

E13 011 A04 4

宇宙線に関する最近の研究

理学士 湯川秀樹 <sup>67</sup>  
大阪大学理学部助教授

物理学

200

昭和12年7月22日着 23 枚 6 枚

物理化学 九月號

圖共 六頁

089

黒



No. 2

以下六部、用用

であらう。最近に於てこの方面の實驗の進歩は極めて著しく、その詳細を述べることには固より不可能であるが、最も重要と思はれる諸結果と、これに對する理論的の意味づけとを略述したいと思ふ。

16

尚宇宙線の研究は物理学のみならず、天文学、地球物理学の立場からと極端に相違興味があるが、それらの方面の研究には餘り立

4

入らぬこととする。  
2. 宇宙線の来歴 一口に宇宙線といつても、これに關聯する問題は多種多様であるが、大體次の二種類に分けられる。即ち(1) 宇宙線が地球上に到達する迄の経歴の問題、

202

物理と化學 (四巻一頁)  
物理と化學

東京 電話 神田、湯川五丁目 物理化學振興聯盟  
八九五番

14x20



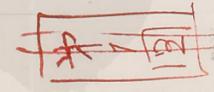


No. 4

廣い範圍の強度の精密な測定が屢行はれた。  
 例へば、最近 REGENER 及び PfoTZER の 3 組の  
 計数管を鉛直線上に配置し、それ等全部を遍  
 過する帯電粒子文が記録される装置を作り、  
 此を氣球に乗せて上昇せしめ、4分毎にその  
 数及び氣壓、溫度等を自動的に記録させた。  
 その結果に必要を補正を加へたものが第 4  
 圖で、これで見ると、真上に近い方向から帯電  
 粒子の数は高さと共に急激に増加し、氣壓 10  
 cm Hg に相當する高さ附近に於て極大に  
 あり、それ以上は最高 29 km (10 mm Hg)  
 まで減少する一方であるが、これを氣壓  
 0 の極限まで延長すると有限の値に收斂す  
 る。

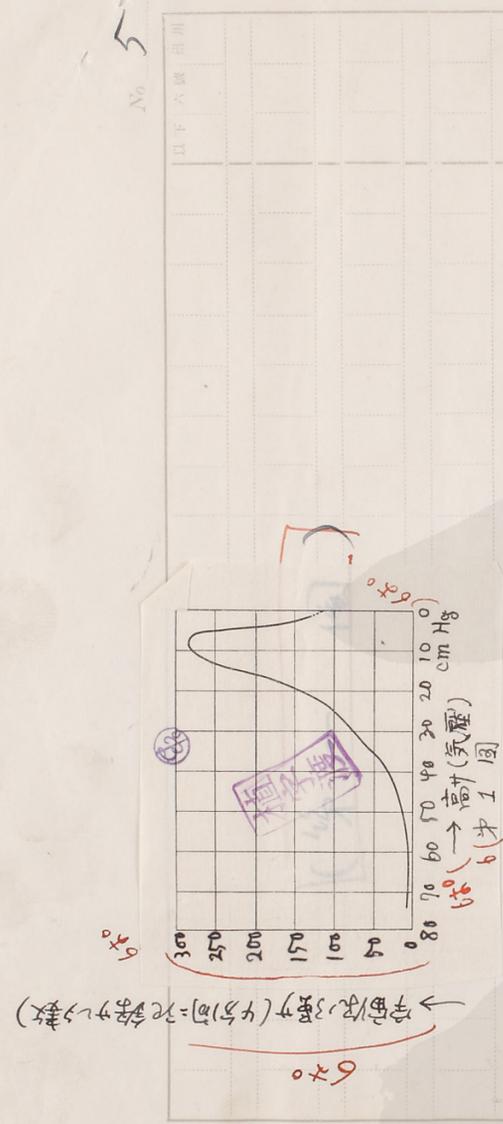
204

物理と化學 (四卷一頁)  
物理と化學



東京市神田區三丁目 物理化學振興聯盟  
電話 八九五番

14x20



この結果は、従来から考へられて居た通り、地球外から高度の帯電粒子が飛んで来ること、 $\mu^+$  の一次線のあるものは大気中で二次的作用により、多数の高速度帯電粒子を発生し、これが曲線の極大を興へる原因となつてゐること等を示すものである。併し、これ以上立入つた説明をするには、色々な豫備知識が必要であるから、後廻しにする。

