


EXPERIMENT PROCEDURE:

- Investigate the deflection of an electron beam by a magnetic field.
- Estimate the specific charge of an electron.
- Investigate the deflection of an electron beam by an electric field.
- Construct a velocity filter using orthogonal electric and magnetic fields.

OBJECTIVE

Investigate the deflection of electrons by electric and magnetic fields.

SUMMARY

In a Thomson tube the vertical deflection of a horizontal electron beam can be observed on a fluorescent screen. Such a deflection can be generated by a vertical electric field or by a horizontal magnetic field that is perpendicular to the direction of motion in the horizontal plane.

REQUIRED APPARATUS

Quantity	Description	Number
1	Teltron™ Thomson tube	U18555
1	Teltron™ tube holder	U18500
1	Teltron™ Helmholtz pair of coils	U18505
1	High-voltage power supply, 6 kV, for 230 V AC High-voltage power supply, 6 kV, for 115 V AC	U21060-230 or U21060-115
1	DC power supply, 16 V, 5 A, for 230 V AC, e.g. DC power supply, 16 V, 5 A, for 115 V AC, e.g.	U11700-230 or U11700-115
1	Set of 15 safety patch cords, 75 cm	U13802

Additionally recommended for generating an electric field:

Quantity	Description	Number
1	DC power supply, 350 V, for 230 V AC, e.g. DC power supply, 350 V, for 115 V AC, e.g.	U210501-230 or U210501-115

Thomson Tube

BASIC PRINCIPLES

In a Thomson tube electrons pass horizontally through a slit behind the anode and impinge upon a fluorescent screen placed at an angle to the electron beam and upon which they can be observed. Beyond the slot there is a plate capacitor. The electric field between its two plates deflects the electron beam in a vertical direction. In addition Helmholtz coils can be used to create a magnetic field in a horizontal direction perpendicular to the motion of the electrons that also deflects them in a vertical direction.

An electron moving at velocity v in a direction perpendicular to a magnetic field B is subject to a Lorentz force given by

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

e : charge of an electron

The force acts in a direction orthogonal to a plane defined by the direction movement and the magnetic field. This causes the beam to be deflected vertically if the direction of motion and the magnetic field are both in the plane of the horizontal (see Fig. 1) If the direction of motion is perpendicular to a uniform magnetic field, electrons are deflected in a circular path subject to a centripetal force given by the Lorentz-force.

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

m : mass of an electron, r : radius of path.

The velocity of the electrons depends on the anode voltage U_A so that:

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

This means that measuring the radius of the path allows the specific charge of an electron to be determined as long as the homogeneous magnetic field B and the anode voltage U_A are both known. Equations (2) and (3) can be combined to give an expression for the specific charge of an electron:

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

If a voltage U_p is being applied to the plate capacitor, electrons are deflected vertically by its electric field E with a force

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

e : charge of an electron

This deflection is also vertical (see Fig. 2). The electric field can thus be adjusted in such a way that it precisely cancels out the deflection due to the magnetic field:

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

In this case it is easy to determine the velocity of each electron:

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

Such an arrangement of orthogonal electric and magnetic fields in which the deflection of the beam, is cancelled out is sometimes called a velocity filter.

EVALUATION

The magnetic field B is generated by a pair of Helmholtz coils and is proportional to the current I_H passing through each coil individually. The coefficient of proportionality k can be determined from the coil radius $R = 68 \text{ mm}$ and the number of turns in the coil $N = 320$ per coil:

$$B = k \cdot I_H \quad \text{where} \quad k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R}$$

The electric field can be calculated from the voltage U_p and the separation of plates d :

