

綜合講演

中間子に就て

湯川 秀 樹

本文は今春文化勳章を拜授された、京都帝國大學教授兼東京帝國大學教授湯川秀樹博士が昭和十八年六月十二日京都帝國大學化學研究所講演會にて講演されたものを速記し、同教授の許可を得て此處に載せたものである。

1. 原子核に就て

私は中間子とは一體どういふものであるか、それがどうして見つけ出されたものであるか、さう云ふものが此の自然界に存在して居ると云ふことは一體どう云ふ意味を持つて居るものであるか、これ等の點に就きまして出来るだけ簡単に、さうして出来るだけ平易にお話を致したいと存じます。それには先づ、皆さんも能く御承知のことではありますが、物質の構造に就きまして大體復習をして置く必要があると思ひます。

物質は總て原子から出來て居ると云ふことは皆さんもよく御承知の通りであります。原子は勿論元素の種類だけあるのでありまして、其の原子は更に電子と原子核とに分けられる。之も恐らく大多數の方は御承知のことであらうと思ひます。電子と申しますのは陰電氣を持つて居て、非常に軽いものであります。質量は僅かに 10^{-27} 瓦に過ぎません。あらゆる物質の中に、原子の種類に拘らず、必ず同じ電子が見出されるのであります。所が原子核はそれぞれの原子に依りまして種類が違つて居ります。是は陽電氣を持つて居ります。電子は $-e$ と云ふ電氣を持つて居りまして靜電單位で表はすと、

$$-4.8 \times 10^{-10}$$

であります。原子核は同じ大きさの陽電氣 $+e$ の整数倍、即ち $+Ze$ なる電氣を持つて居ります。こゝに Z は整数でありまして、吾々はこれを原子番號と呼んで居ります。例へば一番目の元素である水素の原子番號は 1、ヘリウムが 2、ウランが 92 であります。即ち元素の順番は原子核の持つて居ります電氣が、單位 e の何倍であるかによつて定まるのでございます。次に原子核の持つて居ります質量はやはり元素に依つて違ひます。 Z が多くなるに従ひまして大體として質量も大きくなつて行きます。水素の原子核の質量を一としますと、ヘリウムの原子核の質量は大體其の四倍であります。但しきちつと四倍ではなくて、それより少し小さいのであります。他のどの原子核を取つて見ましても整数より少し小さくなつてゐます。この僅かなはしたを除けた將數を質量數 A と云つて居ります。原子核は原子番號と質量數とを以て區別が出来るのでありまして、水素の質量數を 1 としますとヘリウムの質量數は 4、ウランになりますと 238 といふ大きな數であります。兎に角元素によつて原子核が違ふのですから、元素を區別する根源は原子核にあるといふことが出來ます。所で更に細かくいへば、化學で云つて居ります元素といふのは原子核の電氣量に關係する數 Z だけできまつて了ふものであります。原子核の質量の方が違つてゐる場合には、化學的に大變よく似た所謂「同位元素」となるのであります。例へば通常の水素に對して、重水素と呼んで居るものがあります。重水素

は化學的にも物理的にも通常の水素と性質が違つて居ります。その原子を見ますと、電子の數や配列は同じでありますが、原子核の方の質量が普通の水素の原子核の質量の倍になつて居るのであります。吾々が日常觀察を致し、又實驗室内で取扱つて居ります現象は、物理的現象にしましても化學的現象にしましてもそれは大部分電子が直接關係して居るのでありまして、原子の中に電子がどう云ふ風に結びついて居るか、或はそれから離れるか、或は原子が集つてどう云ふ分子を形づくるか、さう云ふことに關聯した現象でありまして、原子核自身の構造とか變化とかに關係して居る現象といふものは餘り見當らないのであります。

