

宇 宙 線 の 本 質

仁 科 芳 雄

科學4(1934),4,別刷

宇宙線の本質

仁科 芳雄

(理化学研究所)

緒言

“宇宙線とは何か”と訊かれた時“何だか判らぬ”と答へると正直ではあるが噤にはならない。“光か物質かである”と答へると正確ではあるが要領を得ない。これが現在宇宙線に關する吾人の認識程度をよく表現して居る。而して此認識不足の所に吾人の凡ての興味も努力も希望も懸つて居る譯である。兎も角物質透過力の飛び離れて大きいものが大空から地上に晝夜間斷なくやつて來て居る事は確實であつて是を宇宙線 (cosmic rays, Ultrastrahlung) と名づけて居る。然し其本體が何であるかといふ事になると議論區々である。今其透過力⁽¹⁾の如何に大きいかといふ事を述べて見ると、最近 Kolhörster⁽²⁾ が Stassfurt の岩鹽坑に入つて Geiger-Müller の計數管などで測定した結果によれば、深さ 300 米の邊に迄も來て居る事が判つた。即ち水 700 米に相當する物質を透過して尙其存在を認め得るといふのである⁽³⁾。Kolhörster は是を帶電粒子と考へて其エネルギーを 10^{11} e.v. と推定して居る。こんなものを常溫常壓の氣體 1 cm^3 中にある分子の數だけ集めたとすると其有するエネルギーは 12000 キロワット時である。即ちかなり大きな都會の電燈を一時間點けて置く事が出来る。尤も是は宇宙線の中最も透過力の大きな成分であつて、其成分により透過力の比は 1 より 160 の範圍に變つて居る。従つて一口に宇宙線と云つても其本體は單一のものではなく、恐らく種々のものの混合であらうと思はれる。

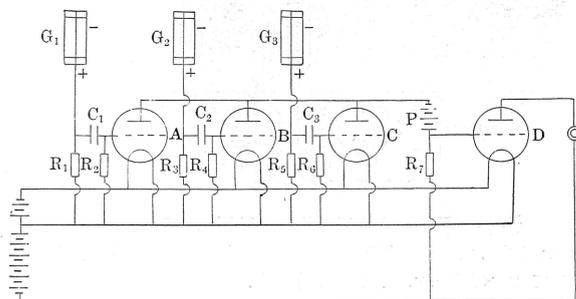
宇宙線が其存在を吾人に告げるのは何であるかと云へば、その生ずる電離作用に外ならない。其電離作用は如何にして生じるかと云へば、極めてエネルギーの大きな陰陽電子が上方から飛んで來て、それが氣體を通過する際其通路に約 30~40 對 (pairs)/cm の陰陽イオンを發生せしめるによるものであるといふ事は間違の無い事實である。只議論となるのは此高速度の陰陽電子が宇宙線其物であるか、又はそれは宇宙線が地球の大氣から發生せしめた二次的のものであつて、一次的本體は別に電磁波として存在するのであるかといふ事である。是が宇宙線本質如何の問題であつて今日多くの研究の焦點となつて居るものである。

(1) 透過力は是を數量的に表はす場合には吸收係数の逆数を以てする事とする。

(2) W. Kolhörster: Berliner Berichte XXIII (1933), 689.

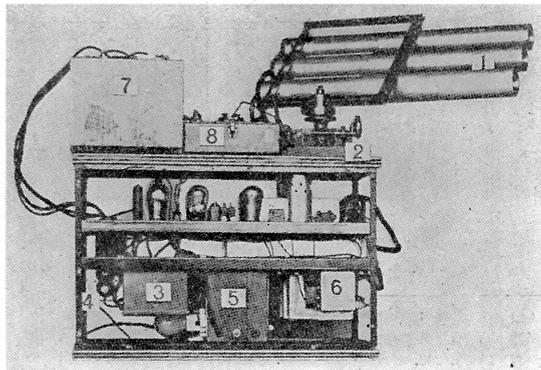
(3) 普通の硬い X-線でも 20~30 種の水で大抵の強さのものは吸收し盡される事を思へば驚くべき透過力である。

今日此宇宙線の電離作用を利用して其測定をする方法に三つある。第 1 は電離函を用ひるものでそれは高壓の氣體をつめた器である。而して此中に宇宙線が作るイオンの數を檢電器によつて測定するもので、宇宙線の發見以來用ひられて居るものである。第 2 は Geiger-Müller の計數管であつて是は上記の高速度陰陽電子の通過を一つ宛數へる装置である。其構造は周知の通りであるから是を省略する。此装置を用ひればやつて來る宇宙線粒子の數を數へ得るのみならず其來る方向をも知る事が出来る。それには是を 2 個以上用ひ其軸を並行にして置くこ



