

# 新 粒 子 の 發 見

仁 科 芳 雄

科 學 7 (1937), 第 10 號, 別 刷

# 新 粒 子 の 発 見

仁 科 芳 雄

**緒言** 宇宙線粒子の有つエネルギーは、吾々が地上で實現し得る範圍を遙に超えて居る。従つてこれによつて起される現象は、吾々の從來經驗しなかつた新しいものがあるので、其研究は吾々を豫想外の發見に導いて來た。例へば陽電子の發見であるとか又はシャワーの現象などはこれである。そして興味ある事には、これ等は皆それが發見せられる前に理論的に豫言せられて居たものである。最近に至つて又これと類似の重要な發見が、宇宙線研究の收穫として成し遂げられた。それは宇宙線粒子の中に電子と陽子との中間の質量を有し、陰陽孰れの電氣をも帶びた粒子の存在が發見せられた事である。そして其存在は2年よりも前に吾が湯川秀樹氏によつて豫言せられたものであるといふ事は愉快に堪へない。日本の物理學も此方面にそろそろ芽を吹き始めた様に思はれる。どうか斯界に携はる各自の心掛によつて此芽を真直ぐに成長させ、空に聳ゆる大木とさせ度いものである。

**宇宙線の本質** 此問題は隨分長く議論せられたものであるが、最近に至つて Bhabha-Heitler<sup>(1)</sup>並に Carlson-Oppenheimer<sup>(2)</sup>によりシャワー現象の理論が明にせられ、夫が實驗的にも大體に於て確證せられた結果、宇宙線の本質も大體に於て其全貌を把握し得た感がある。即ち地球に来る一次的宇宙線の大部分は陰陽電子であつて、之に光子も多少交つて居るであらう。之等は地上に到達する前に其大部分を空氣に吸收せられる。そして之等の外に別に透過力の大きい成分があつて、上空では僅少な部分を構成するに過ぎないが、吸收率が少いから地上に於て又地下に於ては、宇宙線の大部分又は全部は之によつて占められて居る。而して茲に述べようとするのは此硬成分に於て新粒子の存在が發見せられた事である。

以前から宇宙線には其透過力から見て少くとも二成分があると考へられ、透過力の大きい方は小さい方に比べて、其吸收係數が一桁小さいとせられた<sup>(3)</sup>。Compton, Bethe<sup>(4)</sup>並に Auger<sup>(5)</sup>は、此透過力の小さい所謂軟成分は電子であつて、硬成分は陽子から成つて居るといふ説を立てた。

(1) H. J. Bhabha, W. Heitler: Proc. Roy. Soc. A, **195** (1937), 432.

(2) J. F. Carlson, J. R. Oppenheimer: Phys. Rev. **51** (1937), 220.

(3) 質量吸収係數  $\frac{\mu}{\rho}$  は前者に於ては物質により異り、空氣又は水に對し狀況により  $\frac{\mu}{\rho} = 4 \sim 8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 、鉛に對しては  $30 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  である。後者では凡ての物質に對し略一定であつて測定狀況により  $\frac{\mu}{\rho} = 1 \sim 0.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 。

(4) A. H. Compton, H. Bethe: Nature **134** (1934), 734.

(5) P. Auger: Jour. de Phys. VI (1935), 226.

處で前述のシャワーの理論によると、此説は Wilson 霧函により其實否を確かめ得る筈である。シャワーといふのは周知の通り宇宙線が物質に衝突すると、平均  $10^8$  eV 程度のエネルギーを有つ多くの陰陽電子を發生せしめる現象である。此理論は第1圖に示す通り、例へば陰又は陽電子が飛来して鉛の原子に衝突したとすると、原子核の作用を受けて、其エネルギーの一部を  $\gamma$ -線光子として放射する。此  $\gamma$ -光子は鉛を通過する間に

