

【目的】

一様な磁界中で電子が円運動、またはらせん運動をすることを観察し、そのときの測定値から電子の比電荷 (e/m) を求める実験のための測定器です。

【構造】

この測定器の構造の概要を、図1に示します。

1. ヘルムホルツ・コイルは、一様な磁界を作るためのもので、2個1組の円形のコイルで構成されています。

2つのコイルに同じ向きに同じ強さの電流を流すと、コイルの間に一様な磁界が作られます。

2. 電子の比電荷測定用放電管は、ヘルムホルツ・コイルで作られた磁界中に置いて使用します。

この放電管の内部には電子銃があり、ここで加速された電子は、放電管内で円運動、またはらせん運動をします。

管内には低圧の気体が封入されているので、電子の運動の経路は気体の発光で観察、測定することができます。

3. 測定器の前面パネルには、外部電源から電流を供給するための端子と、ヘルムホルツ・コイルに流す電流調整用のつまみがあります。

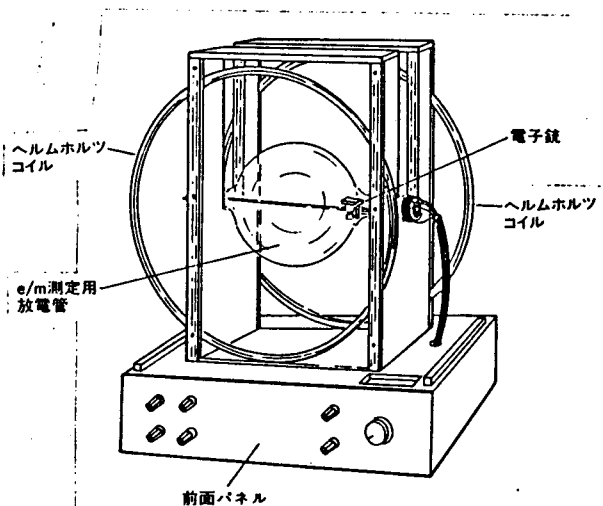


図 1

【コイルの定格】

巻数 (片側) : $N = 130$ [回]

半径 (間隔) : $R = 0.150$ [m]

【放電管の定格】

ヒーター 電圧 : 6.3V 電流 : 0.4A

最大定格 プレート電圧 : 500V (プレート電流 : 10mA)

特長

この測定器に付属してる放電管については、次のような特長があります。

- ① 封入する気体にはヘリウムを用いています。このため発光が明るく、観察、測定が容易です。

- ② 電子銃から発射され管内で運動した後の電子を、吸収するための電極を備えています。(実用新案申請中)

この電極の働きで、電子銃から出た電子は前に出た電子に妨げられずに、正しい円運動を行うことができ、その経路も鮮明になります。結果として、測定値は大きく改善され、管の寿命も長くなりました。

- ③ 電子のえがく円の直径を測定するためのスケールを管内に備えています。目盛りは電子の衝突で発光するので、測定が容易です。

【原 理】

1. 電子の加速 (電子銃)

電子銃は電子を電界で加速する部分です。

図2にその原理を示します。

陰極 (K) はヒーターによって加熱され熱電子を放出します。陽極 (P) は陰極に対して正の電圧を加え、陰極と陽極の間の電界で電子を加速します。

陰極から放出されたときの電子の速さを無視すると、陽極に V [V] の電圧を加えたとき、陽極を通過した電子の速さ v [m/s] は、エネルギー保存の法則より次のように計算されます。

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V$$

$$v = \sqrt{\frac{2 e V}{m}} \quad \dots\dots ①$$

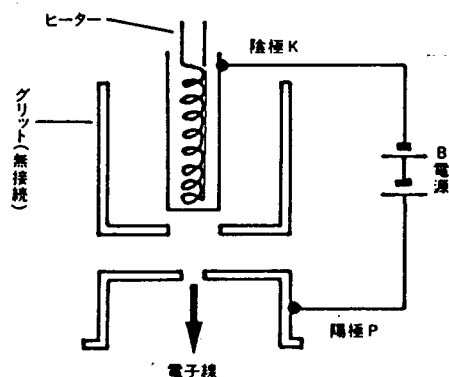


図 2 電子銃

m [kg] : 電子の質量
 e [C] : 電気素量

2. 磁界中の電子の運動

一様な磁界中に、磁界に垂直に入射された電子は、磁界に垂直な平面上で等速円運動を行います。磁界の磁束密度を B [Wb/m²]、円運動の速さを v [m/s]、円の半径を r [m] とすると、ローレンツ力が円運動の向心力となることから、次の式が得られます。

$$e v B = \frac{m v^2}{r}$$

$$e B = \frac{m v}{r} \quad \dots\dots ②$$

- ①、②の2つの式から電子の比電荷は次のようになります。

$$e/m = \frac{2 V}{r^2 B^2} \quad \dots\dots ③$$

3. ヘルムホルツ・コイル

半径の等しい2つの円形のコイルを、半径に等しい間隔で軸を共有するように平行に置き、同じ向きに同じ強さの電流を流すと、コイルの間に軸方向の一様な磁界ができることを利用します。

2つのコイルの間の磁界の強さ H [A/m] は、円の半径を R [m]、電流の強さを I [A] として、ビオ・サバーの法則より次の式で表されます。

$$H = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{I}{R} = 0.7155 \times \frac{I}{R} \quad [\text{A/m}]$$