第 1 圖 Rossi の接続

$R_1, R_3, R_5 = 5 \times 10^9$ オーム, $R_2, R_4, R_6, R_7 = 8 \times 10^6$ オーム, $C_1, C_2, C_3 = 10^{-4} \mu\text{F}$, G_1, G_2, G_3 , Geiger-Müller 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 なる真空管に傳へられる。此真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様に調節して置く。 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様に装置し得る。 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真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 2 圖 Johnson, Street の携帶用方向探知器、1 の符號が 3 個の計數管の軸を並行にしたもの。

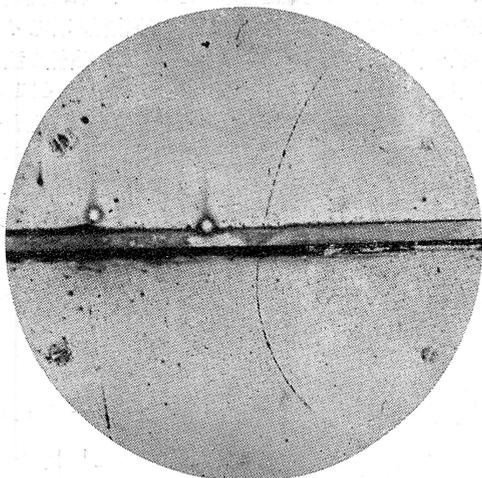
宇宙線の高速電子は是を同時に貫通する場合がある。左様な同時の衝撃にだけ作用する様に真空管を接続して置けば、是等の計數管の軸を含む平面内に来る電子だけを數へる事になるから、是を宇宙線粒子の方向探知器又はスリットとして用ひ得る。第 1 圖は Rossi⁽¹⁾ の考案になる左様な接続であつて Johnson, Street⁽²⁾ は此原理を用ひて携帯用の方向探知器を作つた。第 2 圖は其外形を示す。第 3 の宇宙線検出方法は Wilson-霧函の方

法である。是も其装置の詳細は省くが、要するに上述の高速電子の電離通路を其儘寫眞に表はすもので、イオンが霧の核となる原理を利用したものである。此霧函を磁場内に置いて作働せしめると電子の通路が彎曲する。其彎曲の方向により粒子の帶電符號を知り、其彎曲度から粒子のエネルギーを求め得る。此方法は宇宙線粒子の行動を其微細な點に迄立入つて知る手段として最近殊に重要視せられるものである。第 3, 4 圖は其一例を示したものである。以上の方法は皆宇宙線の本質を研究する實驗に用ひられて重要な役を勤めたものである。

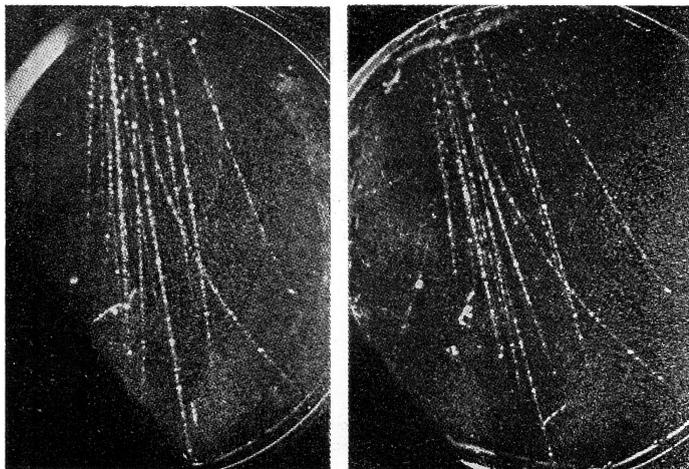
Bothe-Kolhörster の實驗

宇宙線の本質といふ事が問題となつた経路を述べよう。前述の様に宇宙線は其透過力の異常に大きいといふ事が特長である。此點で從來知られて居つたものは放射性物質の出す γ -線である。従つて其類推からして、宇宙線の本體も γ -線同様に電磁波であらうといふのは自然の事であつて、是に疑を懐く人は無かつた。若し宇宙線が電磁波であるとすれば其透過力より考へて波長は γ -線の最短波長即ち ThC' の 4.7 X. U. (10^{-11} cm) の 1/10 乃至 1/1000 と推定せられた。