尚水面以下に於て宇宙線の強さの測定は、 $500\text{ m}$  の水に

8

205

物理と化学 (図表一頁)

物理と化学

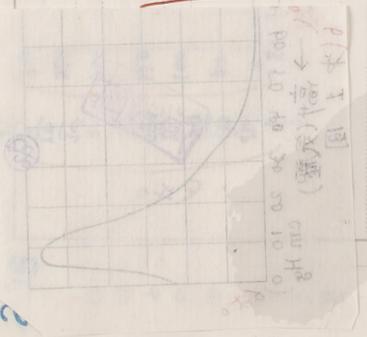
東京 神田区 山崎三丁目 九番五号 物理化学振興聯盟

14 x 20

線(の)数

5

No. 5



(第一圖)

物理化学

この結果は従来から考へられて居た通り、地球外から高度の帯電粒子が飛んで来たこと、 $\nu^2$  の一次線のあるものは大気中で二次的作用により、 $\nu$  の高速度帯電粒子を発生し、<sup>水</sup>氷が曲線に極大を興へ原因になつてゐること等を示すものである。併し、これ以上立入つた説明をするには、色々な豫備知識が必要であるから、後廻しにする。

尚水面以下に於て宇宙線の強さの測定は、 $500\text{ m}$  の水に

8

東京 湯川記念館 物理化学振興聯盟  
神田 八五三番目  
電話 九九五五

14x20

No. 6

以下六頁 組用

相対性理論の厚さを貫通する放射線の存在が認められ、~~これは~~これは極めて勢力の大きい帯電粒子で、後に述べ、理由はより、電子以外、重い粒子で、~~必~~必<sup>要</sup>と考へられる。  
~~放射線~~放射線の来歴<sup>より詳しく</sup>を上の地球の上に記した分布であるが、その最も重要な特徴は1927年 <sup>CLAY</sup>Compton が発見した宇宙線の強さの緯度による変化である。近年 <sup>COMPTON</sup>Millikan 等が世界各地に亘つて大がかりな調査をした結果によると、水面に於ける地点の強さは、磁気赤道から磁気緯度50°の邊迄少しづつ増加し、それから先は磁極の近くまで大體一定である。次に高さを変へて見ると緯度による変化は甚だ軽微しい。例

208

物理と化学 (四巻下) 物理と化学

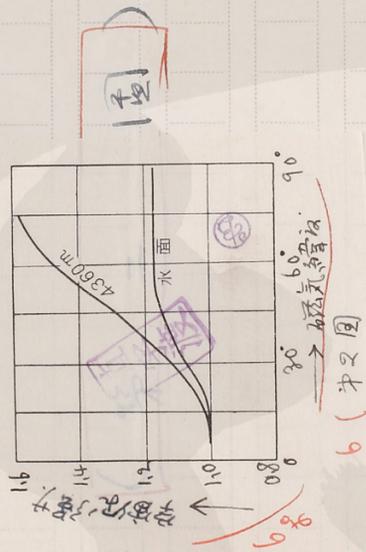
東京 神田区 錦町三丁目 電話 八九五番 理化学振興聯盟

14x20

No. 7

へは、水面より4360 mの深さに於ける傾向を  
 示す。第2圖の如くである。但し、孰れも赤  
 道での強さを1と取り、強さは単位距離に於  
 ける単位体積中の氣體の電離の大小さで定義  
 してある。

20



この結果は、高度の帯電率が地球に近  
 づく際、一方では地球の磁場に依つて曲  
 げられ、~~ある~~運動の勢力がある値以下の  
 ものがある緯度以下に到達し得なくなるに

