影響でないかと云つて居ります．是が事實だと致しますと太陽も黑點を示す時は相當に透過力の强い放射線を出す事が判ります．

從來太陽黑點と氣象の關係に就いては色々と論議されて居りますが其の原因は未だに判

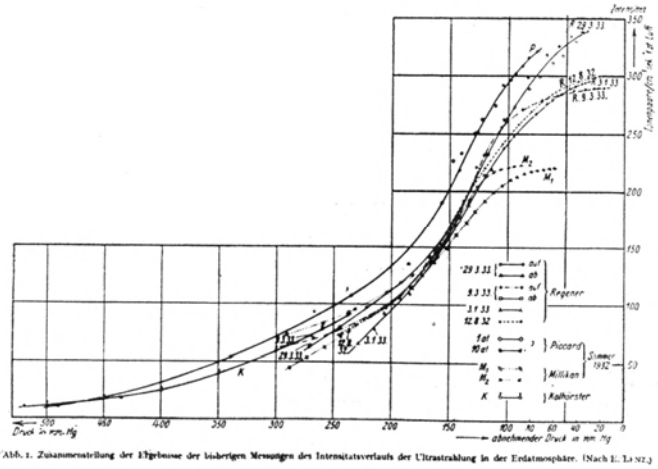
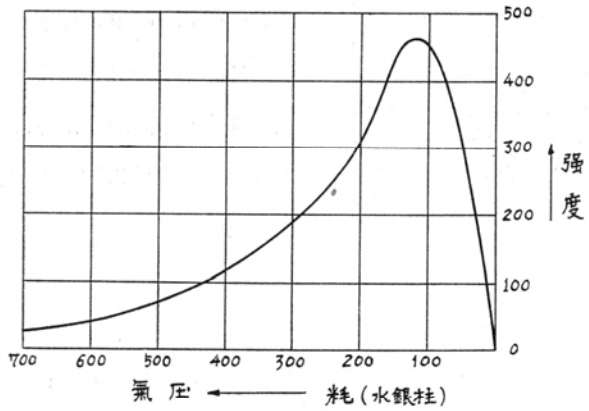


Abb. 1. Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse der Messungen des Intensitätsverlaufs der Ultrastrahlung in der Erdatmosphäre. (Nach E. Lenz.)

第五十九圖

明致しませんが宇宙線にも關係があるのではないかと思ひます．尤も高度10粁以下では圖に見る通り大した影響が無い處を見ると其の透過力は小さいものでありませう．

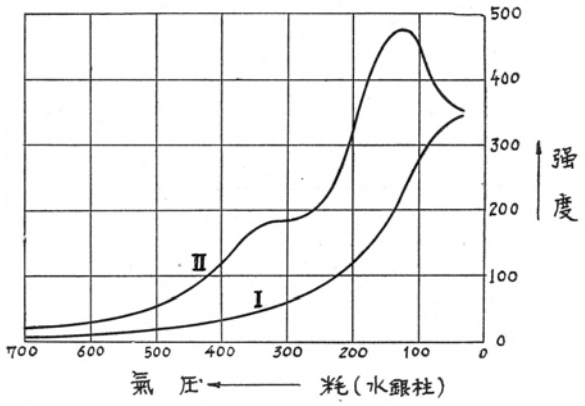
次に此の曲線より宇宙線の一部は電磁波なりと稱する人があります．其は斯ふ云ふのです．宇宙線をγ線よりもつと波長の短い從つてEnergyの大きな電磁波であると致しますと，電磁波は中性でありますから直接電離作用をやりませんから大氣の上端に於ける電離度は第六十圖に示す通り零であります．次いで大氣層に入つて來るに從つて漸時電離度は



第六十圖

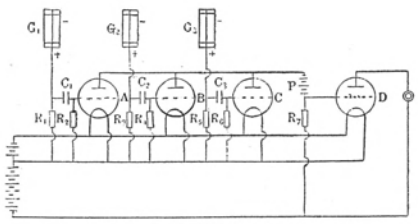
增加致しますが地上に近づくに從つて一次現象たる電磁波の强さが弱りますから電離度も減少し第六十圖の如き曲線となります．以上は宇宙線が電磁波として地球へ垂直にやつて來るとして畫いた想像圖でありますが第五十九圖の Regener の曲線は方向を考へて居り

