

2 1 電気素量、電子の性質

電子が以上述べたような種々の現象に於て見出だされるに従い、之が果して物質の根本的要素として見做さるべきものであるか、又実際にどんな場合にも単一的の電気量をもってあらわれるかと云うような重要な問題が先ず確実に決せられなければならなかった。ところが之がためには、抑も我々の取り扱う電気量なるものにそう云う性質が存在するのであるかと云う疑問が起されなければならない。云い換えれば、すべての電氣的現象が電子の如き一定の要素によって生ずるものであるならば、電気量として測られるものは常に電子の有する電気量の整数倍になっていなければならない筈であるから、果してそう云う事実が存在するかどうかと云う疑問である。

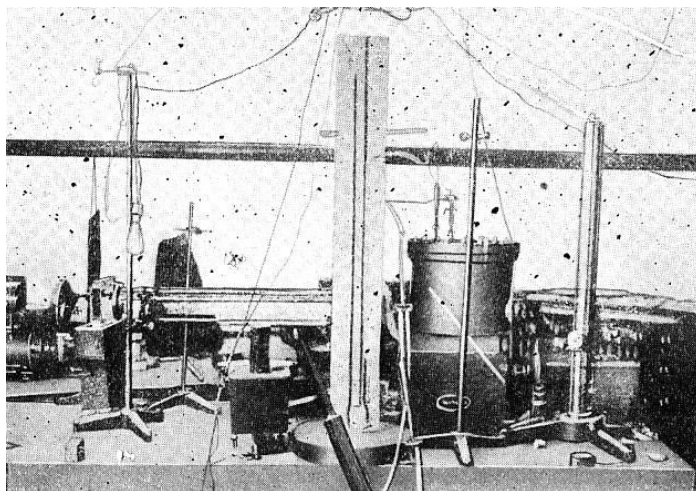
事実上の確證が見出だされるよりもずっと以前に、併しそれは一つの自然的な思想としてもあらわれたことが無いではなかった。即ち電気に対する最初の理論として、デュフェイが電気を二種の流体から成ると説いたのに対して、フランクリンが一種流体説を称えたときに、彼はこの電氣流体が粒子から成り立っていて導体のなかを自由に通り抜けるように考えたのであった。けれども当時の是等の説は固より単なる想像を云いあらわしたのに過ぎなかったので、何等の事實的根拠にも基づいたものではなかった。

だが、我々の科学はどこまでも事実に據らなければならない。しかも事実は意外な処に微妙な関係を隠している。電気量に分割されない一定の単位があると云うことも、実際偶然に、ファラディが 1833 年に発見した電氣分解の法則のなかに既に秘められてあったのである。前に説明

した通り、この法則は、すべての物質の一化学当量を析出するに要する電気量が一定であって、丁度 $9,649 \times 10^1$ に等しいことを要求するのである。ところで電気分解の現象は物質のイオンが電気を運んでそれぞれ両極に達するために起るのであるから、上の電気量は即ち 1 化学当量に相当するイオンの有するものでなければならない。1 化学当量と云うのは物質の 1 グラム中に含まれた原子の数を原子価で除したものである。それ故之はすべての一価原子が電解質中でイオンとなるとき一定の電気量をもつことを示すのであり、又二價、三價等の原子の場合にはそれぞれ 2 倍 3 倍等の電気量をもつことを意味するのである。つまりここで考えられている一定の電気量は、少なくとも電気分解の現象に於て常に単位的にあらわれるものであって、今日我々は之を電気素量と呼んでいる。

この電気素量の値を正確に見出だすためには、原子又はイオンの数を精密に知らなければならない。併し之に対しては種々の困難があったけれども、その大体の程度を知ることができさえすれば電気素量の値も略ぼ計算することができるわけである。かような計算は始めてジョンストン・ストーニー(1874年)によって試みられた。その後電子の発見と共に電気素量なるものも極めて重要な意味をもつようになったので、種々の場合にあらわれる個々のイオンの電気量を直接に測って、電気素量の値を見出だそうとする多くの実験が企てられた。イギリスのタムソン、タウンSEND、ウィルソンなどは X 線のために生ずる気体イオンについて之を測定したが、同様の目的で最も精密に行われた実験は、1909 年以後引き続いてアメリカのミリカンによってなされたものであった。彼は帯

電せる微小な超顕微鏡的油粒を電場に持ち来し、電気力によって之を上下に動かすと共に、重力の作用や空気の抵抗をも考慮に入れ、その運動の速さを観測して、之から油粒の電気量を計算し、実際に常に電気素量の整数倍に等しいことを証明した。ミリカンが1913年並びに1916年に



