

Bestimmung der spezifischen Ladung im Fadenstrahlrohr

Um die Bewegung von Elektronen im homogenen Magnetfeld zu untersuchen, kann ein Fadenstrahlrohr genutzt werden, das im Inneren eines Helmholtz-Spulenpaares platziert wird. Das Fadenstrahlrohr ist mit einem Leuchtgas bei geringem Druck gefüllt, um die Flugbahn der Elektronen beobachtbar zu machen. Wenn durch das Helmholtz-Spulenpaar ein elektrischer Strom fließt, wird im Fadenstrahlrohr ein homogenes Magnetfeld erzeugt, das senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen gerichtet ist.

Aufgaben

- 1 Im Inneren des Fadenstrahlrohrs befindet sich eine Elektronenkanone, mit der ein Elektronenstrahl erzeugt wird (Material 1).
 - 1.1 Beschriften Sie die beiden mit Pfeilen markierten Bauteile der Elektronenkanone und die Beschleunigungsspannung mit der Polung in Material 1. Erläutern Sie die Funktion der einzelnen Bauteile außer der Funktion des Wehneltzylinders.
(5 BE)
 - 1.2 Die Elektronen treten aus der Glühkathode mit vernachlässigbarer Geschwindigkeit aus. Zeigen Sie, dass die Elektronen nach dem Durchlaufen der Beschleunigungsspannung U_B die Elektronenkanone mit der Geschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$ verlassen.
(3 BE)
 - 1.3 Berechnen Sie die Beschleunigungsspannung U_B für den Fall, dass die Elektronen mit der Geschwindigkeit $v = 9,38 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ aus der Elektronenkanone austreten.
(3 BE)
- 2 Im Folgenden wird jeweils die Bahn der Elektronen für verschiedene Werte der Stromstärke im Helmholtz-Spulenpaar untersucht. Material 2 zeigt die Kreisbahn von Elektronen bei einem bestimmten Spulenstrom. Wenn durch die Helmholtz-Spulen kein Strom fließt, verläuft der Elektronenstrahl nach dem Austritt aus der Elektronenkanone horizontal nach rechts. Wenn ein Strom fließt, ist die Stromrichtung so gewählt, dass die Elektronen beim Austritt aus der Elektronenkanone nach oben abgelenkt werden. Die Beschleunigungsspannung, die die Elektronen durchlaufen, beträgt dabei immer konstant $U_B = 250 \text{ V}$.
 - 2.1 Erläutern Sie die Veränderung der Elektronenbahn, wenn der Spulenstrom ausgehend von $I = 0 \text{ A}$ kontinuierlich erhöht wird.
(3 BE)
 - 2.2 Zeichnen Sie in einem beliebig gewählten Punkt der Elektronenbahn in Material 2 die Richtung der Lorentzkraft auf ein Elektron und die Richtung der Elektronengeschwindigkeit ein. Geben Sie die Richtung der magnetischen Flussdichte¹ B im Fadenstrahlrohr an. Geben Sie mithilfe des in Material 2 angegebenen Maßstabs den Radius der Kreisbahn an und berechnen Sie den Betrag der Lorentzkraft, die auf ein Elektron wirkt.
(7 BE)

¹ Die magnetische Flussdichte wird in manchen Lehrbüchern auch als magnetische Feldstärke bezeichnet.

3 Im Folgenden wird die spezifische Ladung von Elektronen $\frac{e}{m_e}$ experimentell bestimmt.

3.1 Leiten Sie die Formel $\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U_B}{B^2 \cdot r^2}$ für die spezifische Ladung von Elektronen her.

(5 BE)

3.2 Um den Wert der spezifischen Ladung zu bestimmen, wurde die in Material 3 dargestellte Messreihe aufgenommen.

Bestimmen Sie unter Verwendung aller Messwerte einen Mittelwert für die spezifische Ladung von Elektronen in wissenschaftlicher Schreibweise auf drei Nachkommastellen und die prozentuale Abweichung des Mittelwertes vom Literaturwert $\frac{e}{m_e} = 1,759 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$.