ませんから此を垂直にやつて來るものとして計算をやり直しますと第六十一圖の様になり



第六十一圖　Gross の垂直入射の電離曲線
I　Regener の實驗結果
II　垂直入射の場合に換算した結果

ます．此の曲線 II は第六十圖に似通ふ處があります．此れより宇宙線の一部は電磁波であると云ふのであります．



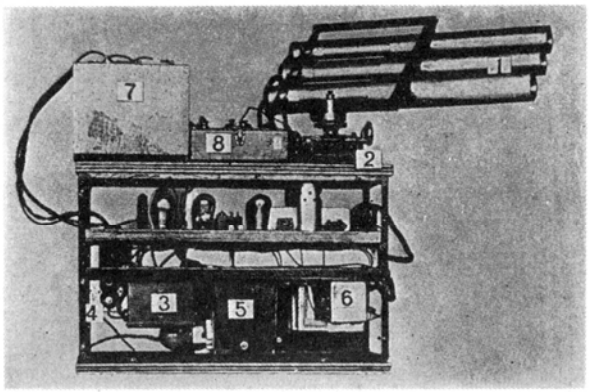
Rossi の接續

R_1, R_3, $R_5=5\times10^9$ オーム, R_2, R_4, R_6, $R_7=8\times10^6$ オーム, C_1, C_2, $C_3=10^{-4}\mu F$, G_1, G_2, G_3, Geiger-Müller 計數管．計數管に來る宇宙線粒子による負の衝撃は C_1, C_2, C_3 を通して A, B, C なる眞空管に傳へられる．此眞空管には陽極電流が流れて居るが負の衝撃によりそれが殆ど止められる樣に調節して置く．R_7 は大であるから D なるグリッドの電位は 少し負になつて居る．若し 3 個の計數管を宇宙線が同時に貫くと C_1, C_2, C_3 の陽極電流は同時に止まり，D の電位は急變して此管の陽極電流に激變を生ぜしめるから是を記録する樣に裝置し得る．G_1, G_2, G_3 の中或るものには宇宙線粒子が來ても他のものには來ないとすると，來ないものに相應する眞空管には大きな電流が流れて D の電位の大變化を防ぐ事になるから此管には衝撃は來ない事になる

第六十二圖

此に反して宇宙線を帶電粒子なりとする實驗は Geiger-Müller tube に依る方法であります．第六十二圖の如く接續された三個の Geiger-Müller tube を第六十三圖の如く一直線上に並べて置きますと，宇宙線が同時に 3 個の tube を働かせた時だけ最終段眞空管が働きますから此に依ると宇宙線の方向を知る事が出來ます．

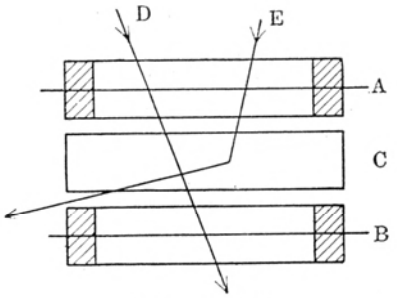
さて宇宙線を電磁波と考へますと此等の tube を同時に働かす確立は非常に少い譯であります．のみならず第一の tube と第二の tube との間に第六十四圖の如く，例へば鉛の如き厚い金屬層を置きますと，第一の tube は宇宙線の作る二次電子の直接作用であり．第二の tube は此の二次電子が厚い吸收層を通して働きかけるのでありますから Energy は非常に弱くなつて居ることゝ思はれます．何となれば電子は電磁波と違ひ其の受ける吸收は非常に大きなものだからであります．處が實際測定の結果は思つたよりも少なく然かも其の吸收率は Regener の曲線を指數曲線