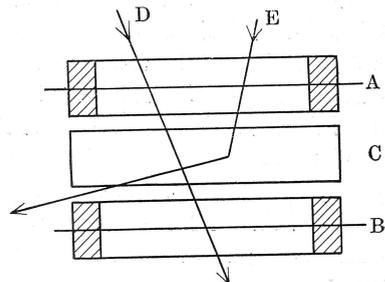
然るに Bothe と Kolhörster⁽¹⁾ とは次に述べる實驗を行つて宇宙線は電磁波ではなく物質であると主張した。其説明の爲めに先づ電磁波と物質との相互作用に就て一言する必要がある。上記の様に極めて短い電磁波が物質に作用すると是から Compton 効果により陰電子を、光電効果により陽電子⁽²⁾ (陰電子による光電効果は少い) を發生せしめる。是等陰陽電子のエネルギーは、略々元の一次電磁波光量子のエネルギーと同程度のもの若くは夫れより小さい。斯様な電子の物質透過力は一次電磁波に比べ極めて小さいものであるから、宇宙線の場合に見られる陰陽電子が、斯様な行程をとつて一次電磁波により發生せられたものとする、其物質透過力を測定して見れば當然宇宙線其物の透過力よりは遙に小なる値



第 3 圖 Anderson の Wilson 寫眞
 63×10^6 e. v. の陽電子が 6 mm の鉛板を上から通過して 23×10^6 e. v. となつた場合⁽³⁾。



第 4 圖 Blackett と Occhialini の Wilson 寫眞
 16 個の陰陽電子の群が一時に現れた場合⁽⁴⁾。同じものを異なる方向から二つのカメラで撮つたもの。



第 5 圖

(1) B. Rossi: Nature **125** (1930), 636.
 (2) T. H. Johnson and J. C. Street: Journ. Frank. Institute, **215** (1933), 239.
 (3) Carl D. Anderson: Phys. Rev. **43** (1933), 491.
 (4) P. M. S. Blackett and G. P. S. Occhialini: Proc. Roy. Soc. **139** (1933), 699.

(1) W. Bothe und W. Kolhörster: Zs. f. Phys. **56** (1929), 751.
 (2) 仁科芳雄: 科學 **3** (1933), 291; 仁科芳雄・朝永振一郎: 科學 **3** (1933), 390 及び 426 參照。

を示すべきである。是を實驗したのが Bothe と Kolhörster とであつて其原理は第 5 圖の通である。即ち A, B なる 2 個の Geiger-Müller 計數管の軸を水平に並行にして置けば、上述の宇宙線の有する陰陽電子は D に示す様に両者を同時に貫くだけの透過力は充分ある。而して是は其各に電離を生ぜしめるから両者を同時に作働せしめる。宇宙線が電磁波であるとすれば、それが此兩計數管の各に同時に電離を生ぜしむる確率は極めて小さいから、両者を同時に作働せしめるといふ事は先づ無いと見て好いであらう(此點後述)。即ち同時作働を起すものは帯電粒子に限る。そこで A, B の間に C なる厚い金の吸収層を置くと、陰陽電子は是に吸収せられたり散亂せられて A, B の同時作働の数が減少する。此減少数を測れば陰陽電子の透過力が求められる。是は上述の通り宇宙線の一次的主體が電磁波であれば、當然宇宙線の透過力より小さい筈である。然るに Bothe, Kolhörster の結果によれば、意外にもそれは從來多くの人々が電離函に依て求めた一次宇宙線の透過力と略々一致した。是を如何に解決すべきか。云ふ迄もなく A, B なる計數管を貫いて同時作働を起させるものと宇宙線とが同じ本質を有するといふ事になる。即ち宇宙線は γ -線と異り帯電粒子であるといふ結論に達した。而して其粒子は其當時はこれが電子であるか陽子 (proton) であるか決定せられなかつた。何となれば上記の透過力より考へると其有するエネルギーは恐らく $10^9 \sim 10^{10}$ e. v. であつて、斯様な場合には電子も陽子も略々同じ物質透過力を有するからである。然し今日は前記の Wilson-霧函の實驗よりしてそれは電子である事、而かも其帯電には正負兩方のものがあるといふ事が明かとなつた。