207

物理と化学 (四巻一頁)  
 物理下化学

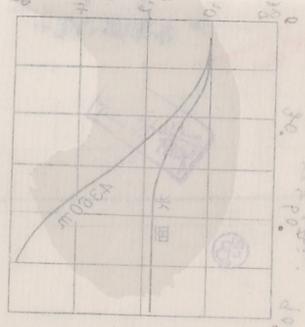
東京 神田区 錦町三丁目 九番目 理化学振興聯盟  
 電話 八九五番

14x20

No. 7

水面及び4360 mの深さに於ける傾向を  
示す。第一、図の如くである。但し、孰れも赤  
道での強さを1と取り、強さは単位経度の  
単位経度中の気体の電流の太いさで定義  
してある。

20



第一 図

この結果は、高速度の帯電粒子が地球に近  
づく際、一方では地球の磁場に依つて曲  
げられ、~~帯電~~運動の勢力が~~ある~~値以下の  
ものにある緯度以下に到達し得なくなるに

207 物理と化学 (四巻一頁)  
物理下化学

田・錦町三丁目 理化学振興聯盟  
八九五番目

14 x 30

No. 8

以下六欄組用

と、及び他方では大気中を通過する途中、電  
離その他原因によつて勢力を失つて行方、  
結局水面邊(又はある一定の高さ)迄到達し得  
るが最初ある値以上の運動勢力を失つて  
落下粒子であることとを考慮すると、よく説明

9

が出来る。  
例へば LEMITRE <sup>VALLARTA</sup> と Vallarta の計算に  
よると、運動勢力が  $2.4 \times 10^9 \text{ eV}$  以下の電子、  
 $1.6 \times 10^9$  以下の陽子は、磁場による軌道の屈  
曲の結果、緯度  $50^\circ$  以下の地点には来られぬ  
い。又全大気層を通過して水面迄到達し得  
るためには、陽子<sup>については</sup>、<sup>最も</sup>約  $3 \times 10^9 \text{ eV}$   
以上の運動勢力を失つて居るに代り、電子、電  
子の<sup>は</sup>、これよりも遙か後に大気<sup>の</sup>運動勢力が

20

208  
物理と化学(四枚一頁)  
物理と化学

東京、神田区、錦町三丁目  
電話八九五番  
理化学振興聯盟

14x20



No. 9

以下 六線 組用

体である。更に水面下500mの深さには  
 可<sup>12</sup>陽子として  $1.5 \times 10^{11} eV$  以上の  
 9 勢力を帯びて居る如くである。  
 然るに、天然の放射能物質から出て来る放  
 射線及び現在人工的方法によつて得られる  
 諸種の放射線の勢力は  $10^6 \sim 10^7 eV$  であ  
 り、陽子の質量が全部運動勢力に受つて初め  
 て  $10^9 eV$  になるのであるから、宇宙線が構  
 成する個々の粒子の勢力は莫大なるものとい  
 へば好むらぬ。而して宇宙線の二次的作用  
 として、<sup>12</sup>實際宇宙線を磁場  
 中で曲げて見れば、果たして二次的作用によつ  
 て出る放射線の勢力から見て、<sup>12</sup>「~~二次線~~ 一次線」<sup>12</sup> 斯様  
 の大勢力の粒子であることは疑ふ餘地がな  
 い。

10

209 物理と化学 (四巻一頁)  
物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目 八九五番 理化学振興聯盟

14 x 20





11

以下六欄組用

のみならず、これはむしろ天文学者の領域に  
 属する問題である。物理学者の注目する所  
 は宇宙線が地球に到来してから始まる。  
 この意味に於て、實際観測されたもの、中、と  
 水が一次線として記録されるかといふ  
 區別さへも、~~高エネルギー~~陽光子として重要  
 である。9+  
 10

8ホロ<sup>2</sup>"

3. 宇宙線の物質通過

① 電離作用

上述の様に宇宙線を構成する帯電粒子が  
 物質を通過する際に勢力を失ふ原因の第一  
 は、物質を構成する原子又は分子の励起及び  
 電離である。電離計、計数管乃至霧室による  
 観測が皆この電離作用を利用したものであ  
 ることは申すまでもない。

7

211

物理と化学 (四巻一頁)  
物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目  
電話 八九五番  
理化学振興聯盟

