

原子

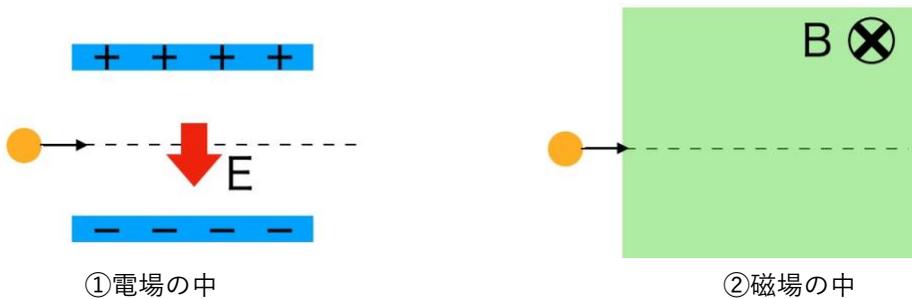
今から学ぶ原子分野は必ずワケがわからなくなります。あのアインシュタインでさえも、「この理論のことを考えていると、すばらしく頭の良い偏執症患者（他人が自分を常に批判していると考える病気）が、支離滅裂な考えを寄せ集めて作った妄想体型のように思われるのです」と述べています。

○ 陰極線

時は1850年代頃にさかのぼります。この当時は原子の大きさや質量や構造（陽子・中性子・電子からできていること）がわかりませんでした。

内部の空気を抜いて低圧状態にしたガラス管に高電圧をかけると、放電現象が起こります。気体の圧力を十分に小さくして電圧をかけると、陰極から光線が出てくることがわかりました。これを（**陰極線**）といいます（現在ではその正体が（**電子**）であるとわかっているので（**電子線**）と呼ばれています）。電子線を電場や磁場に通すと曲がることから、電子線は（**負**）に帯電していることがわかりました。

問題 陰極線を①電場の中に入射させたときと、②磁場の中に入射させたときでは、それぞれどちらに曲がりますか。軌跡を描きなさい。



① <https://youtu.be/8sCqoAYWuBA> ② <https://youtu.be/BjxJ6o9OSXk>

参考 プラズマボール <https://youtu.be/0rFzndZxF58>

・ 電子の比電荷

1897年、J.J. トムソンは電子線に様々な電場や磁界をかけて、その変位を定量的に調べました。その結果、電子の電気量 e [C]と質量 m [kg]の比 $\left(\frac{e}{m}\right)$ （**比電荷**）を求めました。

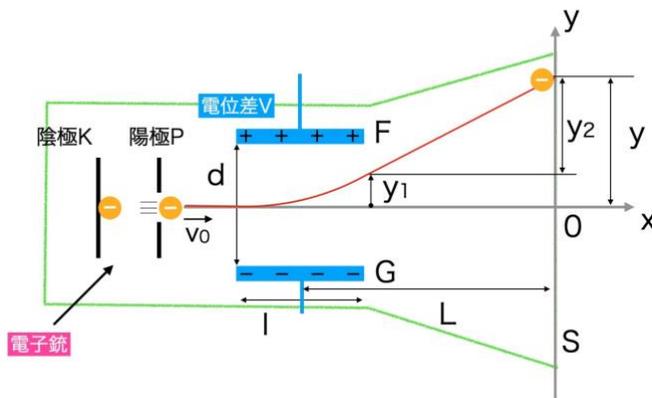


その結果、水素イオン（=陽子）の比電荷 $\left(\frac{e}{m_{陽子}}\right)$ と電子の比電荷 $\left(\frac{e}{m_{電子}}\right)$ を比べることで、