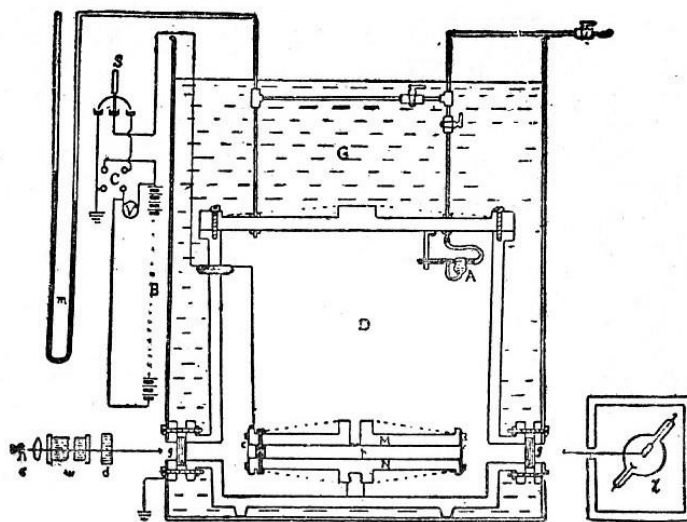
第 147 図 ミリカンの電気素量実験装置

この方法で見出だした電気素量の値は

$$e = 4,774 \times 10^{-10}$$

静電単位である。

種々の場合にあらわれる電子は常にこの電気素量に等しいだけの陰電気をもっていると考えられている。又電気量と共にそれが一定の質量



第 148 図 ミリカンの装置の説明図

A は霧吹きで之から油を吹き出させる。M、N は二枚の金属板で之に電位差を与え、M の中央の孔を通してこの間に落下する油粒を左方から照らして観測するのである。油粒は吹き出される際多少共帯電しているが尚ほ右方にある X 線管から X 線を送ってイオン化される

を有していることも考えられる。この質量を見出だすためには運動している電子に或る力を作用させて運動の変化を見ればよい。例えば陰極線粒子が真直ぐに運動しているとき之に垂直に電氣の場を加えれば、運動経路は場の方向と反対に曲げられるし、又電場の代りに磁場をはたらかせると、場と垂直に彎曲させられる。電場や磁場によって電子にはたらく力は電氣量 e に比例するものであり、一方で径路の彎曲の度は電子の惰性的質量 m に逆比例するから、実際に彎曲のための軌道偏倚を測定した結果から、我々は電氣量と質量との比 e/m を見出だすことができるわけである。この実験は 1897 年に初めてタムソンによって行われた。その後多くの人々が同様の方法で、陰極線の外に放射性物質から発する β 線や、光電氣効果及びリチャードソン効果などに於ける放出電子について之を測定し、すべて之等の場合に e/m が同一の値を有することを證明した。今日知られているその最も精密な値は、静電単位及びグラムの単位を用いて $e/m = 5,30 \times 10^{17}$ である。

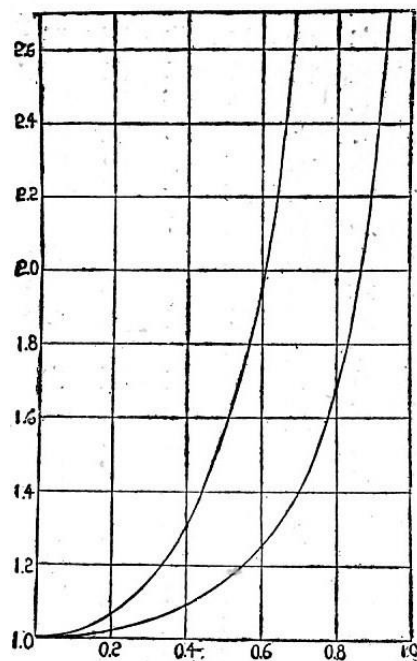
従って前に掲げた電氣素量の値を之に入れると、電子の質量は $m = 9,0 \times 10^{-28}$ グラムとして見出だされる。之を水素原子の質量 $m_H = 1,650 \times 10^{-24}$ グラムに比べれば、僅かに $1/1832$ に過ぎない。放射性物質が β 線を放出してもその原子量を変えないのは、是等の数値を見て当然であることが判るであろう。

電子の性質と關聯して、一般に帯電粒子の運動に関する理論は、最初イギリスのタムソン(1881年)及びヘヴィサイド(1889年)等によって發展された。この場合に帯電体には通常の力学に従う一定の質量が假定されたけれども、之に電氣力がはたらくに際しては電氣を有するための一

種の惰性が相伴はねばならないことが始めて明らかに主張せられた。この電気の惰性は、電気の運動に伴ってその周囲に起される磁場と一緒に運ばねばならないことに依るのであって、丁度導体内部を流れる電流に対する自己感応の現象は之と同一のものであると解せられる。かような惰性によって帯電体に帰せられねばならない一種の質量を假現的又は電磁的質量と名づけたのであった。電子の研究が盛んになるに従い、この問題は多大の理論的興味を惹起し、特に理論上からはこの電磁的質量が運動速度と共に著しく増さねばならないことが結論されたために、果して実際に電子の場合にこの事実が見出だされるかどうか、更に亦電子の全質量のうちで力学的に一定であると考えられる質量と、運動によって変化する電磁的質量とがどんな割合で存在しているかと云うようなことが、根本的に重要な問題として提出された。

