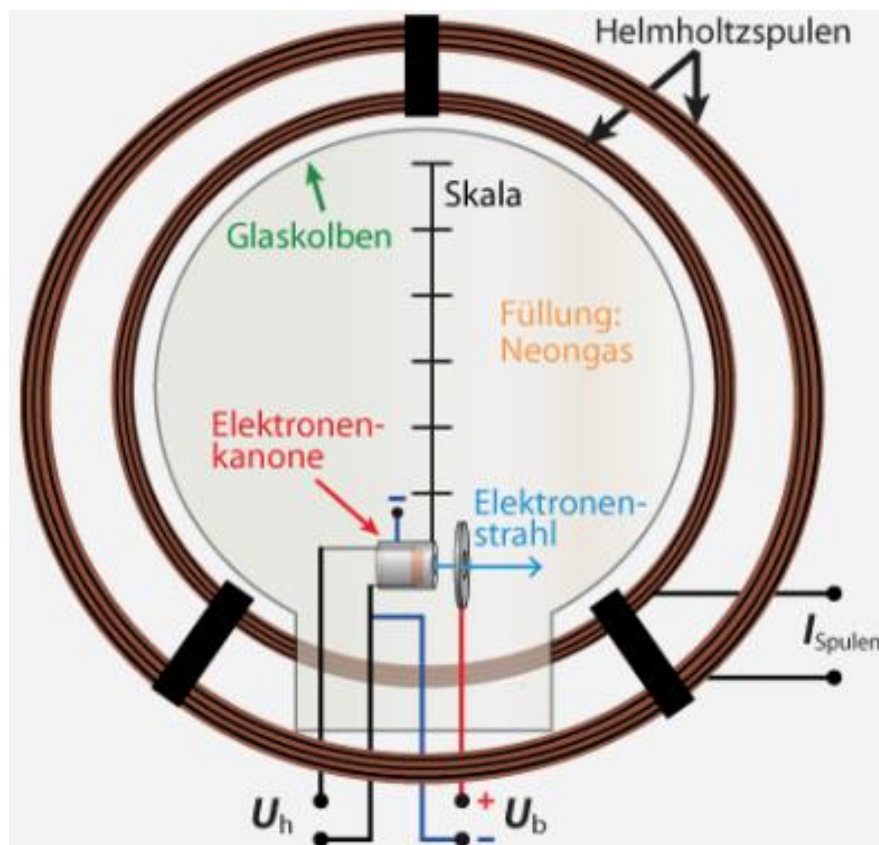
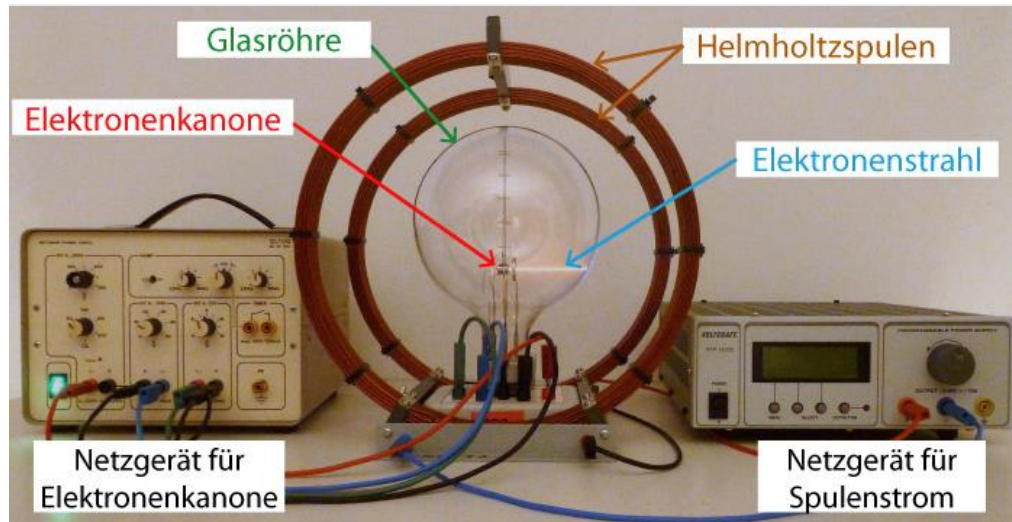
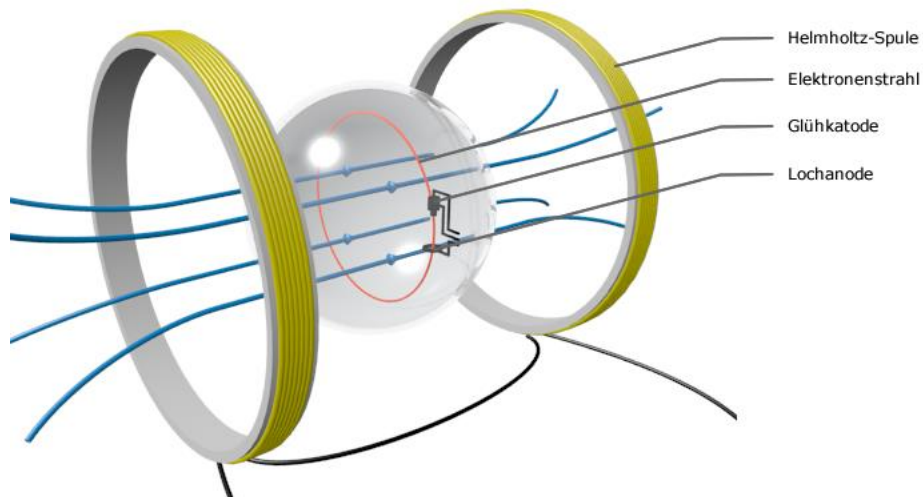