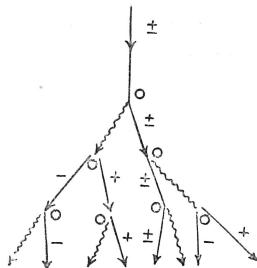
やはり原子核的作用を受けて陰陽電子を創生する。そして其各は又其一部のエネルギーを  $\gamma$ -線として輻射する。これを反覆すること圖に示す通りであつて、其結果として多くの陰陽電子並に光子が作られる。普通の宇宙線粒子の場合 ( $10^8 \sim 10^{10}$  eV) には、鉛の中を平均數耗過する毎にこれ等創生、輻射の現象が繰り返されるものである。これは最初來るもののが電子ではなく、エネルギーの大きな光子である場合も全く同様で、只初め陰陽電子の創生から出發するに過ぎない。

然るに若し最初の粒子が陽子であると、 $\gamma$ -線の輻射確率は電子の場合の数百萬分の一となるから、物質に衝突してもシャワーを生じない。只電離によるエネルギー損失があるだけである。従つて大きなエネルギーとなると陽子の方が物質の透過度は大きい。

そこで Wilson 霧函の中央に適當の厚さ (1~3 cm) の鉛板を入れ、これに宇宙線粒子が衝突した時の寫眞を撮れば、それが電子であればシャワーを生ずるか、又は少くとも輻射による大きなエネルギー損失が認められる。これに反しもしそれが陽子であれば、そんな大きなエネルギー損失はなく、只電離による損失に過ぎない筈である。

此實驗は多くの人によつて試みられた。そして實際宇宙線の中には、シャワーを生じエネルギー損失の大きい粒子とさうでない粒子とのある事が知られ、前者は宇宙線の軟成分を構成し、これを電子と考へると大體に於て理論に合致する事が判つた<sup>(1)</sup>。従つて上記の説の一部は

(1) L. Fussel jr.: Phys. Rev. **51** (1937), 1005; R. B. Brode, A. S. Merle: Phys. Rev. **51** (1937), 1006; S. H. Neddermeyer, C. D. Anderson: Phys. Rev. **51** (1937), 884; P. Auger, P. Ehrenfest: Jour. de Phys. VIII (1937), 204.



第1圖 シャワー發生の構構。  
○は原子核、—は光子、—は電子

これで實證せられた譯であつて、宇宙線の軟成分は電子であることが證明せられた。そして其物質を通過する際の吸收はシャワー現象の發生によるものである事が明になつた。勿論シャワーによつて出來た多くの粒子のエネルギーも、結局は電離作用に消費せられるものである事に相違ない。

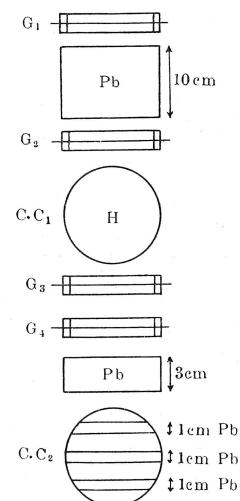
然らば上述のシャワーを生じない硬成分は何であらうか。前記の人々はこれを陽子と考へたのであつた。所がよく調べて見ると其大部分は寧ろ陽子でない事を示して居る。そして其検討の結果茲に新粒子の存在が發見せられるに至つた。次に述べる實驗はこれを結論せしめたもので、これ等は殆ど時を同じくして互に獨立に行はれたものである。

**Street-Stevenson の實驗<sup>(1)</sup>** 是等の研究者は第2圖に示す様な裝置により實驗を行つた。即ち4個の計數管を同時に粒子が通過した時、兩方の霧函が同時に作動して其粒子の通路を寫眞に撮る様にしてある。今  $H$  を磁場の強さ(oerste·ls) とし  $\rho$  を飛跡の曲率半徑(cm) とすれば次の様な結果を得た。

$H\rho \times 10^{-6}$	分布 (%)	$CC_2$ の上にある 3cm Pb を通過し たもの (%)	$CC_2$ の内にある 3cm Pb を通過し たもの (%)
>5	49	100	100
2.5~5	19	90	70
1.5~2.5	23	90	70
0.7~1.5	9	70	30