(8 BE)

4 In den folgenden Aufgaben werden Auswirkungen von Veränderungen im experimentellen Aufbau betrachtet. Die jeweils nicht erwähnten Größen bleiben konstant.

4.1 Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- (1) Vervierfach man die Beschleunigungsspannung, so verdoppelt sich der Radius der Elektronenbahn.
- (2) Erhöht man die magnetische Flussdichte, so vergrößert sich der Radius der Elektronenbahn.
- (3) Verringert man die Stromstärke in den Helmholtz-Spulen, so benötigt man eine höhere Beschleunigungsspannung, um den Radius der Elektronenbahn konstant zu halten.

(6 BE)

4.2 Nun soll ein zum Fadenstrahlrohr analoger experimenteller Aufbau für Protonen betrachtet werden. Die Glühkathode wird durch eine Protonenquelle ersetzt, aus der die Protonen ohne Anfangsgeschwindigkeit austreten. Die austretenden Protonen sollen dann durch eine Spannung zu einer Kathode, in deren Mitte sich ein Loch befindet, hin beschleunigt werden. Hierbei sollen die Protonen auf die gleiche Geschwindigkeit $v = 9,38 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ wie die Elektronen in Aufgabe 1.3 beschleunigt werden. Nach der Beschleunigungsstrecke treten die Protonen in ein homogenes Magnetfeld ein.

4.2.1 Erläutern Sie, wie die Beschleunigungsspannung gegenüber dem in den Aufgaben 1 bis 3 betrachteten Experiment mit Elektronen verändert werden muss. Berechnen Sie den Betrag der notwendigen Beschleunigungsspannung U_B .

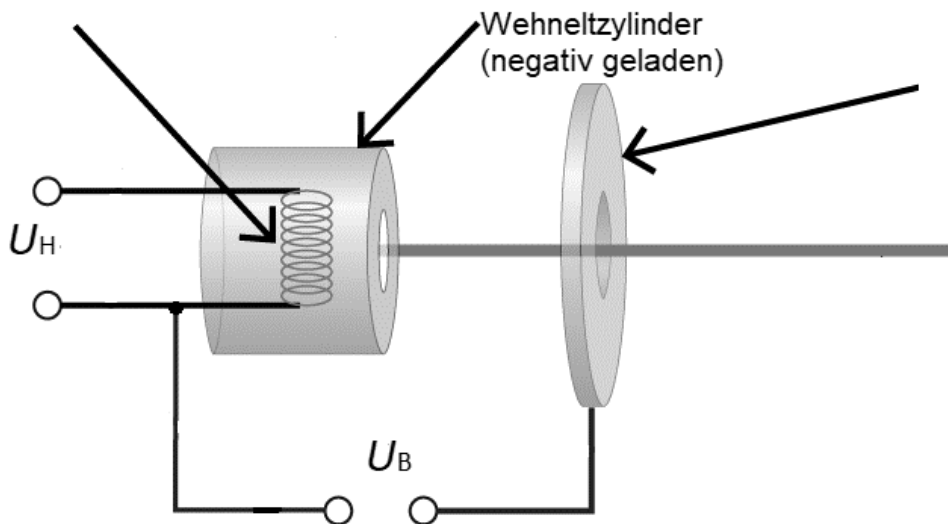
(5 BE)