Bestimmen der Elektronenladung im B- Feld

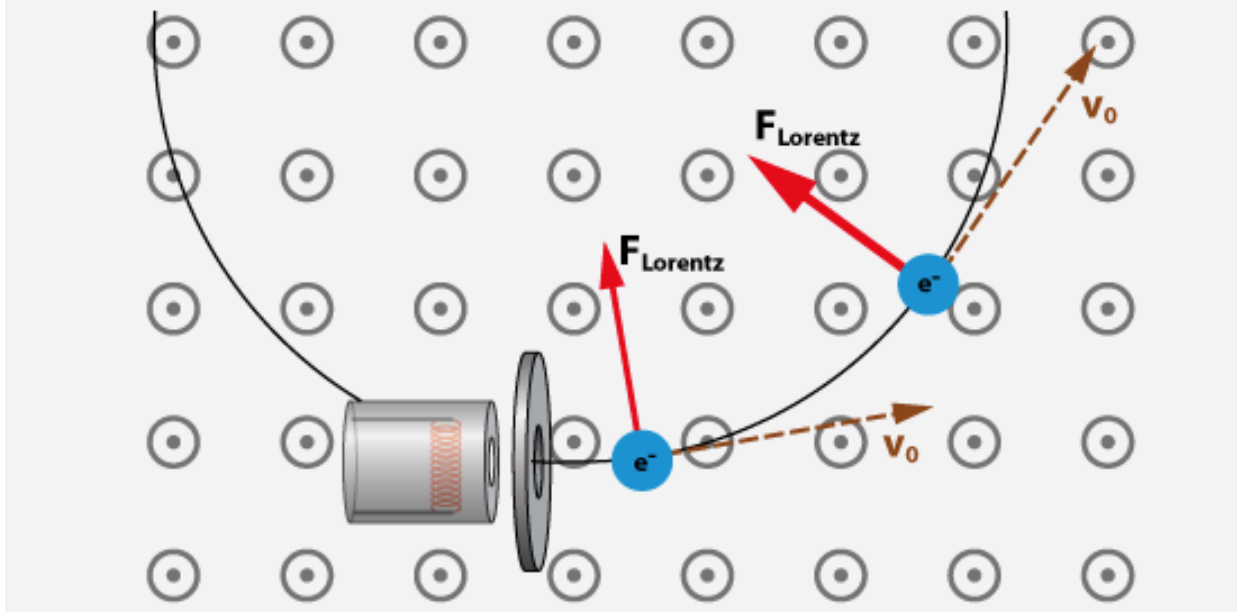
Experiment

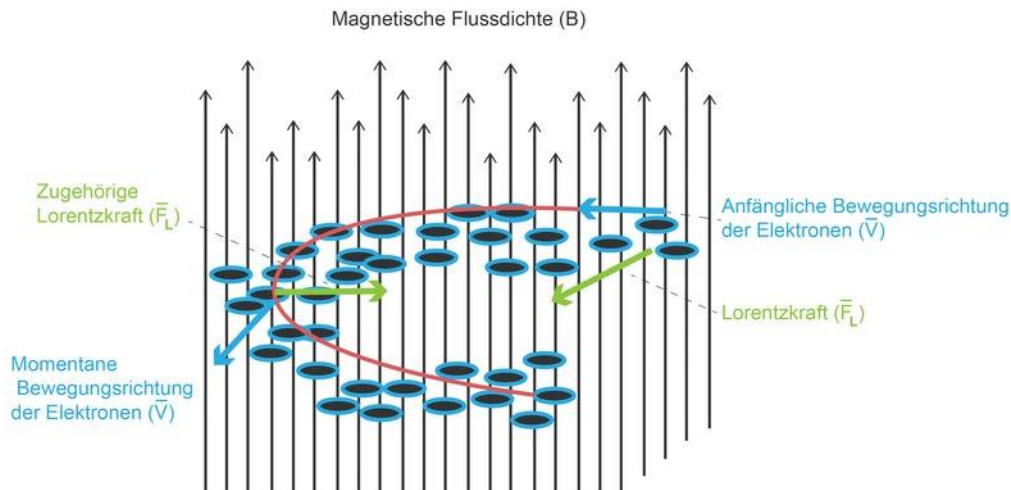




Lorentzkraft wirkt immer, wenn eine Ladung die magnetischen Feldlinien kreuzt
 -> Ladung beschreibt Kreisbewegung

Welche Kräfte sorgen für die Kreisbahn der Elektronen im Magnetfeld?





Beim Fadenstrahlrohr werden die Elektronen aus einer Glühkathode emittiert und anschließend beschleunigt. Dann dringen sie in ein Magnetfeld ein und können so auf eine Kreisbahn gezwungen werden.

Versuchsaufbau

- evakuierten Glaskolben mit Gas (z. B. Wasserstoff oder Argon) & niedriger Druck -> Elektronen sollen durch Zusammenstöße möglichst wenig abgebremst werden, die Zahl der Zusammenstöße aber zu einem sichtbaren Leuchten ausreicht
- im Kolben – Elektronenkanone (Heizspirale, Wehneltzylinder, Kathode, Lochanode)
- Kathode: Glühemission -> Elektronen treten aus,
- neg. geladener Wehneltzylinder -> Spannung verändert Anzahl der Elektronen, die das Potential überwinden können -> Intensität des Elektronenstrahles