第六十三圖

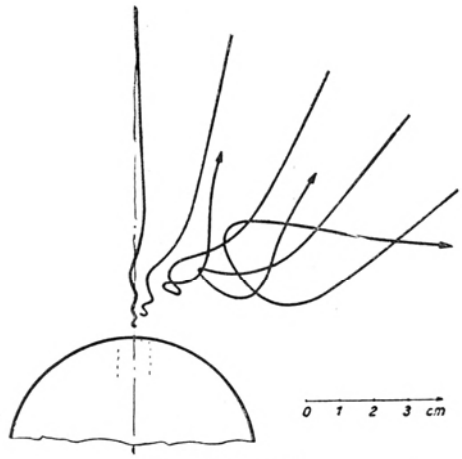
と考へた場合の吸收率に略一致したのであります．（Bother 及 Kolhörster の實驗）此は取りも直さず宇宙線が帶電粒子であると云ふ事を示すのであります．

然し此の說も電磁波の Energy が非常に大きい時には二次電子の Energy も强くなり電磁波の吸收も二次電子の吸收も殆んど變はり無くなつて來るので必らずしも正しいとは云へないのであります．



第六十四圖

20. 緯度と强度との關係



第六十五圖

次に宇宙線が帶電粒子であると言ふ說の有力なる理由は地球磁氣の影響であります．

此は若し宇宙線が帶電粒子であるならば第六十五圖の極光現象の如く地球磁氣の作用を受けて極に近づくに從つて其の强度は增加するであらうし，電磁波であるならば電氣的に中性であるから地球磁氣の作用は受けぬ筈であります．又帶電粒子であるとしても其の Energy が非常に大きければ地球磁氣も此れを引き寄せるには力が不足で

大した影響は無いであらうと想像されます.

其處で Millikan 及 Kolhörster 等がハンブルグよりノルウエーの間を測定致しました結果地球磁氣の影響を受けずと發表したのでありますが後に Clay 及 Compton 等が第六

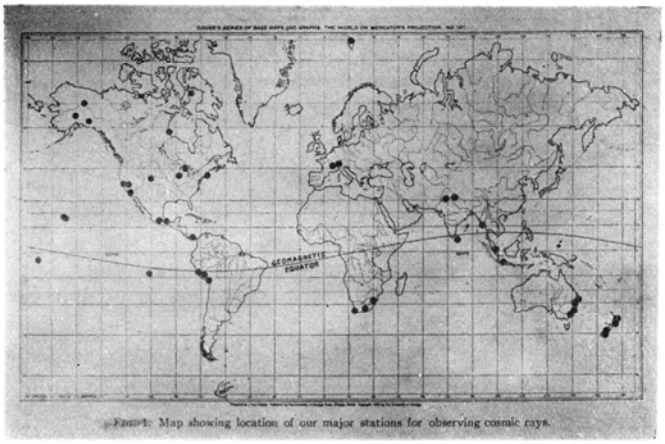
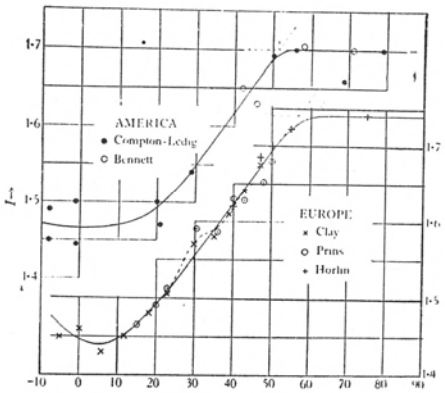


Fig. 1. Map showing location of our major stations for observing cosmic rays.

