

B10-7352 電子の比電荷測定装置 EM-3N

【目 的】

一様な磁界中で電子が円運動、または螺旋（らせん）運動することを確認し、そのときの測定値から電子の比電荷（ e/m ）を求める測定器です。

【特 徴】

1. e/m 管

- ・封入されている気体はヘリウムです。このため発光が明るく、観察、測定が容易です。
- ・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装備しています。この働きで、電子銃から出た電子は直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。
- ・管内には、電子の描く円の直径を測定するためのスケールが封入されており、目盛は電子の衝突で発光するように設計されているため、測定が容易です。

2. e/m 管用専用電源

- ・ e/m 管にヒーターと陽極用の電圧を供給する電源が付属しています。このため、配線に手間がかからず、使用中に感電の危険が無く、簡単に安全に実験ができます。また、測定実験を行うときに、電子線が電源部からの磁界の影響から確実に逃れることができるように、電源部は本体とコードで連結して使用する構造となっています。測定時に地磁気の影響を考慮すると、良好な測定値を得ることができます。
- ・この電源の陽極電圧は、測定に必要な範囲を連続的に調整することができ、電圧に対する円運動の半径の関係なども詳しく調べることができます。また、電圧の値は、デジタル電圧計で表示されるので、暗い場所で正確に読み取ることができます。

【構 造】

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組の円形コイルで構成されています。二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、または螺旋（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. 測定器には e/m 管の電源用コードと、ヘルムホルツ・コイル用電源端子があります。

[コイルの定格]

巻数 (片側)	N=130 回	半径 (間隔) : R=0.150m
---------	---------	--------------------

[e/m 管の定格]

ヒーター	電源 : 6.3V	電流 : 0.4A
最大定格	陽極電圧 : 500V (陽極電流 : 10mA)	

[電 源 部]

B電源とヒーター電源は放電管に直接ソケットで接続します。コイル電源は電源部の裏側にある出力端子と本体のコイル端子をリード線で接続します。

B 電 源	: 0~500V	30mA
ヒーター電源	: 6.3V	50mA
コイル電源	: 0~15V	3 A

【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1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。

$$\frac{1}{2} m v^2 = eV$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \dots\dots ①$$

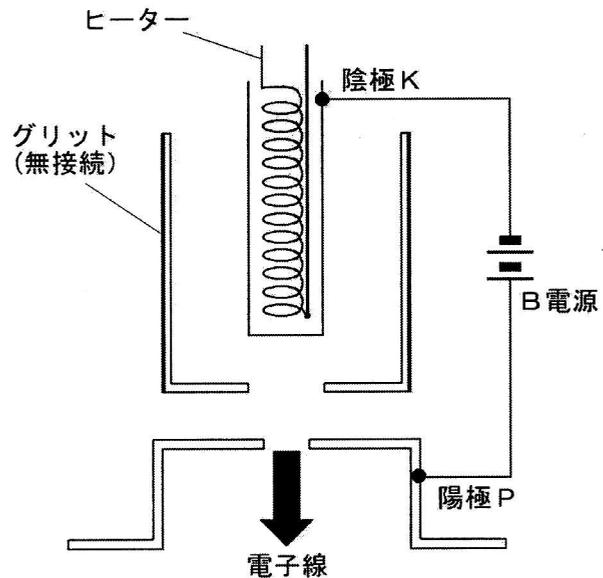


図1

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、ローレンツ力の円運動の向心力となることから、次の式が得られます。

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

①、②の二つの式から電子の比電荷は次のようになります。

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

3. ヘルムホルツ・コイル

半径の等しい二つの円形コイルを半径に等しい間隔で軸を共有するように並行に置き、同じ向きに同じ強さの電流を流すと、コイル間の軸方向の一様な磁界ができることを利用します。二つのコイル間の磁界の強さ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。

$$H = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{1}{R} = 0.7155 \times \frac{1}{R} \quad [A/m]$$

したがって、二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4π/10⁷とするとコイル間の磁束密度は次のようになります。

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

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。

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

【実 験】

1. 準 備

- ①磁針 ②リード線2本 ③精密直流電流計 ④読み取り顕微鏡

※注意：観察の時は③④は必要ありません。

2. 観察実験

(1) 電子の円運動

- ①初めは、陽極電源の電圧調整と、コイルの電源の電圧調整を最小にしてから、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、 e/m 管内を見ながらプレート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。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、円を描くようになります。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。

※注意：電子銃が正しく下に向いていないときは、次の(2)のらせん運動となります。その場合は、 e/m 管固定ねじを緩めて回し、電子銃の向きを直して下さい。

(2) らせん運動

e/m 管固定ねじを緩めて、 e/m 管を e/m 管受けの上で少し回すと、電子がらせんを描く様子を見ることができます。放電管の向き、陽極電源の電圧、コイルの電流の強さなどを変えると、らせんの形が様々に変化します。

(3) 磁石の磁界中の運動

e/m 管に磁石を近づけると、その磁界の影響で、電子の運動は複雑に変化します。

※注意：陽極電圧が高すぎると、 e/m 管の寿命が短くなりますので、必要以上に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ヘルムホルツ・コイルに流す電流を測定する電流計は、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地磁気などの影響を避けるため、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（ゼロ）となるようにして下さい。

※注意：地磁気、建物などの磁界の影響は、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、陽極電源に加えている電圧 (V)、コイルに流している電流 (I)、及び、そのとき電子の描いている円の直径 (2r) を測ります。

※注意：円の直径は、通常、読み取り顕微鏡で測定します。およその値はe/m管内のスケールで測定することができます。

【測定例】

陽極電圧を 300V とし、円の直径が 100mm になるようにコイルの電流を調整して、1.48A を得た場合、③④式に次の値を代入して、

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

$$e/m = \frac{2V}{r^2 B^2} = \frac{2V}{(r \times 7.79 \times 10^{-4} \times I)^2} = \frac{2 \times 300}{(0.05 \times 7.79 \times 10^{-4} \times 1.18)^2}$$

$$= 1.81 \times 10^{11} \quad [C/Kg]$$

【参考】 $e/m = 1.7588 \times 10^{11} [C/Kg]$ 理科年表参照

株式会社ナリカ

東京都千代田区外神田 5-3-10

TEL : 03-3833-0746

<http://www.rika.com>

2009.02