- Elektronen werden zur positiv geladenen Anode hin beschleunigt
- durch ein Loch in der Anode verlässt ein kleiner Teil der Elektronen das System

Ergebnis

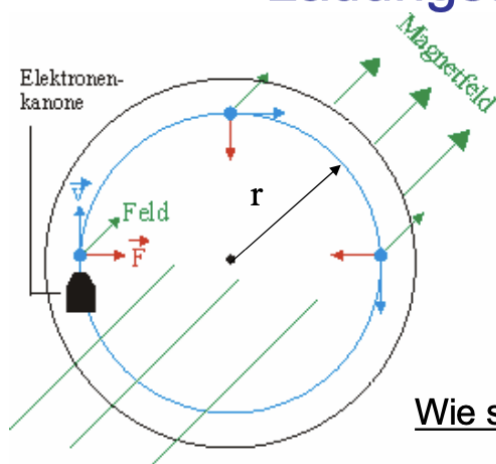
Spulenstrom wird eingeschaltet

-> *Magnetfeld zwischen den Helmholtzspulen*

-> Lorentzkraft lenkt Elektronen auf eine Kreisbahn

Das Fadenstrahlrohr zählt zu den grundlegenden Experimenten der Physik.

Ladungsträger im Magnetfeld



Elektronen emittiert und beschleunigt
Magnetfeld ein
Elektronen laufen auf einer Kreisbahn

Wie schaut Kreisbahn aus??

Kreisbahn: Zentrifugalkraft gleich Lorentzkraft

$$F_{\text{lorenz}} = F_{\text{zentrifugal}}$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$\Rightarrow r = \frac{mv}{qB} = \frac{m v}{q B}$$

Winkelgeschwindigkeit
bzw.. Kreisfrequenz ω

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{q}{m} B$$

Beschleunigung im E-Feld

Elektronen werden im elektrischen Feld zwischen Glühkathode und Lochanode beschleunigt. Dabei wird den Elektronen die elektrische Energie zugeführt und in E_{kin} umgewandelt.