第 六 十 六 圖

十六圖の如く殆んど地球の全體にわたり測定した結果第六十七圖の如く平地に於ては赤道と極とでは約 15% 程違ふ事が判つたのであります. Millikan 及 Kolhörster 等は 50 度



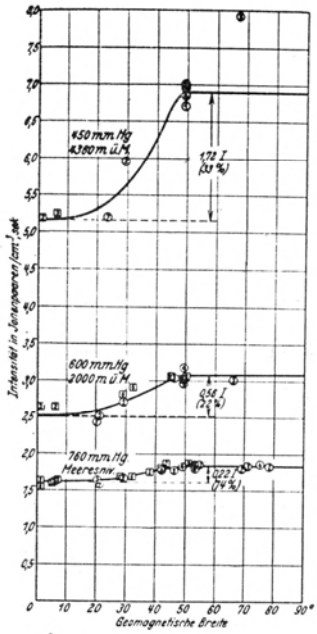
Cosmic-ray-intensity at sea-level as a function of geomagnetic latitude in North America (above) and Europe (below).

第 六 十 七 圖

より北極迄の直線部分を測定して居た譯であります.

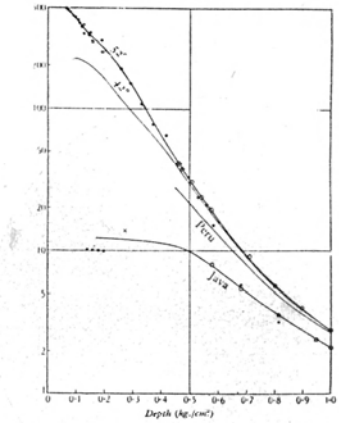
此の現象は高所へ行く程第六十八圖及第六十九圖の如く顯著になるのであります. 此は何故かと申しますと地上に到達する宇宙線は 10^{10} 電子ヴオルト程度の大きな Energy を

持つたものですが高所へ行く程 Energy の弱いものが來て居りますから地球磁氣に影響さ



Variation der Ultrastrahlung mit der magnetischen Breite in verschiedenen Höhenlagen nach Messungen von COMPTON und Mitarbeitern.

第 六 十 八 圖

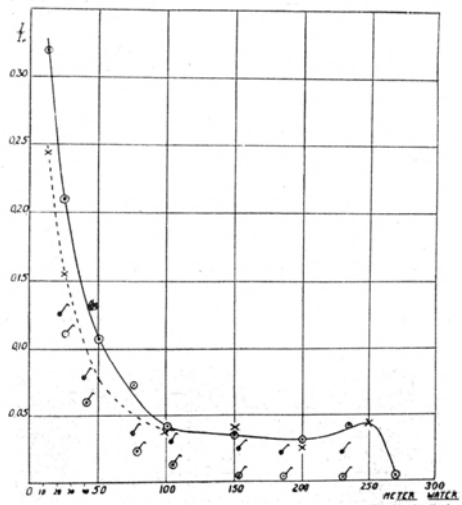


Cosmic-ray ionization as a function of depth below the surface of the atmosphere at different geomagnetic latitudes. 52°, Compton-Millikan; 42°, Millikan-Bowen, Peru, Millikan-Neher; Java, Clay.

第 六 十 九 圖

れることが甚しくなるのであります. 此等の結果より宇宙線の大部分は帶電粒子であると云ふ事が出來るのであります.

然らば殘りの地球磁氣に影響されぬ部分は何かと申しますとγ線の如き中性のものか又は帶電粒子であつても Energy が非常に大きなもので無いかと想像されます.



Decrease of the radiation in water till 270 meter in the Red Sea. (×) 18° G. lat. and. Gulf of Aden 10° g. lat. (○) Regener's measured values. Regener's adopted values after subtracting residual ionisation.

第 七 十 圖

次に水深下に於ける Regener の實驗も第五十六圖の如く指數曲線的に減少するのではなく水深 270 米に及びますと第七十圖に示す樣に電離度は一旦增加して急に激減するのであります. 此も宇宙線が粒子性を帶びて居る證據でありまして若しγ線であれば指數曲線的に無限に減少する筈であります.

21. 宇宙線の Energy

次に宇宙線の存在を知る方法は Wilson cloud chamber に依る方法であります.