14x20

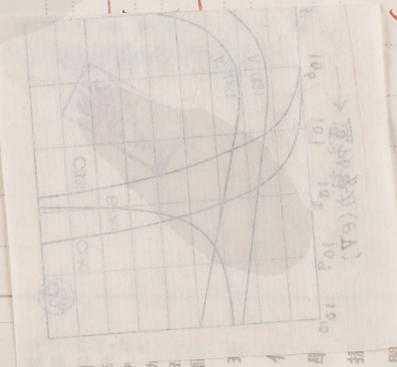




No. 17

以下六頁用

量子論によると、帯電粒子が一定の物質の一定の厚さを通過する間に、この様にして失ふ勢力は、粒子の電荷、質量及び運動勢力によつて変化すが、例へば電子及び陽子が水又は鉛を通過する際の理論的値を示すと、第3図 A 及び B の曲線の如くなる。但し、厚さの単位は、単位厚に於いての重量  $g \cdot cm^{-2}$  を用いてある。



第3図

6  
A: 陽起及び複雑な電子、勢力損失  
B: "陽子"  
C: 輻射による電子、勢力損失

6  
才3図

212 物理と化学 (四枚一頁)  
物理下化学

No. 13

以下 六段 組用

その  
以下

井で見て、粒子の勢力損失、従つて電離能  
 後、運動勢力が増すと共に一旦急激に減少し、  
 その後又徐々に増加して行くことにある。  
 後の方の増加が果して実験と一致するかと  
 うか疑問であるが、初めの減少の方は疑ふ餘  
 地がなく、従つて霧面中の軌跡の中で、高速度  
 の電子のそれより遙かに太く濃いものは、 $10^8$   
 eV 程度乃至それ以下の運動勢力の電子(注  
 しくは他の重い粒子)にふるつて区  
 別が出来る。尤、~~霧面~~軌跡が霧面中では  
 残り、霧面中を經過つてゐる場合には、その長さが  
 粒子の種類及び勢力の決定の有力な材料に  
 なる。

12

213 物理と化学 同教一頁  
物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目 八九五番 理化学振興聯盟

14 x 20



No. 14

以下六欄 汎用

反作用させれば、幾丁分の運動勢力の粒子の  
飛跡は

$$\rho = \frac{\sqrt{T^2 + 2mc^2 T}}{eH}$$

は、曲率半径で曲げられる。但し、 $e, m$ は粒  
子の電荷の大きさ及び質量である。電荷の  
符號は曲がら方向から決められる。

この様にして、霧室中の飛跡の太さ、曲率半  
徑、曲がら方向、~~電荷~~等から粒子の種類及び  
勢力を推定し得る場合がある。1932年

ANDERSON が陽電子を発見したのは、この

最も著しい例である。第四圖は同じ ANDERSON

MEDDERMEYER 共  
に 1947年 4300 m の山上に於て、7900 Gauss

の磁場を作用させて撮影した霧室写真の

214 物理と化学 (四教二頁)  
物理と化学

東京 神田区 湯川三丁目  
新田 八五五番 物理  
化学 振興聯盟

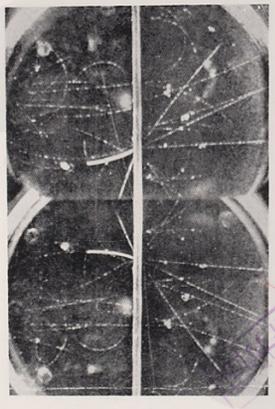
14 x 20



No. 15

以下 六 断 用

2  
つてある。左に#つあるの以、飛跡の立體的  
形を視るために、異方向から撮つた也  
のてある。



サ々同

9

この中の多数の細い飛跡は、<sup>大部分</sup>電子に  
よるものであるが、その曲り方から見ると、  
電荷の符号は正負両方ある。負の方は通常  
の電子即ち陰電子であり、正の方は上述の陽  
電子である。DIRAC の理論に従へば、この陽  
電子は物質中の電子と衝突し、輻射線を出し

215 物理と化学の電磁二頁  
物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目  
電話 八九五番 理化学振興聯盟

14 x 20

No. 15

以下 六 断 用

つてある。左に述べた<sup>2</sup>の比、飛跡の立體的  
形状を視るために、異方向から撮つた  
のてある。

9

(第四圖)