$$E = \frac{U_p}{d}$$

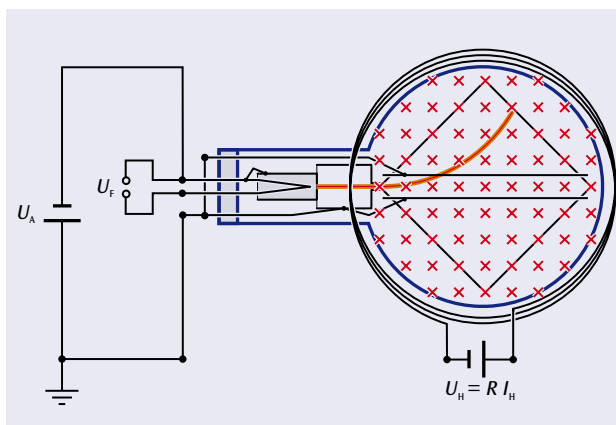


Fig. 1: Schematic of a Thomson tube in a magnetic field

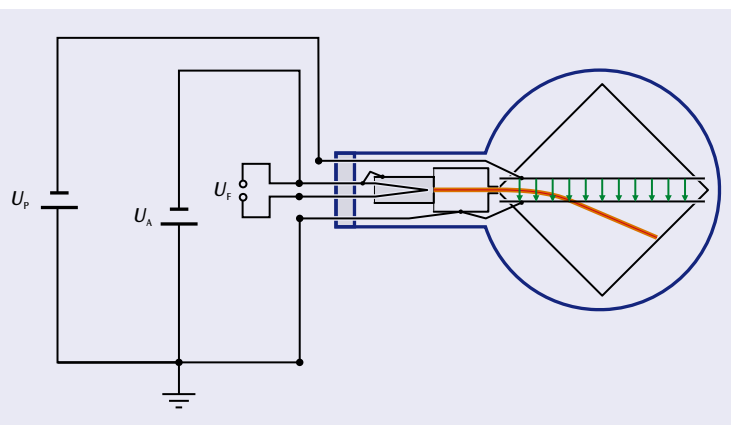


Fig. 2: Schematic of a Thomson tube in an electric field



AUFGABEN:

- **Untersuchung der Ablenkung eines Elektronenstrahls in einem magnetischen Feld.**
- **Abschätzung der spezifischen Ladung des Elektrons.**
- **Untersuchung der Ablenkung eines Elektronenstrahls in einem elektrischen Feld.**
- **Aufbau eines Geschwindigkeitsfilters aus gekreuztem elektrischem und magnetischem Feld.**

ZIEL

Untersuchung der Ablenkung von Elektronen im elektrischen und magnetischen Feld.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Thomson-Röhre wird die vertikale Ablenkung eines horizontalen Elektronenstrahls auf einem Leuchtschirm sichtbar. Die Ablenkung kann durch ein vertikales elektrisches Feld erzeugt werden oder durch ein horizontales magnetisches Feld, das in der horizontalen Ebene senkrecht zur Strahlrichtung steht

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Teltron™ Thomson-Röhre	U18555
1	Teltron™ Röhrenhalter	U18500
1	Teltron™ Helmholtz-Spulenpaar	U18505
1	Hochspannungs-Netzgerät 6 kV, für 230 V AC Hochspannungs-Netzgerät 6 kV, für 115 V AC	U21060-230 oder U21060-115
1	DC-Netzgerät 16 V, 5 A, für 230 V AC, z.B. DC-Netzgerät 16 V, 5 A, für 115 V AC, z.B.	U11700-230 oder U11700-115
1	Satz 15 Sicherheits-Experimentierkabel, 75 cm	U13802

Zusätzlich empfohlen zur Erzeugung eines elektrischen Felds:

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	DC-Netzgerät, 0-350 V DC, für 230 V AC, z.B. DC-Netzgerät, 0-350 V DC, für 115 V AC, z.B.	U210501-230 oder U210501-115

Thomson-Röhre

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In der Thomson-Röhre passieren die Elektronen in horizontaler Richtung eine Schlitzblende hinter der Anode und treffen auf eine schräg in den Strahlengang gestellten Leuchtschirm, auf dem der Strahlverlauf sichtbar wird. Hinter der Schlitzblende ist ein Plattenkondensator angebracht, in dessen vertikalem elektrischem Feld die Elektronen vertikal abgelenkt werden. Zusätzlich kann mit Helmholtzpulen ein senkrecht zur Strahlrichtung verlaufendes horizontales Magnetfeld aufgebaut werden, in dem die Elektronen ebenfalls vertikal abgelenkt werden:

Auf ein Elektron, das sich mit der Geschwindigkeit v durch ein Magnetfeld B bewegt, wirkt die Lorentz-Kraft

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

 e : Elementarladung

senkrecht zu der von der Bewegungsrichtung und dem Magnetfeld aufgespannten Ebene. Die Ablenkung erfolgt in vertikaler Richtung, wenn sowohl die Bewegungsrichtung wie auch das Magnetfeld in der horizontalen Ebene liegen (siehe Abb. 1). Steht die Bewegungsrichtung senkrecht auf dem homogenen Magnetfeld, so werden die Elektronen auf eine Kreisbahn gezwungen, deren Zentripetalkraft durch die Lorentz-Kraft gegeben ist.