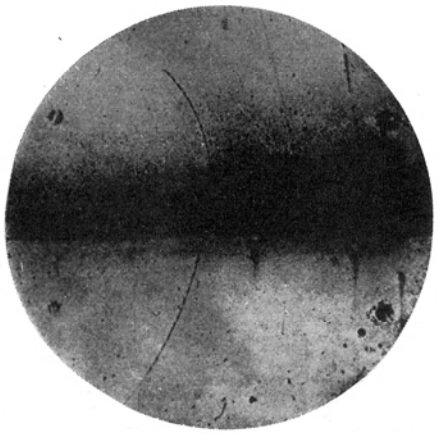


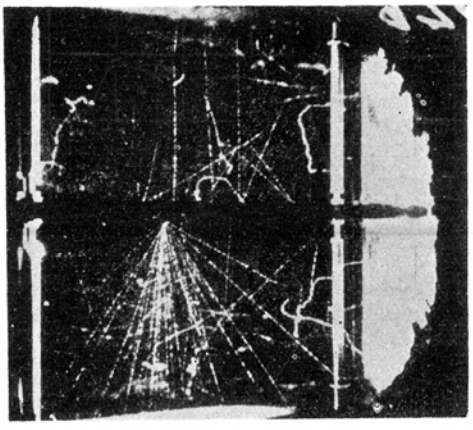
Abb. 25. Nebelkammeraufnahme von ANDERSON. Ein 63 eMV-Positron geht durch eine 6 mm dicke Bleiplatte und tritt als 23 eMV-Positron aus. Die Länge der letztgenannten Bahn ist mindestens 10mal größer als die mögliche Länge der Bahn eines Protons von der Energie, die aus der Krümmung errechnet wird. Wollte man die Bahnen als Elektronenbahnen deuten, dann müßte das Elektron als 23 eMV- Elektron in das Blei eintreten und als 63 eMV-Elektron ausgetreten sein.

第七十一圖

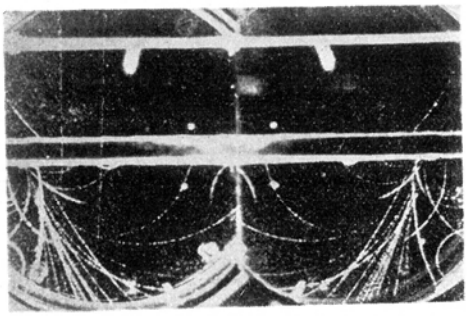
第七十一圖は此に強い磁界を働かせた時宇宙線が通過する狀態を示すものでありまして，中央にあるのが厚さ6粍の鉛板で，通過前と通過後とでは Energy を吸收されて彎曲度が違つて居ります．此の曲り方より電荷の正負及大きさを知る事が出來るのでありまして，宇宙線は電子と同量の正電荷を帶びて居る事が判つたのであります．又通路の長さ及太さとより此の質量は電子と同じであります．卽ち宇宙線は陽電子であると云ふ事が判つたのであります．

陽電子は實に宇宙線研究の副產物でありまして Anderson の發見になるものであります．

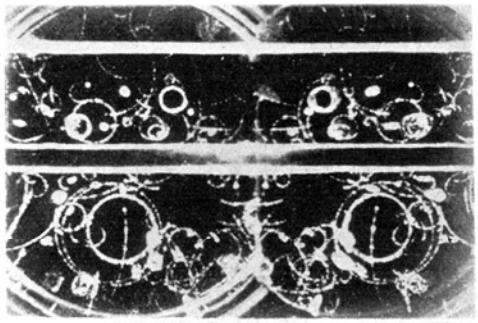
宇宙線は陽電子だけではなく陰電子のみの場合もあり此等が混合して來る場合もあり又 γ 線の樣な性質を現はす時もある事が Wilson chamber の方法で判つたのであります．第七十二圖は宇宙線が鉛板に衝突して數多の粒子を飛出させた處で第七十三圖の如く此に磁界を働かせて其の正負を調べた處正負兩電子が飛出して居る事が判明したのであります．