原子核と云ふものは極く例外な場合を除きますと、非常に安定なものでありまして、之を外から壊し其の性質を變へると云ふことは容易ではありませぬ。中世紀以來煉金術といふものが盛んでありまして元素を變へると云ふことが色々企てられたのでありますが、それは實際に元素を變へたものではありません。色々な化學變化を起し、原子を集めたり離したりしただけであります。原子核自身には何等の變化もなかつたのであります。原子核が實際壊されるやうになつたのは極く最近のことです。一體この自然界で、原子核が直接關係して居る現象として吾々が知つて居りますのは、放射能と云はれる現象でありまして、是は皆さんも御承知のやうにラヂウム其他放射能を持つたものから色々な放射線が出て来る、それは詰りラヂウムなどの原子核が壊れ、それがアルファ線、ベータ線、ガンマ線を出しまして外の種類の原子核に變つて行く現象なのであります。自然界には既に原子核自身が壊れ元素が轉換すると云ふ現象が起つて居るのであります。併し吾々が人工的にさう云ふことを起さうと思ひましても容易なことではありませぬ。放射能と云ふ現象を外から影響によつて遅めたり速めたりしようとしても容易には出来ませぬ。溫度を變へても化學反應を起さしても放射能には全然變化はありませぬ。實際原子核を壊さうとしましても、それには非常に大きなエネルギーを要するのでありまして、例へば放射能を持つたものから出ますアルファ線の如き特殊なものが必要であります。アルファ線の本体は御承知のやうにヘリウムの原子核でありまして、高速度、數百萬ヴォルトの電壓に相當する高速度を持つて走つて居るのであります。それを色々な元素に當てますと、その原子核が壊れるのであります。吾々はアルファ線の様に天然に存在して居りますものを使ふ代りに、例へば水素の原子核一之を吾々は普通陽子と呼んで居りますが一數十萬ヴォルトといふ高電壓を掛けまして色々原子核に當てますと、これが壊れるのであります。ですから今日では吾々は原子核を壊すことに依りまして人工的に元素を換へると云ふことに成功して居ると申してよいのであります。併し、それには非常に大きなエネルギーの放射線を使はなければならぬ。通常の條件の下では原子核といふものは非常に安定なものだと云ふことには變りはないのであります。

いづれにしましても、原子核の種類は澤山あります。Z の違ふものだけで 92 種類あり、更にその中に質量の違ふものがあります。従つて全部で 500 種類或はそれ以上にも上つて居るのであります。

然らばかう云ふ澤山の種類の原子核がお互ひに全然別のものであるかと云ひますと、吾々はさう云ふ風には考へないのであります。更にさういふもの全體に共通のものがあると考へるのであります。何故かといひますと、原子核が壊れます際には、屢々陽子や中性子が出て参ります。そこでこれ等のものがすべての原子核に共通な要素であらうと推定致して居るのであります。その中で陽子の方は陽電氣を持つて居ますが、中性子は電氣を持つて居りませぬ。

目方はどちらも大體似たものでありまして、電子の目方を單位に取りますと、凡そその 1840 何倍と云ふ位のものであります。ですから物質の目方といふものは總て原子核の目方、原子核の中にあります陽子や中性子の目方でありまして、電子の方は目方には殆んど関係ないのであります。原子核といふものはこの陽子と中性子とが幾つか寄つて出来て居ると考へるのであります。例へばヘリウムの原子核、即ちアルファ粒子は陽子が二箇、中性子が二箇寄つて出来て居ると考へられるのであります。

今申しました様に、此の中性子と申しますものは原子核を色々な方法で壊しました際に、一例へばアルファ線をあてて壊しました際に一出て来る放射線でありまして、電氣を持つて居りませぬ爲に非常に貫通力が強い、色々な物質をドンドン貫通し、更に原子核の中までも這入つて行きまして、それを壊しますので、原子核を壊すのにこれが又、非常に有力な武器になつて来るのであります。併し中性子といふものは、出来ましても早晩いつれかの原子核に掴まへられてなくなりますので、吾々は今までかういふものがあると云ふことに氣がつかなかつたのであります。

2. 核力に就て

さう致しますと、次に問題になつて参りますのは、原子核の中には陽子とか中性子とか、かういふものがありまして、それが集つて一つの原子核と云ふ非常に安定なものを作るといふことは、どうして可能であるか、それを吾々はどう云ふ風に解釋すればよいかと云ふ問題であります。

吾々は今まで原子と云ふものが既に比較的安定なものであることを知つて居ります。比較的安定と云ふ意味は原子核と電子とが相當強い力を以て結び付けられて居ると云ふことであります。其の力の原因はどういふものであるか、是は以前から能く分つて居るのであります。電子の方は陰電氣を持つて居りますし、原子核は陽電氣を持つて居りますから、それ等の電氣量の積の大きさに比例し、距離の二乗に逆比例する力に依つて結び付けられて居る。極大雑把に云つて、原子の中では原子核が中心にありまして、其の周りを幾つかの電子が、丁度太陽の周りを遊星が周るやうに周つて居ると考へます。そして電子が何時までも原子核から離れずに周つて居ると云ふのは電氣的引力に依るものと考へられます。

