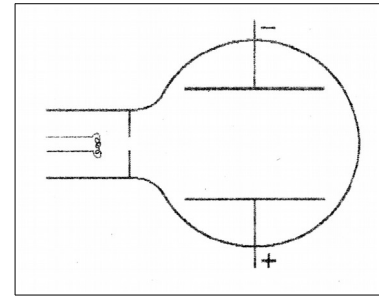


# Thema: Elektronen in magnetischen und elektrischen Feldern - mechanisches Modell

- 1 Elektronen werden von der Glühkathode aus beschleunigt und durchfliegen die Röhre in einem engen parallelen Bündel, auf dem Schirm durch streifenden Einfall sichtbar als blauer Strich. Der Elektronenstrahl kann beeinflusst werden durch ein Kondensatorfeld (siehe Skizze: Feldlinien in der Papierebene) und ein Magnetfeld (Feldlinien senkrecht zur Papierebene).



- 1.1 Beschreiben Sie, wie der Elektronenstrahl nur durch Einwirkung des elektrischen Feldes beeinflusst wird und geben Sie an, welcher mathematische Kurventyp die Bahn beschreibt.

Da die elektrischen Feldlinien senkrecht verlaufen, erfahren die Elektronen im Feld ständig eine Kraft nach unten in Richtung der positiv geladenen Platte. Die Elektronen bewegen sich also waagrecht mit konstanter Geschwindigkeit und senkrecht mit konstanter Beschleunigung. Die Bewegung ist analog zum waagrechten Wurf, der Kurventyp ist also eine Parabel.

- 1.2 Beschreiben Sie, wie der Elektronenstrahl nur durch Einwirkung des magnetischen Feldes beeinflusst wird und geben Sie an, welcher mathematische Kurventyp die Bahn beschreibt.

Im Magnetfeld erfahren die Elektronen durch die Lorentzkraft stetig eine konstante Kraft senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung. Dadurch ändert sich ihre Geschwindigkeit nicht, sie werden aber auf eine Kreisbahn gezwungen, wobei die Lorentzkraft die Zentripetalkraft ist.

- 1.3 Wie muss das Magnetfeld gerichtet sein, damit bei angelegter Kondensatorspannung (oben Minuspol, unten Pluspol) durch geeignete Wahl der magnetischen Flussdichte  $B$  der Elektronenstrahl geradlinig verläuft? Begründen Sie die Antwort.

Da die Elektronen durch das elektrische Feld nach unten abgelenkt werden, müssen sie durch das Magnetfeld auf eine Kreisbahn gegen den Uhrzeigersinn gelenkt werden, um nach oben abgelenkt zu werden. Mit Hilfe der 3-Finger-Regel findet man heraus, dass die magnetischen Feldlinien senkrecht aus der Papierebene heraus treten müssen.

- 1.4 Zeigen Sie, dass sich die Geschwindigkeit der Elektronen durch die

Beschleunigungsspannung  $U_B$  ergibt zu  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$ .

Die potentielle Energie  $E_B = e \cdot U_B$ , mit der die Elektronen beschleunigt werden, wird in kinetische Energie  $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2$  der Elektronen umgewandelt.

Es gilt also:  $E_B = E_{kin} \rightarrow e \cdot U_B = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 \rightarrow v^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$

- 1.5 Mit Hilfe der Messwerte (siehe unten) für den Fall des geradlinigen Elektronenstrahls bei vorhandenem magnetischen und elektrischen Feld kann die spezifische Ladung  $\frac{e}{m_e}$  bestimmt werden. Leiten Sie die entsprechende Formel her und berechnen Sie mit allen Messwerten den Wert von  $\frac{e}{m_e}$ .

Da für einen geradlinigen Strahlverlauf die elektrische Feldkraft  $F_E = e \cdot E$  gleich der magnetischen Feldkraft  $F_B = e \cdot v \cdot B$  sein muss, ergibt sich  $F_E = F_B \rightarrow e \cdot E = e \cdot v \cdot B \rightarrow v = \frac{E}{B} \xrightarrow{E = \frac{U_C}{d}} v = \frac{U_C}{d \cdot B}$ .