第七十二圖

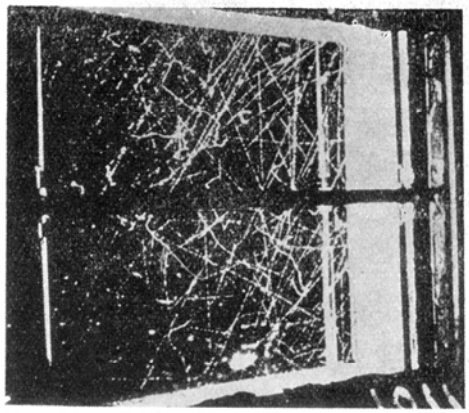


第七十三圖

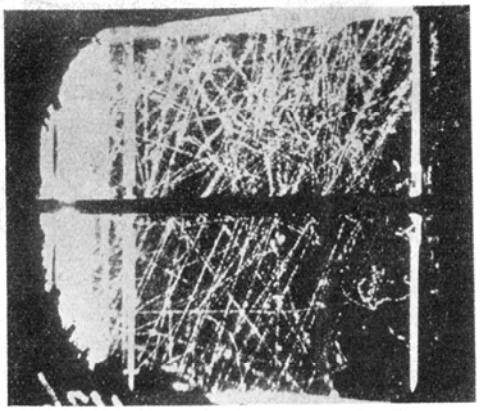


第七十四圖

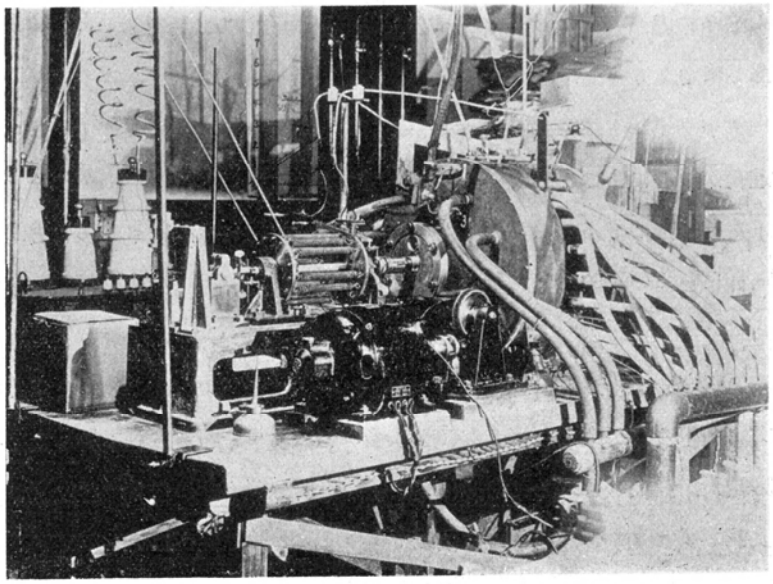
第七十四圖も宇宙線でありますが E-nergy が小さい爲強い磁界の爲に廻轉させられて居る處で此に依ると一次現象が現はれて居ないから宇宙線はγ線でないかと考へられるのであります．此の外第七十五圖及第七十六圖の如く嵐の如く粒子が飛んで來る場合もあります．



第七十五圖

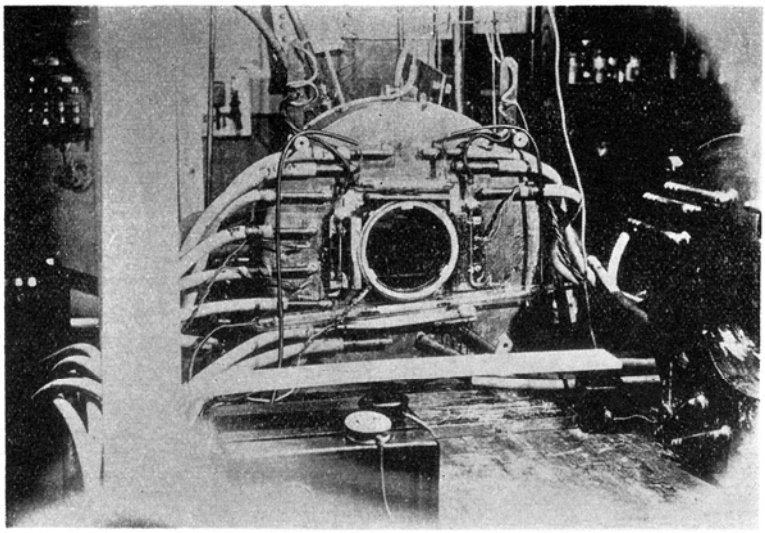


第七十六圖



第七十七圖

第七十七圖及第七十八圖は理研の宇宙線研究用 Wilson chamber で Geiger-Müller tube に依つて宇宙線の來るのを知つて Piston を働かせる様な仕掛になつて居ります.