電子の質量が水素イオン（=陽子）の質量の $\frac{1}{2000}$ 倍となることを示しました。陽子や中性子よりも軽い物

質があったのです！トムソンはどのようにして比電荷を測定したのでしょうか。

・トムソンの実験



<https://youtu.be/cxHbwwjBl3Y>

問題 陰極 K を初速 0 で電子が加速され、陽極 P を初速度 v_0 で通過し、 x 方向に進みます。平行板電極 F と G の間には電位差 V によって $-y$ 方向に一樣な電場が加えられ、ここで電子は軌道を曲げられた後、さらに直進して蛍光面に当たり輝点を生じます。電気素量を e 、電子の質量を m 、電極板の間隔を d 、長さを L 、電極板の中央から蛍光面までの距離を L とします。次の各問に答えなさい。

(1) 電極 FG の間での電子の加速度の大きさ a を求めなさい。

運動方程式をたてると、 $ma = eE$ 、また電場と電位の関係より、 $E = \frac{V}{d}$ なので、

$$ma = e \frac{V}{d}$$

$$a = \frac{eV}{md}$$

(2) 電極 FG 間の端に達したときの、電子の y 座標、 y_1 を求めなさい。

等加速度直線運動の式より、

$$y_1 = \frac{1}{2}at^2 + v_0t = \frac{eV}{2md}t^2 + 0t = \frac{eV}{2md}t^2$$

また x 軸方向には力を受けないので等速直線運動をするから、

$$l = v_0t \quad \rightarrow \quad t = \frac{l}{v_0}$$

上の式に代入すると、

$$y_1 = \frac{eV}{2md} \left(\frac{l}{v_0} \right)^2$$

(3) 蛍光面に達したときの y 座標を求めなさい。

FG から出たときの速さ v_y は、

$$v_y = at = \frac{eV}{md} \frac{l}{v_0} = \frac{eVl}{mdv_0}$$

また FG から出てから、蛍光面に達するまでの時間 t' は、

$$L - \frac{l}{2} = v_0 t' \quad \text{より、} \quad t' = \frac{1}{v_0} \left(\frac{2L - l}{2} \right)$$

よって、FG から出てから蛍光面までの変位は、

$$y_2 = v_y t' = \frac{eVl}{mdv_0} \frac{1}{v_0} \left(\frac{2L - l}{2} \right) = \frac{eVl}{mdv_0^2} \left(\frac{2L - l}{2} \right)$$

$y = y_1 + y_2$ より、

$$y = \frac{eV}{2md} \left(\frac{l}{v_0} \right)^2 + \frac{eVl}{mdv_0^2} \left(\frac{2L - l}{2} \right) = \frac{eVl^2}{2mdv_0^2} + \frac{eV(2Ll - l^2)}{2mdv_0^2} = \frac{eVlL}{mdv_0^2}$$

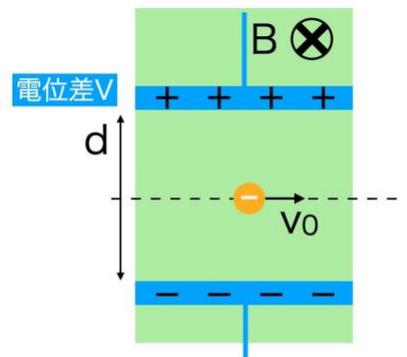
(4) (3)より、比電荷 $\frac{e}{m}$ を、 y, d, V, l, L, v_0 を使って求めなさい。

$$\frac{e}{m} = \frac{ydv_0^2}{VlL}$$

(5) ここで、 y, d, V, l, L は、実験で測定できるので、もし初速度 v_0 が測定できれば e/m を求めることができる。次に図のように電極に対して、紙面表から裏向きに磁場をかけて、電子が直進して進むように調整する。電子の速さ v_0 を V, B, d を使って求めなさい。

電場から受ける力とローレンツ力のつり合いから、

$$e \frac{V}{d} = ev_0 B \quad \rightarrow \quad v_0 = \frac{V}{Bd}$$



(6) 電子の比電荷を y, d, V, l, L, B を使って求めなさい。

$$\frac{e}{m} = \frac{yd}{VlL} \left(\frac{V}{Bd} \right)^2 = \frac{Vy}{dlLB^2}$$

実際に測定した数値を代入すると電子の比電荷は $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11}$ [C/kg] という値でした。