所で原子核の中の陽子や中性子も失張り何等かの力に依つて結び付いて居る筈であります。それを核の中で働く力といふ意味で「核力」と申すことにしますが、それが如何なるものであるかを理解しますには先づ少し違つた方面のことを考へて置かないといけないのであります。

今まで申しましたのは物質の成り立ちでありまして、物といふものは分けて行けば電子となり原子核となり、それは更に陽子と中性子から成立つて居たのでありますが、他方に於きまして、自然界の色々な變化といふものは、種々のエネルギーの變遷と云ふ風に考へられます。仕事は熱に變る、或はそれが電氣に變ると云ふ風な場合に仕事には仕事のエネルギーがある、又熱には熱のエネルギーがある、電氣には電氣のエネルギーがあるのでありまして、エネルギーの形が變つて行くのであります。所で古來から物質といふものは不滅、質量と云ふものは變らない、幾ら化學反應が起りましても其の前後に於ける全體の目方には變りはないと考へられて居るのでありますが、それは非常に嚴密にいへば正しくないものでありまして、最も正確に云ひ

ますればエネルギーの方が不滅なのであります。物質の目方は少しは變るかもしれぬ、併しエネルギーは變らぬ。物質の一部がエネルギーの形になつてしまふ。さう云ふ風に今日では云はなければならない。それは詰り物質といふものには質量がありますが、質量 m には必ず mc^2 といふエネルギーが附隨してゐるのであります。 c と云ひますのは真空中を光が傳つて行く速さでありまして、それは一秒間に 30 萬キロであります。例へば電子の質量を m と致しますと、それに對應しますエネルギー mc^2 は丁度 50 萬ヴォルトに當ります。それは電子が 50 萬ヴォルトの壓で走らされた時に持つてゐる運動のエネルギーと同じ大さでありまして、電子は止つてゐてもこれだけのエネルギーを本來持つてゐるのであります。

依つてエネルギーには色々の形があります。例へばラヂオであります、電氣のエネルギーが電磁波の形で四方へ傳つて行くのであります。波長がもつと短くなりますと光のやうなものになりますが、これもやはり電磁波としてエネルギーが傳つて行く一つの形であります。

所が此のエネルギーといふものも亦、物質と同じやうにやはり不連續な構造を持つて居るのであります。物質がある有限の大いさの單位から出來て居るやうに、エネルギーもそれぞれの單位を持つて居るのであります。例へば代表的なものとして光を取つて見ますと、それは澤山なエネルギーの單位の集りであります。この一つ一つのエネルギーの塊りを「光子」と呼んで居ります。是は能く知られて居りますやうに、例へば或る一定波長の光、所謂單色光を取つて見ます。その波長を λ としますと、その振動數 ν は光の速度 c を λ で割つたものになります。するとこの單色光を構成する一つ一つの光子の持つて居りますエネルギーは、 $h\nu$ であります。こゝに h は一つの常數でありましてプランクの常數といはれて居ります。是は非常に小さいものでありますが、これが自然現象の不連續性を端的に示して居るのであります。吾々が今日知つてゐる最も普遍的な常數としましては、今申しましたプランクの常數 h と光の速度 c 二つがあります。これが最も基本的な單位でありまして、あらゆる現象、あらゆるものに共通の單位と考へられるのであります。それに比べますと電子の質量とか其の他のもの、質量、或は電氣の最後的な單位 e の如きものは普通常數ではありますが、今日では未だ h や c ほどの根本的な意義を考へられないのであります。

何れにしましてもエネルギーといふものが一定の單位を持つて居る、どう云ふ形のエネルギーを持つて來ましてもそれぞれの單位から出來て居るのであります。例へば光は光子から出來て居るのでありますが、さう云ふ考へ方からしますと、先程申しました電子と原子核の間の電氣的引力の如きものも、全く違つた解釋が出来るのであります。それは電子と原子核の間には始終何かエネルギーのやり取りがある。即ち電氣的エネルギーのやり取りがある、それが結合の原因である。所が電氣的エネルギーと云ふとそれは光子の如きものの集りであると考へられる。従つて別り言葉で申しますならば、原子核と電子の間の力は要するにさう云ふ光子のやり取りに依つて生じたものであるといふことが出來ます。此の言ひ表はし方は正確ではありません、もう少し言ひ換へなければならぬのですが、大體さう了解して置いて差支へありません。