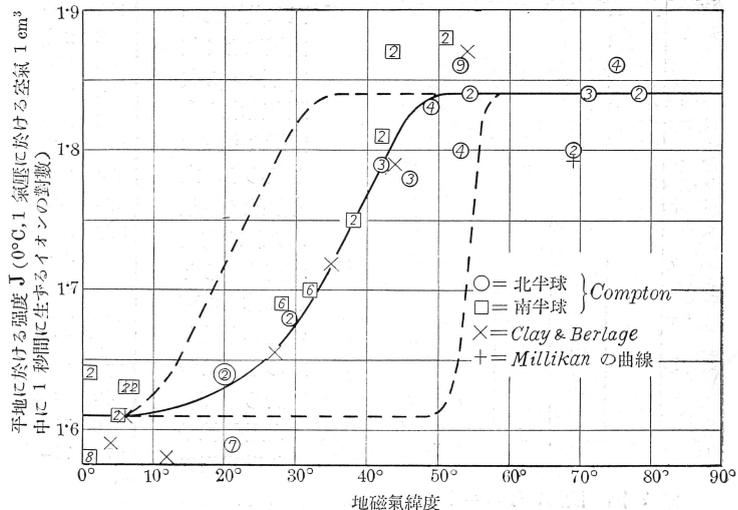
以上の結論に於ては、電離函による強度の測定から得られた宇宙線の透過力が、直ちに一次宇宙線の透過力を與へる事を假定して居る。電離函内の電離は前述の高速度陰陽電子により發生せられるものであるから、此高速度電子が一次宇宙線其物である場合は此假定は勿論正しい。然し一次宇宙線が電磁波である場合には此假定は吟味を要する。若し空間の各點に於て一次宇宙線(電磁波)の強度と、それによつて發生せられる高速度電子の數との比が常に一定であるならば、即ち兩者が平衡状態に達して居れば此假定は正しい。是は宇宙線の最も透過力の大きい(然し強度は弱い)成分に就ては恐らく成立しないであらうが、強度の大きい透過力の小さい成分に就ては成立すると思はれる。夫れ故電離函で直接觀測するのは二次電子による電離度である

が、結局それは一次宇宙線の強度を測る事となり其透過力が求められるものである。

此 B-K の實驗は更に Rossi(1)によつて繰り返され同じ結果に達して居る。然し是等の實驗は凡て、一次宇宙線が電磁波である場合に、それが 2 個の計數管を同時に作働せしめる事はないものとの假定に基いて居る。然るに Wilson-霧函の實驗によれば、第 4 圖に示す様な電子の群が餘り距離を置かず二、三同時に起るらしいと云ふ事、且つ其間は電離性の粒子では連絡されて居らぬ事を Blackett, Occhialini は述べて居る。従つて上記の結論は、或は將來改訂を必要とするかも知れぬが、兎も角此實驗により宇宙線の本質は何かといふ大問題が提出された事になつた。

地磁氣緯度と宇宙線強度との關係

そこで此問題の解決に多くの人が研究を開始した。其一つは地球の磁氣緯度と宇宙線強度との關係である。宇宙線の一次的主體が帯電粒子であるならば、其運動は地磁氣に作用せらるべきであるから、當然緯度に依つて其強度に變化がある筈である。此事は前記 Bothe と Kolhörster とが既に其論文中に指摘して居る。是はオーロラが南北の極地に限られて居る事と同じ原理によるものである。此現象は太陽から放出される帯電粒子が、地磁氣の爲に南北極地に引き寄せられ、其上空で稀薄な氣體に衝突して是を電離させ、依つて起す發光作用と考へられて居る。是と同様に宇宙線帯電粒子も南北極地の方に引かれ、赤道地方の地表には降りて來ぬものがあるから、極地の宇宙線強度は赤道よりも大きい筈である。是に反



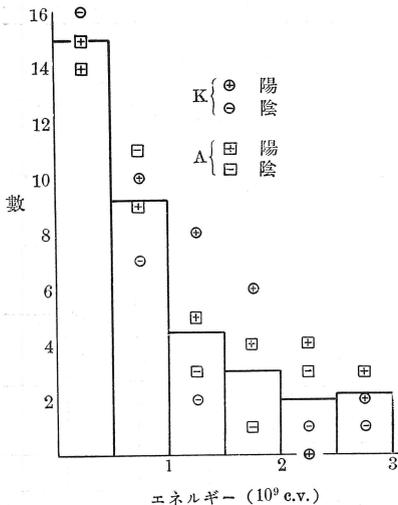
第 6 圖 Compton 並に Clay, Millikan の得た平地に於ける宇宙線強度と地磁氣緯度との關係

1.605 J は地球磁氣に影響せられぬ 4×10^{10} e. v. 以上のエネルギーを有する電子、又は中性のものによつて作られると考へ、0.235 J は 5×10^9 e. v. と 1.3×10^{10} e. v. との間のエネルギーを有する電子により 50° 以上に於て作られ、それは赤道には達せぬものとして計算したものが實曲線、點曲線は其兩端エネルギーに對するものを示す。此結果より 7×10^9 e. v. のものが地球磁氣の影響を受けるものの大部分を占めて居る事が判る。

(1) B. Rossi : Zs. f. Phys. 68 (1931), 64.; 82 (1933), 151.