この中の多数の細い飛跡は~~電子~~<sup>大部分</sup>電子に  
よるものであらうが、その曲り方から見ると、  
電荷の符号は正負両方ある。負の方は通常  
の電子即ち陰電子であり、正の方は上述の陽  
電子である。DIRAC の理論に従へば、この陽  
電子は物質中の電子と衝突し、輻射線を出し

215 物理と化学  
物理と化学

東京 神田区錦町三丁目 理化学振興聯盟  
電話 神田 八九五番

14 x 20

No. 16

以下 7

て早晚消滅して小さいのである。  
 写真の中間に横に設してある ~~飛跡~~ <sup>飛跡</sup> の鉛板で、これから飛跡の長さの  
 飛跡が、その中で上方に向つてゐる太い飛  
 跡は、正電荷を有し、電子よりも遙かに大きな  
 質量を持つた粒子によるものであること作  
 確かであるが、~~飛跡~~ <sup>曲率</sup> 曲率及び長さが矛盾なく  
 説明される為めには、陽子よりも軽く作られ  
 なければならない。故に、これは全く未知  
 の粒子であるかも知れぬ。<sup>\*</sup> さうなると  
 甚に重大問題である。著者として筆者の理論  
 的根拠からいへば、粒子の存在し得ること  
 論じることがある。依り ~~飛跡~~ <sup>ANDERSON</sup> ANDERSON  
 はこの他に <sup>二つ粒</sup> 類似の飛跡を見出して居るが、

14x20  
 \*同じ場所から下の方向にも飛跡がでて居り、いづれも電荷の符號  
 (尚) は正であるが、之も陽電子 ~~飛跡~~ <sup>飛跡</sup> (かも知れぬ) \*  
 かも知れぬ粒子である

216 物理と化学 同教一頁  
 物理下化学

東京 神田区 錦町三丁目 九番 理化学振興聯盟



No. 17

以下六欄組用

磁場以外の包れの原因によつて飛跡が歪曲  
するところもあり得る故、未だ決定的なことは

18

いへない。  
ii) 陰陽電子の發生、<sup>4</sup>抽て第~~四~~圖の様に、

一枚の眞空中に多数の飛跡が現はれることは決して珍らしくはないが、<sup>これ</sup>其を多数の獨立

な一次線が偶然同時に霧曲を通過したためであるとして解することは不可能である。何と

な水以斯標本ニとの起る確率は餘りに小さ  
いかうである。故に、~~表~~は唯一つの一次線

が、霧曲の陸への他の物質中で多数の二次線  
三次線を創つた結果であると考えられる。

9

抽て、帯電粒子が物質を通過する際には、上  
述の電離作用の他に、原子核及びその周囲の

217 物理と化学 (四枚一頁)  
物理下化学

東京 神田区 錦町三丁目  
新田 八九五番 理化学振興聯盟

14 x 20



No. 18

以下六段 冊用

電子に与る電場で加速又は減速させ、その結果  
 輻射線を放出して電力を失ふ。量子論に  
 よると、かゝる現象の起る確率は比電荷<sup>6</sup> $\frac{e}{m}$   
 の二乗に比例し、衝突する原子の原子番号 $Z$   
 の二乗に比例し、且運動勢力と其に急激に増  
 加する。故に、陽子の標的原子の場合に  
 はこの現象は減速<sup>12</sup>起る如く電子塊の端  
 合には重要な意味を持つてゐる。即ち、電子  
 が水中の<sup>3</sup>鉛中で、輻射による失ふ電力を  
 示す<sup>3</sup>第<sup>3</sup>曲線の如く有り、運動勢  
 力が $10^7 \sim 10^8 \text{ eV}$  以上になると、輻射によ  
 る電力損失が電離によるものより却つて大  
 きくなる。これに於て鉛の標的 $Z$ の大き  
 物質に於て著しい。かくして出来る輻射線  
 の電力長は、<sup>10</sup>狭い範囲に直つて居るが、高速  
 電子の場合には破り線が主。

218 物理と化学 (四巻一頁)  
物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目  
電話 神田 八九五番 理化学振興聯盟



PLANCK  
の量子数である。

No. 19

但し、 $\nu$  は振動数、 $h$  は Planck の量子数である。  
~~要の部分を占め、 $h\nu$  と表わしてよい。~~  
以下 六段 通用  
18