かう云ふやうな考へ方に致しますと、原子核の中で陽子とか中性子とかいふものを結び付けて居ります力、即ち核力なるものがあります以上、それに相當してやはり何かエネルギーのやり取りがある、其のエネルギーにも何か單位があると考へなければならぬのであります。所が此の場合にやり取りして居りますエネルギーの形が何であるかといひますと、それは電氣的な

もの、従つて光の如きものとは本質的に違ふものであると考へなければならぬのであります。何故かと云ひますと、中性子といふものは電氣を持つて居らないのでありますから、電氣的作用があるにしても非常に小さいものでありまして、先づ問題にならない。それとは本質的に違つた形のエネルギーのやり取りをすると考へなければならぬのであります。此の問題を更に詳しく検討します爲には核力がどんなものであるかを、詳しく吟味して見なければならぬのであります。それは茲では省略致しまして、單に其の結論だけをお話することに致します。核力といふものは中性子や陽子がお互ひに極く近くまで來ました時に初めて強く働く力であると云ふことが一般に認められて居ります。これに對して電氣的な力でありまして、距離の二乗に逆比例してゐるのであります。核力の方は非常に近くなれば強くなり、少し離れると急に弱つてしまふと云ふ性質を持つてゐます。従つて距離の二乗に逆比例するといふよりもつと強く、例へば指數函數のやうに減つて行くべきであります。距離を r としますと、力のポテンシャルは

$$\frac{e^{-\kappa r}}{r}$$

といふ様な形で減ると云ふことが豫想されるのであります。さう云ふ形のエネルギーといふものの單位は、どういふものと云ふと、それは勿論光子といふやうなものでないのであります。その單位になります粒子はある一定の質量を持つて居るものでなければならぬと云ふことがいへるのであります。光子と云ひますものは、勿論電氣を持つて居らず、質量も持つて居らないものであります。文字通りエネルギーの塊に過ぎないのであります。今度の場合さうはいかないのでありまして、どうしても或る質量を持つたものでなければいけません。其の質量を假に μ としますと、それは核力が距離と共に減つて行く割合によつて決まります。前の式の中の κ と云ふのは一つの常數であります。その逆數 $\frac{1}{\kappa}$ によつて、核力の有效距離が與へられます。それと質量 μ との間には

$$\mu = \frac{\kappa \hbar}{2\pi c}$$

といふ關係があります。そこで核力の有效距離を種々の理由によつて $\frac{1}{\kappa} = 2 \times 10^{-13}$ 極と推定致しますと、質量 μ としては電子の質量 m の凡そ 200 倍位の値が出て参ります。それが第一の結論であります。

第二の結論としましては、さう云ふ單位になつて居ります粒子、それは電氣を持つて居なければならぬと云ふことであります。何故かと申しますと、この未知の粒子をやり取り致します場合、例へば陽子であります。それが中性子に變ります。變つた時にこの粒子を出したり入れたりします。或は又中性子であれば、それが逆に陽子に變る際に、この粒子が出入致します。さう云ふ考へが正しいとしますと、 $+e$ の電氣を持つた陽子が電氣を持たない中性子に變るのでありますから、其の時に電氣を持つた粒子が出なければならぬ。例へば $+e$ を持つたもの、或は逆の場合であれば $-e$ を持つたものが出入しなければならぬ。

こんな風に推論して参りますと云ふと、吾々が今まで知らなかつた粒子、其の質量は丁度電子の質量の 200 倍位であつて、しかも $+e$ 又は $-e$ といふ電氣を持つた未知の粒子がありまして、さういふ一種の膠着劑に依りましては原子核といふものが、吾々が此の自然界に見て居りますやうに安定さを持つて居るのである。かう云ふ風に考へられるのであります。