この問題を精密に理論的に解いて、且つ実験と比較するがためには、電子の形態について立ち入った假定を必要とするのであった。そこでドイツのアブラハムは最も簡単な合理的假定として、電子を剛体的球体であるとし、且つその表面または実質全体に電気が一様に分布せられているとして、理論的帰結を導き出した。

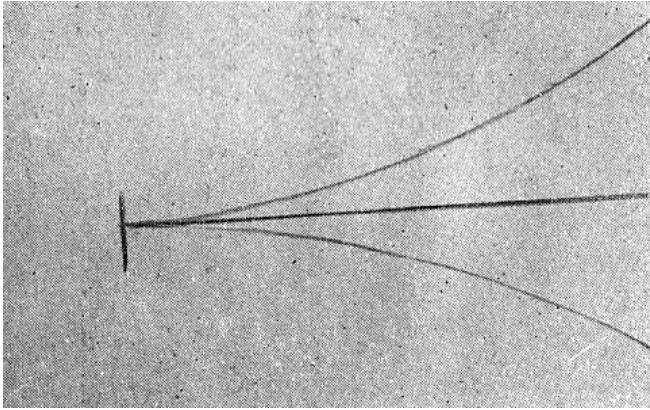
この結果は大体に於て1902年にドイツのカウフマンの実験によって



第 149 図 質量が速度
に従って増す有様

確かめられ、少なくとも電子の質量が速度と共に変ると云うことは疑いもない事実として認められるようになった。そればかりでなくアブラハムは更に実験との詳細の比較によって電子の全質量はすべて電磁的でなければならないと云うことを結論して、当時の学界に異常なる衝動を与えた。只電子の形態に関する假定としてはアブラハムの採用した処のものは一見最も簡単のようではあったが、別に運動物体の光学上の研究からして之と異なった假定の必要が論ぜられるに至った。それは即ちオランダのローレンツの提議したものであって、彼は運動せる地球上に於ける光の速度に関する実験が少しも地球の運動の影響を受けないと云う事実から、之を矛盾なしに説明するためにすべての物体が運動の方向に短縮すると云う假定を導き、従って電子も亦この性質を所有しなければならないとした。

この假定は、その後(1905年)アインシュタインによって有名な相対性理論が同じ実験的事実の上に基礎づけられるに及び、その当然の帰結として論ぜられたのであって、それ以前に(1904年)ドイツのブッヘレルが同様の短縮と同時に之と垂直の方向への膨張を假定して電子に一定体積を保たしめようとしたのは、却って理論的根拠を缺くと云わなければならなかった。そして是等の研究の一方に、電子の質量の速度による変化に対する実験は更にカウフマン(1906年)によって精密に繰返された外に、ベステルマイヤー(1907年)ブッヘレル(1908年)フプカ(1910年)ノイマン(1914年)などによって相次いで実験せられその殆んどすべての結果はローレンツ及びアインシュタインの理論と一致することを示した。



第 150 図 ベーター線が磁場で屈曲する有様

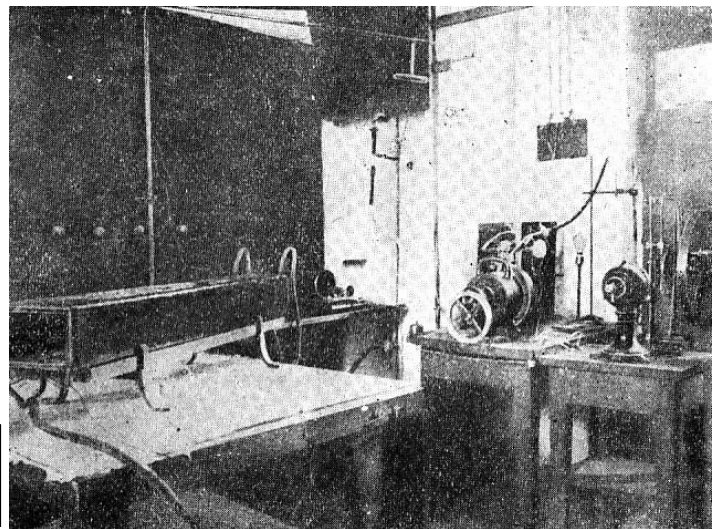
併しながら電子の質量のかような変化はそれが抑も電磁的起原のものであるための特殊な性質ではなくて、相対性理論によればすべての物体の質量が

さうでなければならな

いのであった。即ち一般

に質量及びエネルギーは速度と共に増し、光速度に至って常に無限大に達するのである。只通常の力学に於て取り扱うような速さの程度ではその変化が余りに小さいので、我々は従来力学的質量を一定と見做していたに過ぎない。そして陰極線に於ける電子のような非常に速いものに於てのみ質量の変化が実験せられたと云うまでである。尚ほ理論に従えば、一般に力が運動の方向にはたらくか、又は之と垂直の方向にはたらくかによって、惰性を異にするので、是等に相当する質量をそれぞれ縦質量及び横質量と名づける。

速度零の極限に於いては是等両質量は勿論一致した値を取るから、之を静質量と名づける。



第 151 図 ブツヘレルの実験装置