宇宙線の軟成分即ち電子は殆ど 10cm の鉛を通過し得ない。從つて霧函に現はれる飛跡は殆ど硬成分によるものと見て好い。此事は 1cm の鉛を 500 回通過する間に、僅 1 回のシャワーが得られただけであるといふ事がらも知られる。

そこで此硬成分は陽子であるかといふに左様ではない。何となれば表に與へた  $H\rho$  の陽子は、電離作用の爲にエネルギーを失つて、實驗に用ひられた厚さの鉛を通過し得ないものが多い筈であるにもかゝはらず、事實澤山通過して居る。又



第2圖 Street-Stevenson の實驗裝置。G<sub>1</sub>...G<sub>4</sub>: 計數管, C. C<sub>1</sub>: 磁場に置いた Wilson 霧函, C. C<sub>2</sub>: 磁場のない Wilson 霧函

$H\rho = 2.5 \times 10^6$  の陽子の飛跡は當然イオン密度が多い筈であるが、實際には電子の場合と見分け難い。これは明に陽子よりも軽い粒子である事を示して居る。そしてシャワーを生じない處からして電子よりも重い事を意味するものである。

**Neddermeyer-Anderson の實驗<sup>(1)</sup>** 此人達は磁場に置いた Wilson 霧函の中に 1cm の厚さの白金板を入れ、これを  $5 \times 10^6$  eV 近の宇宙線粒子が通過する際、生ずるエネルギー損失を求めて見た。處が之が二つの群に分れた。一方はシャワーの理論に合致する損失を示しそれは軟成分を構成する電子である事が證せられた。他方はエネルギー損失が著しく少く硬成分に相當して居る。從つて勿論電子ではない。又陽子でもあり得ない、といふのは觀測された  $H\rho$  と飛跡のイオン密度との關係が陽子に對するものに合致しない。例へば  $H\rho = 4.5 \times 10^6$  の粒子に於て、觀測せられたイオン密度は同じ  $H\rho$  の陽子に對するものの 25 分の 1 に過ぎない。これと同様の結果は既に前から此研究者によつて得られて居た<sup>(2)</sup>。これ等から電子と陽子との中間に位する質量を有する新粒子の存在を結論して居る。

**Crussard-Leprince-Ringuet の實驗<sup>(3)</sup>** この人達の實驗は、 $50 \times 15$  cm の細長い Wilson 霧函を大きな磁場に入れ、霧函の中央に 5 mm の鉛板を置き、これを  $2 \times 10^6 \sim 10^6$  eV の宇宙線粒子が通過する際に起るエネルギー損失を求めたものである。其結果によるとこれ等の粒子によるエネルギー損失は、粒子を電子と考へて理論上豫期せられるものよりは著しく小さい。然し陽子とも考へられない。それは前記の人々と同様に、飛跡のイオン密度が同じ  $H\rho$  の陽子に對するものより甚だ小さいもののある事が認められたからである。

**仁科-竹内-一宮の實驗** 直径 40 cm の Wilson 霧函を 17,000 oersteds の磁場に入れ、霧函の中央に厚さ 1.5 cm の鉛板を置き、霧函の上に並行に列べた二つの計數管を通過する宇宙線粒子によつて霧函を動かせるやうにして寫眞を撮つた處、2 種類の飛跡を得た。一方は鉛を通過する時大きなエネルギー損失を示すもので、これは軟成分の電子である。他はエネルギー損失が少く透過力の大きい硬成分に外ならない。吾々の實驗によると電子は全體の 10~20% に過ぎない。但しこれは  $2 \times 10^6$  eV 以上の粒子に就ての話であつて、それ以下のものは磁場に作用せられて寫眞に入つて來ない。