所でさう云ふ風なものがあると致しましても、吾々はさういふものの存在を知らなかつたのであります。多くの物理學者が實驗室内で色んな實驗をして來たのであります。さう云ふ風な電子の200倍、一詰り陽子其他の原子核よりずつと軽く、しかも電子よりずつと重い—と云ふ中間的質量を持つた帶電粒子の存在の豫想さへもして居なかつたのであります。其の理由といふものは色々考へられるのであります。其の理由の一つとしましては、さう云ふものを作り出すと云ふことが容易でないと云ふのがその一つであります。既に述べました通り質量 m は mc^2 といふエネルギーを必ず伴つてゐるのであります。でありますから逆に m といふ質量の粒子を作り出すには mc^2 かう云ふエネルギーをそこへ與へなければならぬ譯であります。

先程申しましたやうに電子の場合でありますと約50萬ヴォルトに相當するエネルギーを與へれば電子を拵へることが出來ます。事實電子は實驗室内で作り出すことは出來ます。所がもつと重い、吾々が今度新しく想像して居りますやうな、さう云ふ粒子を作り出すには、電子の200倍のエネルギーが要る譯であります。従つて1億ヴォルトの電壓をかけることが出來れば、初めてさういふものを作り出せるのであります。所が残念ながら吾々は今日まで實驗室内で1億ヴォルトと云ふ高壓をかけることには成功して居りませぬ。さう云ふ意味からかういふものは容易には出來ないことが了解されるのです。其の反而に於きまして、假りにかういふものが何かの方法で出來たとしましても、それは直ぐになくなつてしまふと云ふことが推論されるのであります。其の爲に尙更見つけにくいのである。どうしてなくなるかといふ經過のことを詳しくお話しますと又長くなりますので、結論だけを申し上げますと、さう云ふ粒子は電子に變つてしまふのであります。電子だけでないのであります。もう一つ其の相手として中性微子といふものがありまして、かういふものと電子と二つに分れ自分はなくなつてしまふ、と推論されるのであります。どうしてさう云ふことが推定されるかと云ふやうなことを申し上げますには更に放射能の現象、特にベータ線に關する現象を論じなければなりません。それは少し本題から離れますから省略致して置ませう。

それならば吾々はさう云ふ粒子があるといふことを單に理論的に想像するだけであります。自然界ではさういふものを認める見込がないのであるか、少くとも吾々の實驗技術が進んで來まして1億ヴォルト或はそれ以上の電壓といふものが得られるやうにならなければ、さういふものは作り出せないのであるか。又自然界のどこにも見出すことは出來ないのかと申し上げますと、さうではないのであります。そこで問題になるのは宇宙線であります。

3. 宇宙線に就て

宇宙線と云ひますのはどこから來たのか、私共にも未だ能く分りませぬですが、兎に角非常に遠方から來る放射線であります。遠方と申しましても太陽とか或は太陽系内の星とか或はもう少し遠距離の銀河系の中の星から來る、さういふものではありません。さういふものも少しはあるかもしれませぬが、大部分はもつともつと遠方、詰り吾々の知つて居ります宇宙全體から來て居るのであります。どうして來たかも分りませぬ。兎に角それは地球に近づいて來まして大氣を突きぬけて地上に到達するものであります。従つてそれは第一に非常に貫通力が強いのであります。大氣は水銀柱の76センチメートルの高さに相當する壓力を持つてゐます。水にしますと10メートルの厚さであります。さう云ふ10メートルの水を突きぬけると

云ふ放射線といふものは、非常に貫通力の強いものであります。或は更に吾々の下にあります土の中、岩石の中をもどんどん通つて行きます。例へば清水トンネルの中で観測しましてもやはり宇宙線が来て居ります。それは 1000 メーター以上の岩石の層を通つてそこへ到達して居る譯であります。非常に貫通力の強いものであると云ふことは確かであります。

此の放射線の正體は何であるかと云ひますと、兎に角是は非常にエネルギーの大きな粒子、特に其の主なものゝは電氣を持つた粒子であると云ふことは以前から分つて居りました。其のエネルギーの大きさは 1 億ヴォルトから 1000 億ヴォルト、1 兆ヴォルトにも達する非常に莫大なものであります。もつと大きなものもあるかもしれぬ。かう云ふエネルギーの大きな粒子が始終地球に降り注いで居る譯でありますから、さういふものに依りまして、吾々が今まで知らなかつた粒子は作り出され得るのであります。或は初めからあるかもしれぬ、但し前に申しました通り、吾々のさがしてゐる未知の粒子は、出来ても直ぎになくなると云ふのでありますから、初めからあるのでなくして、さう云ふ宇宙線が地球に近づき、大氣の中に進入します。其の間に此の粒子を作り出して居るのであらうと容易に想像される。實際宇宙線の中にさういふものが見つかつたのであります。それについて以下もう少し詳しく申し上げます。