要の部分を占め、 $h\nu$  と表わしてよい。  
所加の  $\gamma$  線が物質中を進んで行く間に  
更に二次的現象を起す。その第一は光電  
効果で、 $\gamma$  線は原子に吸収され、光電子が放出  
される。第二は COMPTON 効果で、 $\gamma$  線は電  
子により散乱される。これらの現象は  $\gamma$   
線の勢力が大きくなるに従って起り、 $\gamma$  線の  
より、従つてこれ又を  $\nu$  と振動数の大さな  
 $\gamma$  線が物質を貫通する力が強くなる。  
併し、DIRAC の電子論に従ふと、 $\gamma$  線の勢力が  
 $h\nu$  が  $2mc^2 \approx 1.02 \text{ eV}$  以上になれば、原子に  
吸収され、陽電子の一群を発生する  
可能性を生ずる。しかもその確率は  $\nu^2$   
に比例し、且振動数と共に急激に増加する。

215  
物理と化学 (四枚一冊)  
物理下化学

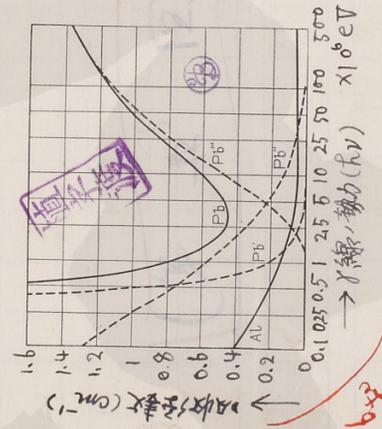
東京 神田区 錦町三丁目 三番 物理化学振興聯盟

14 x 20

No. 20

以下六課 組用

従つて、第4圖に示す様にγ線の吸収係数は、  
 一旦急激に増加し、一旦急激に減少し  
 て後又増加する。この傾向は鉛の如くZの  
 大きいものに於て特に著しい。



Pb: 鉛 =  $\alpha$  全吸収係数  
 Pb: 鉛 =  $\alpha$  全吸収中、光電効果 =  $\alpha$  部分  
 Pb: " " " " , Compton 効果 =  $\alpha$  部分  
 Pb: " " " " , 陰陽電子対生成 =  $\alpha$  部分  
 Al: アルミ =  $\alpha$  全吸収係数

6 (第5圖)

以上の理論が制限なしに適用し得  
 るとすれば、宇宙線中の極めて高速度の電子  
 は、空気又は他の物質中を通過する間に、大さな勢  
 力のγ線を放出し、これが更に陰陽の高速電  
 子と対生成し、その各々が又γ線を放出すといふ

220 物理と化学 (第4巻) 物理下化学

東京理科大学 物理化学振興聯盟

14x20

No. 20

以下六課 組用

従つて、第5圖に示す様にγ線の吸収係数は、  
一旦急激振動数を増すと一旦急激に減少し  
て後又増加する。この傾向は鉛の如く乙の  
大抵、丙のみに於て特著しい。

17



68  
Pb: 鉛 =  $\alpha$  全吸収係数  
Pb': 鉛 =  $\alpha$  吸収中、光電効果 =  $\alpha$  部分  
Pb'': 鉛 =  $\alpha$  , Compton 効果 =  $\alpha$  部分  
Pb''': 鉛 =  $\alpha$  , 陰陽電子対生成 =  $\alpha$  部分  
Al: アルミ =  $\alpha$  全吸収係数

(第5圖)

6 (才5回)

推論

以上の理論が制限なしに通用し得  
るとすれば、宇宙線中の極めて高速の電子  
は、空気又は他の物質中を通過するに、大さな勢  
力のγ線を放出し、これが更に陰陽の高速度  
電子を発生し、この各々が又γ線を放出すといふ

220  
物理と化学  
物理と化学  
物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目  
田八五番 理化学振興聯盟