し宇宙線が電磁波であるならば、地磁氣の作用は受けぬから緯度による強度の變化は無いと考へられる。尤も宇宙線が帯電粒子であつても、それが $3 \sim 4 \times 10^{10}$ e. v. 以上のエネルギーを有する場合には、地磁氣も其運動に影響する事が出来ないで、電磁波同様に地球上至る處に到達する事が知れる。以上の話は地球大氣外の遠方より來る宇宙線の一次的主體に就ての事であつて、大氣中に發生された二次的のものに於ては、假令それが帯電粒子であつたにしても地表迄の距離が短いから、地磁氣の作用を相當受ける前に地上に到達し、従つて緯度による強度の變化には與らない。

此地磁氣緯度と宇宙線強度との關聯の有無を決定する爲めには、前記 Bothe, Kolhörster を初めとして多くの人々が極めて廣い範圍に互つて觀測に従事した。其用ひた方法は主として電離函によるものである。而して其得られた結果よりして、上記關聯の有無に就て初めは議論區々の状態にあつたが、最近に至つて遂に是が統一され斷定的の結果が得られた。而して Clay⁽¹⁾, A. H. Compton⁽²⁾ 及び其共同研究者、並に Hoerlin⁽³⁾ の結果が一般に認められて居る。今多くの人々の結果を綜合して見ると Compton の與へた第 6 圖の通である。即ち兩極より南北 50° 邊迄は強度に殆ど變化なく、それより急激に減少し赤道に於ては 50° のものより平地に於て約 14% 少い事が知られる。最近 Hoerlin の得た結果も殆ど是と一致して居る。尙 Compton 一派の研究に依れば此強度の變化は海拔 2 km では 22%, 436 km では 33% と



第 7 圖 陰陽電子のエネルギー分布

増して來る。但し其變化の曲線はよく似て居つて、矢張り南北 50° 附近より減少し始める。尤も最近の結果によれば高度が高くなると更に緯度の高い處から減り始めると云つて居る。此帯電粒子の地球磁場に於ける運動の

理論は、オーロラ説明の目的で Störmer によつて早くから研究せられて居つた。宇宙線の問題としては Epstein⁽¹⁾, Störmer⁽²⁾, Lemaitre と Vallarta⁽³⁾ が是を取扱つて居る。殊に後者は觀測結果と比較に便利な形に表はして居る。第 6 圖の實曲線は此 L-V の理論に従つて引いたもので實驗とよく一致する事が見られる。是よりして 7×10^9 e. v. 位のものが、地球磁氣の影響を受けて、50° 以上には達しても赤道には來ないものの大部分を占めて居る事が知れる。是に依て平地に於ては少くとも宇宙線の 14% のものは明に陰陽電子である事が判つた。然し残りの 86% は何であるか、是が重要な未解の問題である。物質説を採る人は是を $3 \sim 4 \times 10^{10}$ e. v. 以上のエネルギーを有する電子であると、電磁波説を信ずる人は是を電磁波と考へて居る。それは各々次に述べる様な根據を有つものであつて、其解決は及ぼす影響が大ききだけに諸方面から關心を有たれて居る。

此結果よりして實驗室内に於ても、宇宙線を強い磁場によつて彎曲せしめ得ると考へられる。此實驗は度々行はれたが色々複雑な二次作用の爲め成功しなかつた。最近に至つて Curtiss⁽⁴⁾ はこれに成功した。然しこれは恐らく宇宙線の二次電子を曲げたものであらう。

陽電子 (10 ⁹ e.v.)		陰電子 (10 ⁹ e.v.)		陽電子 (10 ⁹ e.v.)		陰電子 (10 ⁹ e.v.)		不明のもの (10 ⁹ e.v.)
K ⁽⁵⁾	A	K	A	K ⁽⁵⁾	A	K	A	
61	120	0.5	60	720	900	920	660	> 50
106	145	0.5	75	720	970	940	800	> 50
130	166	7	85	745	1000	1050	860	> 130
150	190	14	120	918	1000	1290	870	> 140
168	200	24	125	1050	1000	1600	930	> 240
246	220	27	135	1130	1150	2150	1150	> 315
290	235	35	140	1150?	1350	2660	1250	> 320
306	260	35	155	1200	1600		1300	> 450
333	270	37	230	1230	1700		1800	> 470
354	310	50	280	1240?	1900		2200	> 540
369	340	95	300	1410?	2000		2400	> 600
376	340	160	330	1430	2100		2400	> 690
382	440	330	360	1510	2200		2600	> 700
469	480	345	370	1660	2400		2700	> 720
488	530	370	480	1740	2500		3000	> 1190
570?	540	400	510	1780	2700		5000	> 1840
570	590	505	540	1780	2700			> 2300
643	640	585?	540	1830	2700			> 2380
676	750	700	570	2520				> 2460
676	770	750	600	2660				> 3500
686	880	820?	600					> 9200