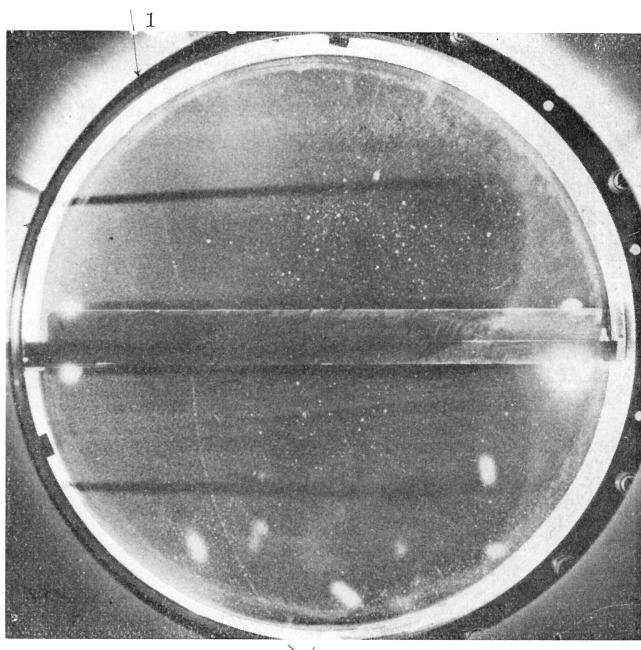
そこで此硬成分を檢討して見ると、前述同様の推論よりして、電子と陽子との中間に質量を有つものである事が結論せられた。依つて吾々は進んで其質量を決定しよ

(1) S. H. Neddermeyer, C. D. Anderson: Phys. Rev. **51** (1937), 884.

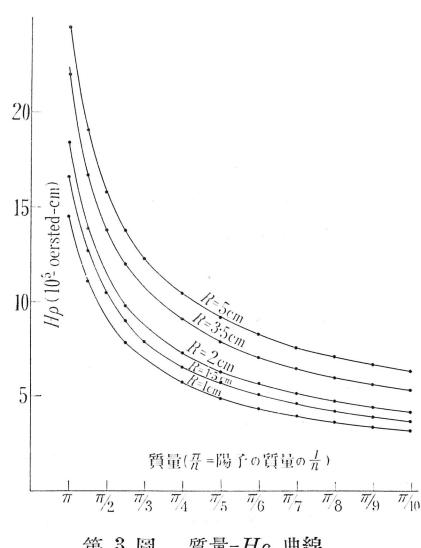
(2) C. D. Anderson, S. H. Neddermeyer: Intern. Conf. Physics, Vol. 1 (1934), 182; Phys. Rev. **50** (1936), 268.

(3) J. Crussard, L. Leprince-Ringuet: C. R. **204** (1937), 240; Jour. de Phys. VIII (1937), 213.

うとした。此実験に於ては霧函の中央の鉛板の厚さを 3.5cm とし、又霧函の上の計数管の間に厚さ 20cm の鉛を入れて電子を取除くことにした。吾々の実験によれば此新粒子は物質に衝突した際に輻射に依つてエネルギーを失ふことは稀である事が知れた。それ故此粒子は恐らく電離によつて其エネルギーの大部分を失ふものであらうと考へられる。此點新粒子は電子よりは寧ろ陽子に類似して居る。エネルギー從つて  $H\rho$  がある値以下となると、陽子と新粒子との差は飛跡のイオン密度に現はれて来るが、 $H\rho$  が大きくなると差は解らなくなる。然し鉛の中の飛程には同じ  $H\rho$  のものに對して質量の差が銳敏に利いて来る。そこで第 3 圖の様に色々の飛程に對する質量- $H\rho$  の曲線を作つて置き、霧函による実験から飛程と  $H\rho$  とを求めれば、曲線から質量が得られる。これには勿論新粒子の電氣量は陽子と同じと假定してあ



第 4 圖 新粒子の飛跡。 $H = 8000$  oersteds,  $H\rho_1 = 7.0 \times 10^5$ ,  $H\rho_2 = 2.43 \times 10^6$  これより新粒子の質量は陽子の約 1/10 と推定される