Mit dem Ergebnis aus 1.4 folgt dann

$$\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e} = \frac{U_C}{d \cdot B}} \rightarrow \frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e} = \frac{U_C^2}{d^2 \cdot B^2} \rightarrow \frac{e}{m_e} = \frac{U_C^2}{2 \cdot d^2 \cdot B^2 \cdot U_B}$$

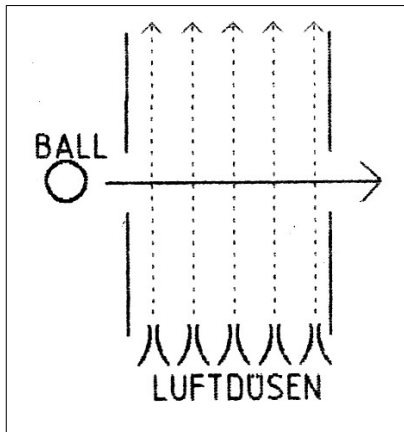
Mit den Tabellenwerten ergibt sich

$U_C$ in V	1000	1500	2000	2500	3000
$I$ in A	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38
$\frac{e}{m_e}$ in $\frac{C}{kg}$	1,6779E+11	1,7674E+11	1,8149E+11	1,7308E+11	1,7674E+11
	Mittelwert: 1,7517E+11				

- 2 Angenommen, die Elektronen durchfliegen die Röhre wie im Versuch bei 1, aber nicht nur mit der Geschwindigkeit, bei der der gerade Strahlverlauf auftritt, sondern zusätzlich auch mit kleineren und größeren Geschwindigkeiten. Erörtern Sie, wie die gemeinsam wirkenden Felder die langsamen und schnellen Elektronen beeinflussen.

Die elektrische Kraft  $F_E = e \cdot E$  ist unabhängig von der Geschwindigkeit, die magnetische Kraft  $F_B = e \cdot v \cdot B$  hängt dagegen linear von der Geschwindigkeit ab. Bei kleiner Geschwindigkeit ist also die magnetische Kraft geringer und die Elektronen werden nach unten abgelenkt. Bei großer Geschwindigkeit ist dagegen die magnetische Kraft größer und die Elektronen werden nach oben abgelenkt.

- 3 Um die Vorgänge in der Röhre bei Versuch 1 anschaulich zu machen, wird folgendes mechanische Modell vorgeschlagen:



Tennisbälle werden waagrecht in einen genügend breiten Raumbereich geschossen (z. B. in einem Windkanal, eine Röhre mit zwei einander gegenüber angebrachten Löchern, siehe Skizze), der von einem überall gleich starken Luftstrom von unten nach oben durchströmt wird. Die Geschwindigkeit der bewegten Luft ist regelbar. Von Wirbelbildung und Reibungseffekten sei abgesehen.

Erläutern Sie, in welchen Bereichen das Modell den Versuch unter 1 ggf. richtig beschreibt und in welchen Bereichen das Modell ggf. nicht richtig ist, und entscheiden Sie daraufhin, ob das Modell insgesamt geeignet ist zur Veranschaulichung des Versuchs.

Die Analogie E-Feld  $\leftrightarrow$  Gravitationsfeld stimmt, da ständig eine konstante Kraft nach unten wirkt.

Die Analogie B-Feld  $\leftrightarrow$  Luftstrom ist falsch, da die Kraft im B-Feld immer senkrecht zur Bewegungsrichtung, beim Luftstrom aber ständig nach oben gerichtet ist.

Insgesamt ist das Modell also nicht geeignet.

### Messergebnisse und gegebene Werte

magnetische Feldkonstante  $\mu_0 = 1,25664 \cdot 10^{-6} \frac{T \cdot m}{A}$

Abstand der Kondensatorplatten  $d = 5,4 \text{ cm}$

Beschleunigungsspannung  $U_B = 2500 \text{ V}$

Werden die Helmholtzspulen von einem Strom der Stromstärke  $I = 1 \text{ A}$  durchflossen, so wird dadurch ein Magnetfeld mit der Kraftflussdichte  $B = 4,918 \cdot 10^{-3} \text{ T}$  erzeugt.

Bei einer Kondensatorspannung von  $U_C$  tritt geradliniger Elektronenverlauf auf, wenn durch die Helmholtzspulen einen Spulenstrom  $I$  fließt:

$U_C$ in V	1000	1500	2000	2500	3000
$I$ in A	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38