第 1 表 宇宙線陰陽電子のエネルギー

K = Kunze, A = Anderson

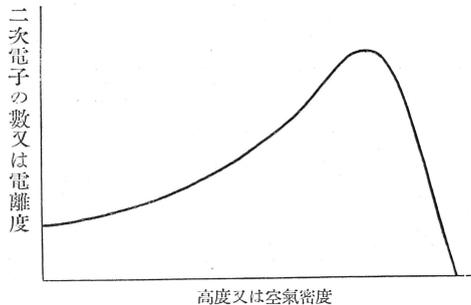
- (1) P. S. Epstein: Proc. Nat. Acad. Sci. **16** (1930), 658.
- (2) C. Störmer: Erg. d. Kosm. Phys. **1** (1932), 1.
- (3) G. Lemaitre and M. S. Vallarta: Phys. Rev. **43** (1933), 87.
- (4) L. F. Curtiss: Journ. Bur. of Stand. **9** (1932), 815.
- (5) Kunze の陽子として得た値より陽電子の値に換算したもの。

(1) J. Clay; Proc. Roy. Acad. Amsterdam **30** (1927), 1115; **31** (1928), 1091; J. Clay and H. P. Berlage: Naturwiss. **20** (1932), 687; **21** (1933), 43.
 (2) A. H. Compton: Phys. Rev. **43** (1933), 387; Nature **131** (1933), 713.
 (3) H. Hoerlin: Nature **132** (1933), 61; Naturwiss. **21** (1933), 822.

Wilson-霧函による研究

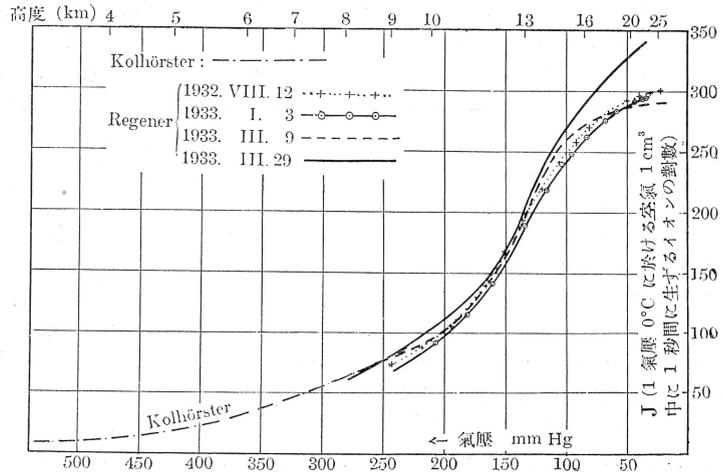
次に宇宙線本質の究明に甚大なる貢献をしたものは Wilson-霧函の方法である。是は主に Anderson⁽¹⁾, Kunze⁽²⁾, Blackett と Occhialini⁽³⁾ によつて行はれたものであつて、其結果陽電子が發見せられ⁽⁴⁾、而して宇宙線帶電粒子は殆ど凡て陰陽電子である事が明となり、且つ Anderson と Kunze との測定により其エネルギー分布が略、明瞭となつた。今其結果を示せば第 1 表の通りでこれを曲線にしたものが第 7 圖である。是を見れば一見明である様に、其大部分は 10^8 e. v. 程度のエネルギーを有し、 10^9 e. v. のものは少く、最も大きくて 9×10^9 e. v. のものが 1 個あるに過ぎぬ。此結果よりすれば前記赤道に於ける強度 86% は電磁波と見るが妥當である。何となれば電子とすれば其エネルギーは $3 \sim 4 \times 10^{10}$ e. v. 以上でなくてはならぬ。さうすると當然それは Wilson 寫眞に表はるべき筈であるが事實は上の表の様に是に反して居るからである。此點は電磁波説に都合が好い。尤も此結論は Wilson-霧函が、エネルギーの大小に拘らず、一樣な感度を以て凡ての粒子の飛跡を表はすと假定しての話である。若しエネルギーの大なるものに對する感度が悪くて、 10^{10} e. v. 以上のものの飛跡を示し得ないものであつたならば、赤道に於ける 86% も電子であつて差支へはない。

又此研究により第 4 圖に示す様に宇宙線に伴つて多くの陰陽電子が群をなして發生する事が知れた。これは電離函の方法でも Hoffmann, Steinke, Schindler など