したがって2つのコイルの巻数をそれぞれ N 回としたときは、磁界の強さは N 倍になり、真空の透磁率を $4\pi/10^7$ とするとコイルの間の磁束密度は次のようになります。

$$\begin{aligned} B &= 0.7155 \times \frac{4\pi}{10^7} \frac{NI}{R} \\ &= 8.99 \times 10^{-7} \frac{NI}{R} \quad [\text{Wb/m}^2] \end{aligned}$$

この測定器のコイルでは、 $N=130$ [回]、 $R=0.150$ [m] として、 B を求める式は次のようになります。

$$B = 7.79 \times 10^{-4} I \quad [\text{Wb/m}^2] \quad \cdots \quad \textcircled{4}$$

【実 験】

1. 準備

(1) 併用器具

- ① 電源装置 (B) (真空管用電源装置) PS-2
- ② 直流安定化電源装置 RPS-1000N または蓄電池 (6V~12V)
- ③ 直流電圧計 (500V)
- ④ 直流電流計 (2Aまで測れるもの)
- ⑤ 磁針

注. 観察のときは、③と④は必要ありません。

(2) 電源装置の接続

- ① 本体のヒーター電源端子に電圧 6.3V の電源を接続します。
(交流、直流いずれでも差し支えありません)
- ② 本体のB電源端子に出力電圧 0~500V の直流電源を接続します。
(赤色端子Pは+、黒色端子Kは-)

注. ①と②の電源はいずれも真空管用電源装置から得られます。

- ③ 本体のコイル電源端子に直流電源を接続します。
(赤色端子は+、黒色端子は-)

この電源には、なるべく直流安定化電源 (0~15V) をお使い下さい。安定化電源を用いたときは、本体のコイル電流調整のつまみは右に回し切って、可変抵抗器の抵抗値を 0 にして下さい。

この電源に蓄電池 (6V~12V) を用いるときは、コイル電流調整のつまみを左に回し切って抵抗値を最大にしておいて下さい。

2. 観察実験

(1) 電子の円運動

① 初め、B電源の電圧調整と、コイルの電源の電圧調整を最小にしておいて、電源装置の電源スイッチを入れます。

② 陰極が赤熱したら、放電管内を見ながらB電源の電圧を上げていきます。通常 200V 以下で電子線の経路の発光が見え始めます。

③ コイルの電源の電圧を上げていきます。

(電池を用いたときは、コイル電流調整のつまみを右に回していきます)

コイルに流す電流を増し磁界を強くしていくと、電子線は曲がり、円をえがくようになります。

このとき、ヘルムホルツ・コイルで作られている磁界の向きを磁針で調べ、電子に働いているローレンツ力の向きとの関係を確認することができます。

注. 電子銃の向きが正しく下に向いていないときは、次の(2)のらせん運動になります。その場合は、放電管固定ねじをゆるめて放電管を回し、電子銃の向きを直して下さい。

(2) らせん運動

放電管固定ねじをゆるめて、放電管を放電管受けの上で少し回すと、電子がらせんをえがく様子を見ることができます。放電管の向き、B電源の電圧、コイルの電流の強さ等を変えると、らせんの形が様々に変化します。

(3) 磁石の磁界中の運動

放電管に磁石を近付けると、その磁界の影響で、電子の運動は複雑に変わります。

注意

B電圧が高過ぎると、放電管の寿命が短くなりますので、必要以上にB電圧を上げないようにし、陽極の孔の付近が赤熱しない範囲でお使い下さい。

3. 測定実験

(1) 実験用具と器具の設置について

① 測定に用いる電圧計、および電流計は、電源装置に付属しているものではなく、必要とする測定精度に応じたものを使用して下さい。

- ② 地磁気等の影響をさけるため、磁針でその場所の磁界の向きを調べ、ヘルムホルツ・コイルの面が磁針に平行になるような向きに本体を設置して、コイルの軸に平行な磁界の成分が0となるようにして下さい。
- ③ 図3のように、本体の端子に電源、電圧計、電流計を接続します。

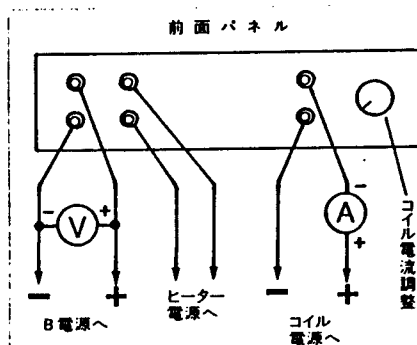


図 3 配線

注. 地磁気、建物等の磁界の影響は、電子に円運動をさせておき、装置全体の向きを変えてみると、円運動の直径が変わることで確認することができます。ヘルムホルツ・コイルに流す電流が小さいと、この影響は大きくなります。

(2) 測定

観察実験の①～③と同様にして、電子に円運動をさせます。電子の比電荷の測定は、B電源に加えている電圧(V)、コイルに流している電流(I)、およびそのとき電子のえがいている円の直径(2r)を測ります。

〔測定例〕

B電圧を 300Vとし、円の直径が 100mm になるようにコイル電流を調整して、1.48A を得た場合、③、④式に次の値を代入して、

$$V = 300\text{V}, \quad I = 1.48\text{A}, \quad r = 0.0500\text{m}$$

$$\begin{aligned} e/m &= \frac{2V}{r^2 B^2} = \frac{2V}{(r \times 7.79 \times 10^{-4} \times I)^2} \\ &= \frac{2 \times 300}{(0.05 \times 7.79 \times 10^{-4} \times 1.48)^2} = 1.81 \times 10^{11} \text{ [C/kg]} \end{aligned}$$

〔参考〕 $e/m = 1.7588 \times 10^{11} \text{ [C/kg]}$

理科年表参照