第 3 圖 質量- $H\rho$  曲線

第 4 圖は上述の方法により質量の決定を行ふに用ひた寫真である。鉛の中のエネルギー損失の小さいものからは質量が正確に求め難いから、なるべく大きいものを用ひる必要がある。此寫真を見ると粒子は鉛の中で約 10° その進路を急に曲げられて居る。これは鉛の原子との衝突を起したことと示すものであるが、其時のエネルギー損失は質量が解らない以上定めることが出来ない。そこで損失はないものと假定し、飛程を求めて  $H\rho$  から質量を出して見ると陽子の質量の約 1/10 となる。もし鉛の中の衝突でエネルギーの損失があつたとすると、質量は更に小さくなる。この點は將來の決定を俟つこととしてゐる。

Street は此質量を電子の 5~50 倍とし、Oppenhei-

mer, Serber(1) は實驗結果から考へて電子の 100~200 倍或は 100 倍以下でもあり得るとして居る。孰れも大體の推定に過ぎない。吾々の上の値はこれ等に比べて大きい様であるが、前述の通りこれは暫定的のもので何とも云へない。  
尙吾々の實驗から宇宙線の硬成分が全部此新粒子によつて占められて居るか、或は一部は陽子を含むで居るかといふ事はまだ決定せられない。

**湯川氏の理論(2)** 湯川氏によると、中性子と陽子との相互作用は一つの新しい場を通して生ずるものであつて、恰度電子間の作用が電磁場を通して行はれる同様である。そして電磁場の量子論に於て光量子なるものが存在すると同様に、此新しい場の量子論によれば一つの量子が存在する筈である。而も此量子は質量と電氣量を具へて居る事になる。此質量は理論上中性子と陽子との相互作用の到程から計算して出せる。するとそれが電子の質量の略 200 倍となり、上の實驗値と大體合致する。それ故此量子は上述の新粒子に外ならないと結論せられた(3)。此粒子は光量子同様に Bose-Einstein の統計に従ひ、帶電の方は陰陽の兩種あり得る。それは Pauli-

(1) J. R. Oppenheimer, R. Serber: Phys. Rev. **51** (1937), 1113.

(2) H. Yukawa: Proc. Phys.-Math. Soc. Japan, **17** (1935), 48.

(3) J. R. Oppenheimer, R. Serber: loc. cit.; H. Yukawa: Proc. Phys.-Math. Soc. Japan, **19** (1937), 712; E. C. G. Stueckelberg: Phys. Rev. **52** (1937), 41.

Weisskopf<sup>(1)</sup>の理論で否定せられる。

湯川氏の理論に従へば、新粒子は普通の原子核変換の際には現はれて來ない。其理由はこれを創生せしめるだけのエネルギー ( $10^6$ eV 以上) が不足であるからである。又此粒子は原子核に衝突すると、これに捕へられ陽子を中性子に又は中性子を陽子にする。そして同時に生ずる剩餘のエネルギー ( $10^6$ eV 以上) により原子核を崩壊せしめるか、又はこれに相當する  $\gamma$  線を出すであらう。Wilson 霧函の寫真に現はれて居る宇宙線による原子核の崩壊の中には、或は此作用によるものがあるかも知れない。

(1) W. Pauli, V. Weisskopf: Helv. Phys. 7 (1934), 709.

又此新粒子は中性微子及び電子とも相互作用があるから、負のエネルギーにある中性微子を電子としてこれにエネルギーを與へ、所謂  $\beta$ -線を發生せしめ、又は負のエネルギーにある電子を中性微子として、陽電子  $\beta$ -線を發生せしめ自らは消滅して了ふ事もあるであらう。而かもこれは原子核外で行はれ得る。以上の諸作用のため新粒子は不安定であつて永く地上には存在し得ないと考へられる。

最後に吾々の實驗に多大の援助を與へられた海軍當局の方々に厚く謝意を表したい。又此實驗裝置の完成に援助を與へられた服部報公會に御禮を述べて擱筆する。

(昭和 12, VIII, 15)