



実験の手順

- ・磁場による電子線の偏向を調べます。
- ・電場による電子線の偏向を調べます。
- ・電子の比電荷を推定します。
- ・直交電磁場により速度フィルターを形成します。

目的

電場や磁場による電子線の偏向を調べること。

まとめ

トムソン管では水平方向に照射される電子線の縦方向の偏向を、蛍光スクリーンにより観察することができます。この縦方向の偏向は、縦方向の電場や水平方向に磁場を加えることで生じます。

必要機器

品番	品名	数量
U18555	トムソンの電子線実験管・S型	1
U185002	陰極線管ホルダー・S型	1
U138021	プラグ付き安全リード線・75cm・15本セット	1
U185051	ヘルムホルツコイル・S型	1
U8498294-JP	5kV 高圧直流電源装置 (PSE 取得済)	1
別途、ご用意ください		
	直流高圧電源、500V	1
	直流電源、20V/5A	1

応用実験

- 仕様は予告なく変更されることがあります。
- 品番・品名をクリックすると製品仕様ページ (外部サイト) が開きます。

基本原理

トムソン管では電子線は水平に進み、陽極の後ろに置かれたスリットを通ることにより細いビームとなります。傾斜をつけて電子管内に配置された蛍光スクリーンに当たることで、電子線の軌跡が観察できます。スリットの後方には平板コンデンサーが置かれていて、電場を加えると縦方向に電子線を偏向させることができます。またヘルムホルツコイルを使うことで、電子線と垂直な磁場を発生させることができ、これによっても電子線を縦方向に偏向させることが可能です。

磁場 B の中を速度 v で動く電子は、次のようなローレンツ力 F を受けます。

$$(1) \quad F = -e \cdot v \times B$$

ここで e は電気素量です。速度と磁場のベクトル積なので、この力は両ベクトルの張る平面と垂直に働きます。その為、速度と磁場が水平面であれば、偏向は垂直方向に起こります (図1の左図参照)。磁場が均一で電子の速度と垂直であれば、常に同じ大きさの向心力を受け、円形の軌跡を描くことになります。この向心力の大きさは次のように書けます。

$$(2) \quad m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

ここで m は電子の質量、 r は円形軌道の半径です。電子の速度は陽極電圧に依存します。陽極電圧 U_A によるポテンシャルが全て運動エネルギーに変わるとすると、速度 v は次のように表せます。

$$(3) \quad v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A}$$

この式により磁場 B と陽極電圧 U_A が既知であれば円軌道の半径を測定することにより、電子の比電荷が求められます。(2) (3) 式により比電荷は次のようになります。

$$(4) \quad \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2}$$

偏向の半径 r は、トムソン管内のスクリーンに映った軌跡から読み取ることができます。磁場 B は2つのヘルムホルツコイルを流れる

電流 I_H から計算することができます。

他方、平板コンデンサーに電圧 U_P を印加すると、電極間に一様な電場 E が発生し、電子は次のような力を受けます。

$$(5) \quad F = -e \cdot E$$

この偏向も縦方向に起こるので、磁場による偏向と正確に打ち消し合うように電場を設定すると、次の式が成り立ちます。

$$(6) \quad e \cdot E + e \cdot v \times B = 0$$

v と B が直交しているため電子速度 v の大きさは

$$(7) \quad v = \frac{E}{B}$$

となります。

偏向を打ち消し合うように、電場・磁場を設定することを速度フィルターと呼ぶことがあります。

評価

この実験で磁場 B は、コイルの対 (ヘルムホルツコイル) で作られます。磁場 B はコイルを流れる電流 I_H に比例し、次のように計算できます。

$$(8) \quad B = k \cdot I_H$$

$$(9) \quad k = \left(\frac{4}{5}\right)^2 \cdot 4 \pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}\right] \cdot \frac{N}{R}$$

ここで R はコイルの半径で 68mm であり、 N は巻き数で 320 回巻です。電場 E は印加電圧 U_P と電極間距離 d から

$$(10) \quad E = \frac{U_P}{d}$$

と計算できます。

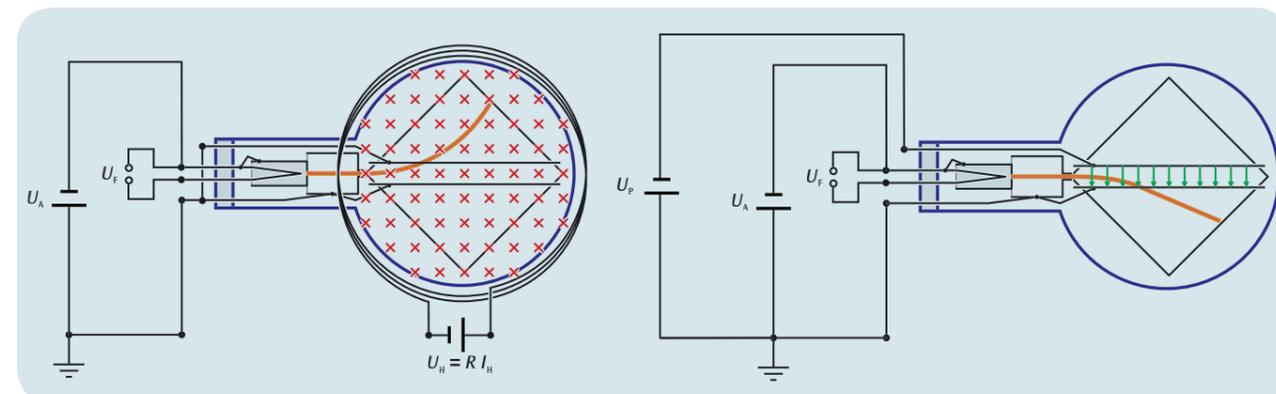


図1：磁場中のトムソン管概念図

図2：電場がかかった時のトムソン管概念図