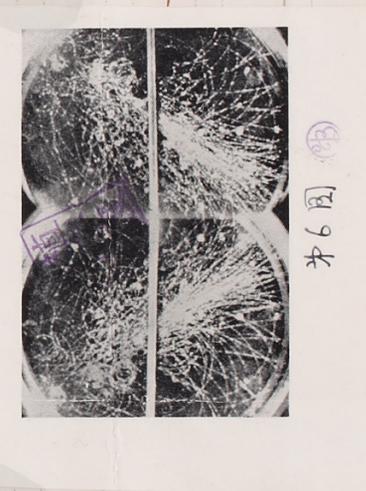
14x20

陰陽電子の

No. 21

以下 六次 組用

様にして段々回数が増して行くてある。  
 前の第<sup>4</sup>増幅器中の多数の電子の飛跡も矢張り  
 加<sup>5</sup>の過程によつて生じたものと考  
 へられる。霧室写真中には狭い範囲から射  
 出す~~多数の~~飛跡が<sup>群</sup>出現し、<sup>それ</sup>を一般に  
 shower と稱するが、その大部分は上記の  
 如き倍加作用の結果として説明し得る。併  
 し、<sup>6</sup>細入の第<sup>6</sup>増幅器に現れられてゐる大規模の複  
 雑な shower が、<sup>6</sup>これのみで説明し得るや否  
 也疑問である。(本も Anderson <sup>6</sup>等の撮影した  
 ものである) ANDERSON 15



中6図 (附)

221 物理と化学 四教一頁

東京 神田区 錦町三丁目 物理化学振興聯盟  
電話 神田八九五番

14x20

陰陽電子の

No. 21

以下 六次 組用

様にして段々回数が増して行くてあつた。  
 前の第<sup>4</sup>段中の多数の電子の飛跡も矢張り  
 加<sup>5</sup>の過程によつて生じたものと考  
 へられる。霧画寫真中には狭い範囲から射  
 出す~~多数の~~飛跡<sup>の群</sup>が~~見られる~~現はれ、<sup>これは</sup>一般に  
 shower と稱するが、その大部分は上記の  
 如き倍加作用の結果として説明し得る。併  
 し、<sup>6</sup>第<sup>6</sup>段に現はれてゐる大規模の段  
 雜な shower が、<sup>6</sup>これのみで説明し得るや否  
 也疑問である。(本も Anderson <sup>6</sup>等の撮影した  
 ものである) ANDERSON 15

(第六段)

221 物理と化学 四枚一頁 物理と化学

東京 神田区 錦町三丁目  
電話 八九五五番

No. 22

950211

222

以下六紙 組用

4. 宇宙線の本質の問題

この様にして、高速度の陰陽電子は物質を  
 通過する間に輻射線を出して勢力を失つて  
 行く機会が多い故、同じ運動勢力の陽子に比  
 して、その貫通力は著しく小さくなる。<sup>この様な</sup>  
 際著しい相違の結果として、第一に地球外か  
 ら来る高速度電子の多くは、大気上層で僅加  
 作用にまつた多数の二次電子を作り、<sup>水</sup>が第  
 二圈の曲線の極大の原因に成つておらうと  
 考へられる。第二に地磁気の影響を受ける  
 部分及び地下深く貫通する部分の主体として  
 陽子の如き重い粒子で<sup>11250と</sup>おらうと考へられる。  
 所<sup>最近の</sup>成色には実験の結果陽子又はそれより重  
 い帯電粒子は豫想されればより遙かに少く、<sup>貫通力</sup>  
 少な<sup>い</sup>。

物理と化学 四巻(一頁)  
物理と化学

東京神田區錦町三丁目  
野田八五番 理化学振興聯盟

14x20

223

の中間子論関係

No. 23

以下六紙 組用

電子と陽子の中間の質量を有する粒子  
~~は~~から出来ておるのではないかと思へ  
 られる様だ。これは第1回中の不可  
 解な飛跡の説明とも呼應して今後の重大問  
 題と心得ておる。更に其が原子核構造の  
 問題の解決の道に在るであらう。この時期  
 である。第1回の飛跡粒子に因りて  
 細心の観察結果の發表を能くして得た  
 、筆を措く。

(昭和十二年七月廿日記)

21

物理と化学 (四巻一頁)  
物理と化学

東京 神田区錦町三丁目  
電話 神田八九五番 理化学振興聯盟

14 x 20

下