宇宙線といふものを、吾々は先づ二つの部分に分けることが出来ます。それは「軟成分」と「硬成分」と云ふ二つの部分であります。吾々は宇宙線を観測します場合、例へば観測する装置のまはりや色々な厚さの鉛で囲みまして宇宙線を吸収させて見ます。鉛の厚さを少しづつ増して行きますと、最初の數極位の間に相當部分が吸収されて了ひますが、それから後はずつと吸収され方が遅いのであります。10 極位から先は少しづつは吸収されますが、吸収の仕方が少いのであります。これは割合に吸収され易い部分と吸収されない部分の二つに相當はつきり分れて居ることを示して居ると解釋が出来ます。この解釋は正しいのであります。吸収され易い部分、鉛で云ふと 10 極位で殆ど吸収される部分が軟成分、吸収されないものが硬成分と呼ばれるのであります。

そこで先づ軟成分の本體をよく調べて見ますと、是は電子であります。併し電子と云ひましても此の電子の中には通常の電子のやうに $-e$ といふ陰電氣を持つたものの外に $+e$ と云ふ陽電氣を持つたものがあります。之を吾々は「陽電子」と呼んで居るのであります。それに對して通常の電子を「陰電子」と呼んで居るのであります。ですから詳しく申しますと軟成分と云ふものは陰電子と陽電子がありまして此の兩方が交つて居るのであります。それから更に電氣を持つて居らないものとしては光子、一波長の短い電波、即ち光や X 線やガマ線よりもつと波長の短い電波一を伴つて居ます。振動數が大きいですからそれだけエネルギー $h\nu$ が大きい、この兩者が軟成分の本體であります。是は割に早く分つたのであります。

所が硬成分の正體はなかなか分らなかつたのであります。是は電子のやうに軽いものではないといふ事實が先づ見つかつたのであります。さう云ふ結論が出ました理由は、一是は少し話が元へ戻るのですが、軟成分といふものにはシャワーと云ふ現象を伴つて居ります。是は宇宙線が物質の中を通ります時に、其の途中に二次的の放射線を出すのであります。それが一つだけでなく澤山出る場合があります。例へば宇宙線の通路に鉛の板を置きますと、その下に二次的な放射線が澤山現はれます。かう云ふのをシャワーと云つて居るのであります。軟成分はかういふものを作り易いのでありまして、随つて其の爲に吸収され易くなる譯なのです。硬成分の方はそれを殆ど作らない。かう云ふことを理論的に考へますと、シャワーの起ら

ない、シャワーに依つてエネルギーを失つたりしないと云ふ原因は、是は硬成分が軟成分よりもつと重いものである。電子の様に軽いものが物質の中を通りますと、大きな速度變化を受けてその際ガムマ線を出す。これがシャワーの素であります。硬成分はもつと重いものであると推定されるのであります。吾々の知つて居るものとしては電子の次に重いのは陽子であります。そこで陽子であらうと思つて調べて見ますとさうではないのであります。陽子位重ければ當然分る筈なのであります。陽子とはつきり區別が出来る筈であります、實際はそれ程の差別がないのであります。さう云ふことから考へますと、どうしても中間の質量を持つたものでなければならぬ。かう云ふことが分つて來たのであります。

そこでそれならば どの位の質量のものであるかを定めることが問題になつて參つたのであります。それを決めますのには色々な方法があります。例へば同じエネルギーを持つて居りましても、粒子の質量によりまして電離作用が違ふと云ふことがあります。放射線一特にその中でも電氣を持つたアルファ線、ベータ線線の如きものが物質中を通過しますと、その途中にイオンを作るのであります。出来るイオンの数は、其の粒子のエネルギー或は其の速度、或は質量、さういふものに關係して居るのであります。それからして逆に質量の推定が出来るのであります。それを更に細かく言へば色々な方法がありますが、兎に角宇宙線の中の硬成分を構成して居ります所の 粒子の質量を決めると云ふ實驗が多くの人に依つて行はれたのであります。今日まで知られて居る結果の主なものを挙げますと、次の表の通りになつて居るのであります。