4.2.2 Der Radius der Protonenbahn soll $r = 6 \text{ cm}$ betragen.

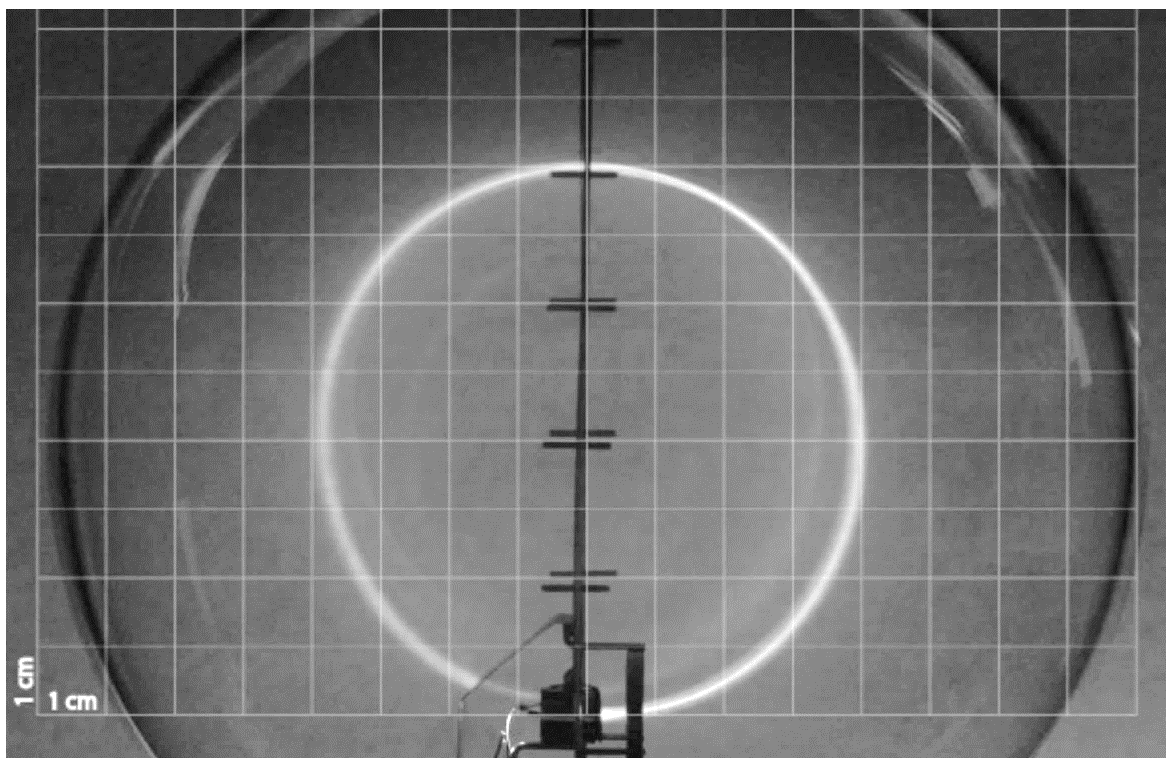
Berechnen Sie den Betrag der magnetischen Flussdichte zum Erreichen dieses Radius.

Beurteilen Sie die Möglichkeit einer technischen Umsetzung unter Verwendung von Material 4.

(5 BE)

Material 1**Elektronenkanone im Fadenstrahlrohr**

URL: <https://virtuelle-experimente.de/kanone/uebungen/uebung.php> (abgerufen am 19.04.2022).

Material 2**Fadenstrahlrohr mit Kreisbahn der Elektronen**

URL: <https://virtuelle-experimente.de/b-feld/e-m-bestimmung/edurchm.php> (abgerufen am 04.10.2021).

Material 3**Messreihe zur Bestimmung der spezifischen Ladung von Elektronen**

Die Beschleunigungsspannung beträgt immer $U_B = 250 \text{ V}$.

B in mT	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
r in cm	4,7	4,1	3,6	3,2	2,8
$\frac{e}{m_e}$ in $10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$					

Material 4**Magnetische Flussdichten in Natur und Technik**

Magnetische Flussdichte	Beispiel
$50 \mu\text{T}$	Erdmagnetfeld in Deutschland
$0,1 \text{ T}$	handelsüblicher Permanentmagnet
$1,0 \text{ T}$ bis $1,6 \text{ T}$	NdFeB-Magnet (auch Supermagnet genannter Permanentmagnet)
$0,35 \text{ T}$ bis $3,0 \text{ T}$	Kernspintomograf
bis zu $8,6 \text{ T}$	supraleitende Spulen der Dipolmagnete des Large Hadron Collider am CERN
12 T bis 20 T	supraleitende Spulen in Kernfusions-Forschungsreaktoren