Es gilt daher:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{elek}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Lorentzkraft = Zentrifugalkraft

$$\frac{mv^2}{R} = evB \Rightarrow R = \frac{mv}{eB}$$

Kreisförmige Elektronenbahn
sichtbar

$$\Rightarrow R = \frac{\sqrt{2U}}{B} \sqrt{\frac{m}{e}}$$

-> spezifische $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 \cdot r^2}$ Ladung

- Verhältnis der Ladung zur Masse
- dient zur besseren Vergleichbarkeit der Ladung einzelner Elementarteilchen oder Atomkernen

Animation

<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/versuche/fadenstrahlrohr>

Filme:

<https://www.youtube.com/watch?v=LHxGuaeHp2s>

Aufgabe

Berechnen Sie

- a) ...Geschwindigkeit der Elektronen beim Austritt aus der Elektronenkanone für $U_B=200V$ und geben Sie diese Geschwindigkeit in Prozent der Lichtgeschwindigkeit an
- b) ...Radius r des Elektronenstrahls für die Werte $U_B=200V$, $I_S=1,53A$, $N=130$ und $R=15,0cm$ (Masse eines Elektrons mit $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}kg$)
- c) ... **spezifische Ladung** des Elektrons mit $r = 4,0 cm$
- d) ... die Masse m_e des Elektrons mit $e=1,602 \cdot 10^{-19} As$

a)

Auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode wird die potenzielle Energie $E_{pot,K} = e \cdot U_B$ der Elektronen an der Kathode in kinetische Energie $E_{kin,A} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_0^2$ umgewandelt. Damit ergibt sich

$$E_{pot,K} = E_{kin,A} \Leftrightarrow e \cdot U_B = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_0^2 \Leftrightarrow v_0^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$$

Mit $e = 1,602 \cdot 10^{-19} As$ ergibt Einsetzen der gegebenen Werte

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} A \cdot s \cdot 200V}{9,1 \cdot 10^{-31} kg}} = 8,4 \cdot 10^6 \frac{m}{s} = 2,8\% \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{m}{s} = 2,8\% \cdot c$$

b)

$$F_{ZP} = F_L \Leftrightarrow m_e \cdot \frac{v_0^2}{r} = e \cdot v_0 \cdot B \Leftrightarrow r = \frac{m_e \cdot v_0}{e \cdot B}$$

$$r = \frac{m_e \cdot v_0}{e \cdot B} = \frac{m_e \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}}{e \cdot \mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R} \cdot I_S} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot m_e^2 \cdot e \cdot U_B}{e^2 \cdot m_e}}}{\mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R} \cdot I_S} = \frac{\sqrt{\frac{m_e}{e}} \cdot \sqrt{2 \cdot U_B}}{\sqrt{\frac{e}{m_e}} \cdot \mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R}} \cdot \frac{\sqrt{U_B}}{I_S}$$

$$r = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\frac{1,602 \cdot 10^{-19} As}{9,10 \cdot 10^{-31} kg}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{130}{0,150m}} \cdot \frac{\sqrt{200V}}{1,53A} = 0,040m = 4,0cm$$

c)

$$r = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{U_B}}{\sqrt{\frac{e}{m_e}} \cdot \mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R}} \cdot \frac{1}{I_S} \quad | \cdot \sqrt{\frac{e}{m_e}} | : r$$

$$\sqrt{\frac{e}{m_e}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{U_B}}{\mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R} \cdot r \cdot I_S} \quad | \text{quadrieren}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{1}{\mu_0^2 \cdot \frac{32}{125} \cdot \frac{N^2}{R^2}} \cdot \frac{U_B}{r^2 \cdot I_S^2}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{1}{(4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am})^2 \cdot \frac{32}{125} \cdot \frac{130^2}{(0,150m)^2}} \cdot \frac{200V}{(0,040m)^2 \cdot (1,53A)^2} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}$$

$$m_e = \frac{e}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} As}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}} = 9,10 \cdot 10^{-31} kg$$

d)

$$r = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{U_B}}{\sqrt{\frac{e}{m_e}} \cdot \mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R}} \cdot \frac{1}{I_S} \quad | \cdot \sqrt{\frac{e}{m_e}} | : r$$

$$\sqrt{\frac{e}{m_e}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{U_B}}{\mu_0 \cdot \frac{8}{\sqrt{5^3}} \cdot \frac{N}{R} \cdot r \cdot I_S} \quad | \text{quadrieren}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{1}{\mu_0^2 \cdot \frac{32}{125} \cdot \frac{N^2}{R^2}} \cdot \frac{U_B}{r^2 \cdot I_S^2}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{1}{(4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am})^2 \cdot \frac{32}{125} \cdot \frac{130^2}{(0,150m)^2}} \cdot \frac{200V}{(0,040m)^2 \cdot (1,53A)^2} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}$$

$$m_e = \frac{e}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} As}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}} = 9,10 \cdot 10^{-31} kg$$

d)

$$m_e = \frac{e}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} As}{1,76 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}} = 9,10 \cdot 10^{-31} kg$$