第 8 圖 宇宙線電磁波が垂直に大氣に入射した時生ずる二次原子の數と高度との關係

(1) R. A. Millikan & C. D. Anderson: Phys. Rev. **40** (1932), 325; C. D. Anderson: Phys. Rev. **41** (1932), 405; C. D. Anderson: Phys. Rev. **43** (1933), 368, 381, 491; **44** (1933), 406.
 (2) P. Kunze: Zs. f. Phys. **79** (1932), 203; **80** (1933), 559.
 (3) P. M. S. Blackett and G. P. S. Occhialini: Proc. Roy. Soc. **139** (1933), 699.
 (4) 仁科芳雄: 科學 **3** (1933), 291; 仁科芳雄・朝永振一郎: 科學 **3** (1933), 390 及び 426 参照。



第 9 圖 Regener の成層圏に於ける宇宙線強度測定結果

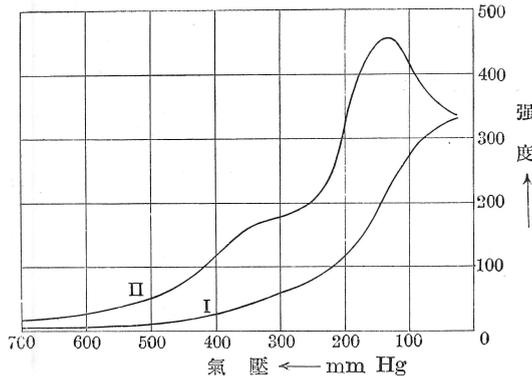
によつて觀測せられた事實である。是は如何なる現象であるか其基礎が今日全く不明であるが、或人は是を中性子の作用であると考へて居る様である。宇宙線が果して中性子を含んで居るかどうかには就ては未だ意見が一定しない。孰れにしても電子が群をなして發生するのは核内の現象と見られるものではなからうか。

宇宙線の吸収

次に他の方面からして宇宙線の一部が少くとも電磁波であるらしいといふ結論を示さう。それは前述の通り宇宙線を電磁波と考へ、それが垂直に大氣に入る時發生する二次高速度電子の數、從つて宇宙線の電離度が高度(又は氣壓)と共に如何に變るかといふ事である。今是を曲線に示せば第 8 圖の通りであつて、二次電子の數は大氣の上端で零で降るに従ひ漸次増加し、最大の點を経てそれから下は指數函数的に減少する。最大の電離度を示す高度は、宇宙線の透過力が大きい程低い方に移る。而して此最大點以下の高度に於ては、一次宇宙線と二次電子とは既述の様に平衡状態に達し常に一定の比を保つて居る。若し一次宇宙線が初めから帶電粒子であつたならば、電離度は大氣の上端から減少するだけであつて、上述の曲線の様な山は出來ない。

Regener は宇宙線の電離度を廣い範圍に測定した。即ち深さは Bcdensee の湖水面下 230 m 餘迄⁽¹⁾、高さは地上 25~26 km⁽²⁾ (氣壓 17.6 mm Hg 即ち 760 mm Hg の 2%) 迄も自動測定器に依つて電離度を求めた。今其結果を示せば第 9 圖の通りである。此曲線を見ると第 8

(1) E. Regener: Naturwiss. **17** (1929), 184; Zs. f. Phys. **74** (1932), 433; Phys. Zeit. **34** (1933), 306.
 (2) E. Regener: Naturwiss. **20** (1932), 695; Phys. Zeit. **34** (1933), 306; Phys. Zeit. **34** (1933), 820; Phys. Zeit. **34** (1933), 880.



第 10 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

圖とは全く性状を異にして居つて山がなく、是からすると宇宙線は帯電粒子であるとの結論を得る様であるが、よく考へて見ると、第 8 圖は宇宙線が上から垂直に降つて來た曲線であるが、事實は左様でなく大氣外の空間の一點に於ては、宇宙線は孰れの方よりも同じ強度を以て到達して居ると考へられるから、第 9 圖の實驗結果を直ちに第 8 圖と比較して宇宙線の本質を云々する事は出來ない。先づ實驗結果より宇宙線が垂直に來た場合の電離に直してそれを比較する必要がある。Gross⁽¹⁾は斯様にして Regener の結果より第 10 圖の上の曲線を得た。是を見ると明に電離度最高の山が現はれて來る。此結果よりして少くとも一次宇宙線の一部は電磁波であると云へる。