第七十八圖

22. 宇宙線の發生

宇宙線には正負兩電子があることは前に御話した通りであります. 何れが多いかを調べて見ますと唯今の處 Wilson chamber 及 Geiger-Müller tube で實驗した結果どうも陽電子の方が多い様であります. Stomer の說に依りますと 10^9 電子ヴオルト以上のものは陽電子で 10^8 電子ヴオルト位では正負兩電子の兩方であると云つて居ります. 此は太陽系の原子が正電荷が中心にあつて負電荷が周圍を廻つてゐるに反し宇宙線の源の系では負電荷の周圍を正電荷が廻つてゐるのであるとし此の故に宇宙線には陽電子が多いと云ふのであります. 斯様に色々の說があるに拘らず宇宙線が何處にどうして出來るか判らないのであります.

地球磁氣の影響の少い赤道附近の高所(メキシコ)で實驗した處に依りますと宇宙線はどうも西方より來る方が東より來るものより多いと云ふ事が報告されて居ります. 此れも詳細に實驗結果が發表されましたならば宇宙線の出所を解く鍵になるでありませう.

今日行はれて居りますのは新星の爆發說であります. 此は例へばアンドロメダ群星等の中の新星が一度に爆發して急に其の質量を失ふ時此れが Energy に變じ宇宙線が發生され

るのであります．吾々が此の新星爆發を50年前に觀測したと致しますと帶電粒子は光より少し速度が少いので吾々は今に到つて此れを觀測し得るのでありまして，斯くの如き帶電粒子の Energy ではどの位の透過力があるかと云ふ事は此れを計算する事が出來るのでありまして或る人が計算致しました結果約200米の水深に達することが判つたのであります．此は實際に近い値でありますが此れとても不完全なものでありまして將來の研究に待たなければならないのであります．

23. 宇宙線の應用

以上理論的の事を申上げましたが何か應用の途があるかと申しますと，例へば或る人は物質の性質を宇宙線に依つて調べて居ります．例へば Magnet の中の狀態を見るに使用して居ります，此は恐らく宇宙線の强力な透過力と其の曲り方等より調べるのでありませう．斯様に將來色々と應用の途が開ける事と存じます．

24. 結　　言

以上何だか判らない事を申上げて參りましたが新しい事が判らないと云ふ事は此れは當り前でありまして度々聞いて行くうちに判つた様な氣がする．此れが判つたと云ふのであらうと思ひます．兎も角吾々がどんな判らない事をやつて居るかと云ふ事は御判かりになつた事と存じます．

吾々の仕事が應用方面に何の役に立つか判りませんが少なくとも何かしら御役に立つのでは無いかと云ふ事が想像されるのであります．最初に申上げました様に新しい理論が生れて此れを研究して新しい發明が完成されるのでありますから相當深く御諒解下さる事が必要と存じます．終りに臨み御清聽を煩はしました事を感謝致します．

所長謝辭

九時間に亘る仁科博士の御熱心なる御講演を感謝致します．兎角新しい事は判らないのが普通でありますが御講演の內容は吾々應用方面にある者にとつて最も必要且つ非常に興味あり吾々を裨益すること多大なるものと思ひます．將來とても色々の問題に就き御熱心な御指導を仰ぎ度いと存じます．

尙仁科博士を當所に御紹介下さいました長岡博士に深く感謝の意を表し度いと思ひます．一言以て閉會の辭と致します．

（昭和十一年十二月十五日脫稿

（終）