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

m : Elektronenmasse, r : Kreisbahnradius.

Die Geschwindigkeit der Elektronen hängt von der Anodenspannung U_A ab. Es gilt:

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

Somit kann aus dem Kreisbahnradius die spezifische Ladung des Elektrons bestimmt werden, wenn das homogene Magnetfeld B und die Anodenspannung U_A bekannt sind. Aus (2) und (3) folgt für die spezifische Ladung des Elektrons:

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

Liegt eine Spannung U_p am Plattenkondensator an, so werden die Elektronen in dessen vertikalem elektrischem Feld E mit der Kraft

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

 e : Elementarladung

ebenfalls vertikal abgelenkt (siehe Abb. 2). Das elektrische Feld kann daher so gewählt werden, dass es die Ablenkung im magnetischen Feld gerade ausgleicht:

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

In diesem Fall kann die Geschwindigkeit der Elektronen leicht bestimmt werden. Es gilt:

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

Eine Anordnung aus gekreuztem elektrischem und magnetischem Feld, in der die Ablenkung der Elektronen zu Null kompensiert wird, wird daher als Geschwindigkeitsfilter bezeichnet.

AUSWERTUNG

Das magnetische Feld B wird in einem Helmholtz-Spulenpaar erzeugt und ist proportional zum Strom I_H durch eine einzelne Spule. Der Proportionalitätsfaktor k kann aus dem Spulenradius $R = 68 \text{ mm}$ und der Windungszahl $N = 320$ je Spule berechnet werden:

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

Das elektrische Feld lässt sich aus der Spannung U_p und dem Plattenabstand d berechnen:

$$E = \frac{U_p}{d}$$

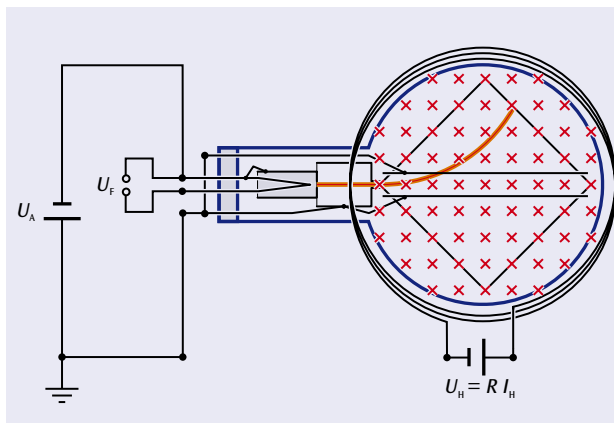


Abb. 1: Schematische Darstellung zur Thomson-Röhre im magnetischen Feld

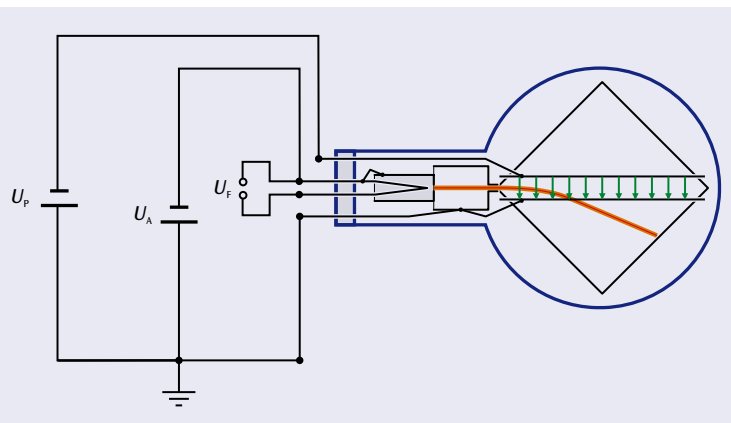


Abb. 2: Schematische Darstellung zur Thomson-Röhre im elektrischen Feld