尙 Lenz⁽²⁾は Regener の測定結果を分析して、宇宙線

成分	μ/ρ (in $10^{-3}\text{cm}^2/\text{g}$)	測定物質
H ₁	0.79	水中
H ₂	0.21	"
M	~2	空氣中
W ₁	4.6	"
W ₂	9.6	"

第 2 表

に次の 5 種の質量吸收係數を有つ成分を見出した。是によつて見るも既述の通り H₁, H₂ の成分は透過力が

大であつて、平地では未だ二次電子と平衡状態に達して居ない事が判る。

方向の非對稱性

最後に宇宙線の本質に関する研究に Geiger-Müller の計數管を用ひて、宇宙線粒子の來る方向觀測を行つたものを述べる。L-V の理論によれば第 6 圖の曲線に於て、其傾斜の大なる所に相應する地點に於ては、子午面に對して東から來るものは主として負電氣を帯びた粒子であつて、西から來るものは主に正の電氣を帯びたものであ

る事が判れる。此東西成分の非對稱の有無を吟味する事は非常に重要であつて、Johnson 並に其共同研究者は第 2 圖に示した Geiger-Müller の計數管を用ひる方向探知器を以て、Mt. Washington⁽¹⁾ (地磁氣緯度 57°, 海拔 1.9 km), Mexico City⁽²⁾ (地磁氣緯度 29°, 海拔 2.25 km) 及び Swarthmore⁽³⁾ (地磁氣緯度 51°, 平地) に於て是を測定した處、Mexico City に於ては垂直より 65° の角に於て、西の方から來るものが東の方から來るものより 25% 多く、Swarthmore では垂直より 30° の角に於て、矢張西から來るものが 3% 多い事を知つた。これよりして宇宙線粒子としては陽電子の方が多し事が判れる。Alvarez と Compton⁽⁴⁾ も Mexico City で同様の結果を得た。第 1 表に於て陽電子の方が陰電子より多し様に見えるのは或はこれと關聯して居るのかも知れない。而して Johnson は更に此結果を Clay, Compton の緯度による強度の變化と結び合せて正と負との粒子の數の比を求めて居る。それによれば 5×10^9 e. v. より 2×10^{10} e. v. の間の帯電粒子は、殆ど全部陽電子であるといふ。又赤道に於ても東西の非對稱がある事から推して、從來考へられたよりも大なるエネルギーの粒子の存在が判ると云つて居る。其後 Rossi⁽⁵⁾ は東アフリカの Asmara (地磁氣緯度 11°30', 海拔 2.37 km) に於て同様に方向の非對稱性を測定して、矢張り陽粒子の多いといふ事を示して居る。而して理論と照し合せて $1.1 \sim 2.3 \times 10^{10}$ e. v. のエネルギーを有する陽粒子の澤山ある事、從つて宇宙線は主として帯電粒子より成り、其エネルギーは連續的スペクトルを示して甚大なる値を有するといふ、前に得た結論⁽⁶⁾ を確かめ得たと云つて居る。然し又其幾分は確に電磁波をも含んで居る事、且つ陰粒子も存在する事を實驗結果から歸納して居る⁽⁷⁾。此結果よりすれば斯様に大きなエネルギーのものが當然 Wilson-霧函にも表はれるべきであるが、それが見えないのは或は前述の様に霧函の缺陷によるのかも知れない。上述により明な通り宇宙線の本質に關する實驗結果には尙互に矛盾する點がある。是は當然一掃せられねばならぬ。孰れにしても少くとも其一部は陰陽電子即ち物質であり、又他の一部は電磁波でもある様である。其大部分が孰れに屬するかといふ事が重要な問題であつて、其解決は將來の研究に俟たなければならぬ。或は兩者の混合である爲に其闡明を困難ならしめるのかも知れない⁽⁸⁾。

(1) B. Gross : Zs. f. Phys. **83** (1933), 214.
(2) E. Lenz : Zs. f. Phys. **83** (1933), 194.

(1) T. H. Johnson : Journ. Frank. Inst. **214** (1932), 689; T. H. Johnson : Phys. Rev. **43** (1933), 381, 385.
(2) T. H. Johnson : Phys. Rev. **43** (1933), 1059A; **43** (1933), 834.
(3) T. H. Johnson and E. C. Stevenson : Phys. Rev. **44** (1933), 125.
(4) L. Alvarez and A. H. Compton : Phys. Rev. **44** (1933), 835.
(5) B. Rossi : Phys. Rev. **45** (1934), 212.
(6) B. Rossi : Zs. f. Phys. **82** (1933), 151.
(7) S. de Benedetti : Phys. Rev. **42** (1934), 参照.
(8) 仁科芳雄, 科學 **3** (1933), 138 参照.