中間子ノ質量

實 験 者	電 荷	質 量
Street-Stevenson	-e	130 m
Brode-Starr		125 m
Ehrenfest	+e	200 m
Ruhlig-Crane	+e	(120±30) m
Williams-Pickup	+e	<800 m
	+e	(190±60) m
	+e	(160±30) m
	-e	(220±50) m
Corson-Brode	+e	250 m
Neddermeyer-Anderson	+e	240 m
Maier-Leibnitz	-e	(120±30) m
仁 科, 竹 内, 一 宮	-e	(170± 9) m
Williams-Roberts	+e	(250±70) m
Leprince-Ringuet~Gorodetzky ~Negeotte~Richard-Foy	-e	(240±20) m

是は丁度 昭和十二年から最近までの間に色々な人の得ました結果であります、其の各々の場合に就て、粒子の持つて居ります電氣と質量の兩方が分つてゐるのであります、電氣はプラスのものもあれば、マイナスのものもあります。質量は例へば電子の 130 倍位から 800 倍位に亘つて居ります。併し飛びはなれて小さいものと大きいものとかを除けますと、大體は 200 倍少し餘り、200 倍少し足らずといふやうな所が大部分であります。

でありますから、これ等の粒子が同一の質量を持つて居るか、或は色々質量の違つたものが

あるかと云ふことは、今日までこれだけの数の實驗しかないのでありますから、はつきりしたことは申上げられないのであります。併し兎に角電子の200倍程度の質量を持つたものが相當あると云ふことは確かに言はれる。さう云ふことから見まして、硬成分と云ふものゝ正體は電子と陽子の中間の質量を持つた粒子であることは先づ間違ひないのであります。そこでこれを「中間子」と呼ぶことになつたのであります。

所で吾々が平地上で觀測して居りますと、始終宇宙線が來て居りますが、其のうち三つ位が硬成分、一つが軟成分であります。三つ來ます硬成分の大部分は中間子であります。其の外に陽子も少しは交つて居りますが是は殆ど言ふに足りないのであります。

4. 素粒子に就て

そこで又元へ戻りまして、先程申して居りましたやうに、原子核が極めて安定なものとして地上に存在して居るといふ事實の根源には、ある種の力、所謂核力といふものがあるのであります。それは別の言葉でいへば、ある未知の粒子の形でエネルギーのやり取りが行はれて居ると云ふ風に考へることが出来るのであります。この未知粒子がとりも直さず宇宙線の中にあります中間子と同一物であらうと推定されるのであります。勿論確かに同じであるかどうかと云ふことを決めることは非常に問題であります。違つて居つて偶然的に質量が似て居るといふこともあり得るのであります。併し最も自然な解釋としては其の兩者は同じであると考へるべきであります。

更に此の兩者が同じものだと云ふもう一つの證據としまして、先程申しましたやうに此の中間子といふものは非常に短い時間の間になくなつてしまふ。先程申しましたやうに極く短い時間の間に、電子と中性微子とに分れてなくなつてしまふ、自分自身は消えてしまふと云ふことが推定されてゐたのであります。若しさう云ふことがありますと云ふと、かう云ふ性質が宇宙線の硬成分の性質の中に現れて來る筈であります。所が實際さう云ふ性質を硬成分は持つて居るのであります。是は色々な實驗に現れて居ります。一例を挙げますと、吾々は宇宙線といふものを平地上で觀測する、更に又どこか高い山の上に上つて行きまして觀測する、さう致しますと勿論高い山の上の方が強いのであります。それは空氣中で吸收された分量が少い爲めであります。山から平地までの間は空氣中で宇宙線の相當部分吸收されますが、そこで特に問題になりますのは硬成分であります。無論硬成分だけに就きまして觀測して見ましても山の上の方が強く、平地の方が弱い。そこで之を同じくする爲に山の上の觀測裝置の上に、丁度空氣層に相當する吸收物體を置く、それには酸素や窒素と原子番號の似たもの、例へば炭素の如きものを持つて來ると一番よい譯であります。そこで適當な厚さの石墨を置いて觀測して見ますと、どうしても兩方の強さは同じでないのであります。平地の方が未だ幾分弱いのであります。其の原因と云ふのは、普通の考へ方ではちよつと解釋がつかぬのであります。上に述べました中間子が極めて短かい壽命を持ち、出來てもやがて無くなつてしまふ爲めであると解釋すると非常に具合がよいのであります。中間子といふものは上空に出來たものでございますが、それが山上まで來ると、同じ高さで出來たものが平地まで來るとを比べて見ると、後者の方が山の高さだけの距離を餘分に通つて居りますから、それだけ長い時間かゝつて居りまして、その間に中間子の一部分がなくなつてしまふ。その爲めに平地の方が數が少いと解釋出来るのであります。そして逆に少くなる割合からしまして、中間子といふものはどの位の時間にどの位なくなるかと云ふことが推定出来るのであります。勿論一つ一つの間中間子に就

ては壽命の長いものと短いものとあるのでありますから、吾々の計算出來ますのは平均壽命であります。所が平均壽命と云ひましても中間子のエネルギーに依つて違ふのでありまして、エネルギーが大きい程壽命が長くなります。中間子が止つて居る時に壽命が一番短いのであります。これを固有壽命と呼んで居ります。上の様な實驗から固有壽命を推定して見ますと、100 萬分の 2 秒乃至 3 秒といふ短いものとなります。この點も理論の豫想通りになつて居ります。所が更にもつと細かく比較して見ますと、實は具合の悪いことがあります。何故かといひますと理論的にはもつと小さな壽命が出て來るのでありまして、これより更に 100 分の 1 位の短い壽命となるのであります。此の喰ひ違ひの理由は未だよく分つて居りませぬ。併し兎に角定性的に豫想通りになつて居ると云ふことから、核力に伴ふ中間子と宇宙線中の中間子とは本質的に同じものだとい應考へられるのであります。

さう云ふ譯でありますから、吾々原子核といふものの構造を研究致します場合には中間子といふものを持込んで來なければ解釋が出來ない。又宇宙線を見ても、特に其の重要な部分であります硬成分といふものの本質に立至りますと、それは中間子、詰り電子と陽子との中間質量を持つたものを豫想しなければ到底解釋がつかない。

所が問題はそれで終つて居るのでないのであります。今申しましたやうに壽命を計算して見ると實際に合はない。其の外色々な問題に於て、實際と理論と必ずしも一致して居らない。寧ろ一致しない場合が多いのであります。そこでもう一度根本に立歸つて考へて見ますと、物質乃至は色々な形のエネルギーの素になつて居りますもの、いひかへれば自然界を構成して居る最後の單位が幾種類もあることを吾々は知つて居るのであります。吾々はさういふものを一括しまして「素粒子」と呼んで居るのであります。その中には電子、光子、陽子、中性子、陽電子、中性微子、中間子等様々なものがあるのであります。吾々はそれ等が永久不變なものでなく、お互同志の間で變つて行くことを知つてゐます。詰りエネルギーの形が變つて行くのでありまして、自然界に起る色々な現象はすべて素粒子間の相互關係に歸着出來ると吾々は解釋するのであります。併しそれならば、さう云ふ色々な素粒子と云ふものは例へば大きさがあるものか、ないものであるか、素粒子自身にも構造があるものかどうか、と云ふ問題になつて來ますと、是は吾々はちよつと今日では返答が出來ないのであります。吾々が今日原子乃至はそれ以下の微小なものに關した色々な現象を正確に言表はすのに量子力學と云ふ理論體系に依つて居るのであります。所が量子力學も素粒子の構造の問題には最早適用出來ない、と云ふやうに考へられるのであります。事實さういふ問題に量子力學をそのまま適用して見ますと、實際と合はない結論が出て來ますから、吾々は量子力學より更に進んだ理論を考へ出さねばならぬ、さうしなければ物質やエネルギーに關する最も本質的な問題の解決は出來ないことになつて參つたのであります。詰り素粒子といふものの理論を根本的に改良し、現在最も進歩した理論である量子力學よりも、更に進んだ理論を建設して行かなければならないのであります。さう云ふ譯でありますから、私共は最近さう云ふ一般的な問題を、主として研究して居るのであります。非常に抽象的でありまして、具體的に申上げることは困難であります上に、又現在研究中でありまして、其の結果を茲で申上げる時機には立至つて居らないのであります。兎に角中間子の研究は現在の物理學に取りまして最も重要な問題の一つであります。そしてこの問題を本當に解決するには、もつと廣い立場から素粒子の世界といふものに更に深く入つて行かねばならないのであります。

非常に簡単でお分りにくかつたかと思ひますが、私の講演はこれを以て終りと致します。

(拍手)