

**Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern – Die Perrin-Röhre****Aufgaben**

- 1 In Material 1 ist der schematische Aufbau einer Perrin-Röhre dargestellt. Es handelt sich um eine Elektronenstrahlröhre, deren evakuierter Glaskolben an einer bestimmten Stelle eine Ausbuchtung hat, in der sich ein Metallbecher befindet, der elektrisch leitend an ein Elektroskop angeschlossen werden kann. Die aus der Glühkathode freigesetzten Elektronen werden aus der Ruhe durch die Beschleunigungsspannung  $U_B$  zur Lochanode A beschleunigt. Danach fliegen sie mit der konstanten Geschwindigkeit  $v = 7 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  in ein homogenes Magnetfeld der magnetischen Flussdichte<sup>1</sup>  $B$ , das den Glaskolben durchsetzt. Dabei werden die Elektronen auf eine Kreisbahn mit dem Radius  $r = 16 \text{ cm}$  gelenkt und treffen in den Metallbecher. Nun ist ein Ausschlag am Elektroskop zu beobachten.
- 1.1 Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der Beschleunigungsspannung  $U_B$  her und berechnen Sie ihren Wert. (5 BE)
- 1.2 Die Elektronen treffen nach Durchlaufen der Bahnkurve den Metallbecher. Geben Sie die Richtung des verwendeten homogenen Magnetfelds an und begründen Sie, dass die Bahnkurve kreisförmig ist. (3 BE)
- 1.3 Damit die Elektronen mit der Geschwindigkeit  $v$  den Becher treffen, ist ein bestimmter Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  notwendig.  
Zeigen Sie, dass man diesen Betrag mit der Formel  $B = \frac{m_e \cdot v}{r \cdot e}$  berechnen kann.  
Berechnen Sie den Betrag der in diesem Experiment benötigten magnetischen Flussdichte  $B$ .  
[zur Kontrolle:  $B = 2,49 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ ] (4 BE)
- 1.4 Die Beschleunigungsspannung  $U_B$  wird nun um 20 % reduziert, wobei die magnetische Flussdichte  $B$  konstant bleibt.
- 1.4.1 Zeichnen Sie für diesen Fall den ungefähren Verlauf des Elektronenstrahls in Material 1 ein. Erläutern Sie Ihre Zeichnung anhand der Formel aus Aufgabe 1.3. (4 BE)
- 1.4.2 Bestimmen Sie den Faktor, um den der Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  verändert werden muss, um den Strahl bei der reduzierten Beschleunigungsspannung  $U_B$  im Metallbecher auffangen zu können. (3 BE)

---

<sup>1</sup> Die magnetische Flussdichte wird in manchen Lehrbüchern auch als magnetische Feldstärke bezeichnet.

- 1.5 Geben Sie zwei Sachverhalte an, die den Rückschluss erlauben, dass aus der Kathode geladene Teilchen austreten.

Geben Sie eine Möglichkeit an, das Vorzeichen der Ladung dieser Teilchen zu ermitteln.

(6 BE)

- 2 Das in Aufgabe 1.3 benötigte homogene Magnetfeld kann mit einem Helmholtz-Spulenpaar erzeugt werden, wie es in Material 2 abgebildet ist. Für den Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  in einem solchen Spulenpaar mit gleichem Spulenradius und Spulenabstand  $R$  und der Windungszahl  $N$  pro Spule, das mit einer Stromstärke  $I_{\text{Hsp}}$  betrieben wird, gilt:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I_{\text{Hsp}}}{R}$$

Verwendet wird ein Helmholtz-Spulenpaar mit  $R = 6,7 \text{ cm}$  und  $N = 320$ . Das Spulenpaar kann mit einer maximalen Stromstärke  $I_{\text{Hsp,max}} = 5 \text{ A}$  betrieben werden.

- 2.1 Bestimmen Sie die Stromstärke  $I_{\text{Hsp}}$  so, dass die Elektronen aus Aufgabe 1.3 im Metallbecher aufgefangen werden.

[zur Kontrolle:  $I_{\text{Hsp}} = 0,058 \text{ A}$ ]

(3 BE)

- 2.2 Es soll angenommen werden, dass statt Elektronen nun Protonen mit der in Aufgabe 1 angegebenen Geschwindigkeit in den Bereich des Glaskolbens der Perrin-Röhre eintreten. Die dazu benötigte Beschleunigungsspannung soll im Folgenden explizit nicht betrachtet werden. Damit die Protonen im Metallbecher aufgefangen werden können, müssen die Stromrichtung in dem Helmholtz-Spulenpaar und die Stromstärke  $I_{\text{Hsp}}$  geändert werden.

Begründen Sie beide Maßnahmen und prüfen Sie, ob sich das oben beschriebene Helmholtz-Spulenpaar dafür eignet.

(5 BE)

- 3 Die Perrin-Röhre wird in Kombination mit dem Helmholtz-Spulenpaar zur Bestimmung der spezifischen Ladung  $\frac{e}{m_e}$  des Elektrons verwendet. Wird die Beschleunigungsspannung

$U_B = 2,5 \text{ kV}$  eingestellt, trifft der Elektronenstrahl den Metallbecher (Radius der Kreisbahn  $r = 16 \text{ cm}$ ) bei einem Spulenstrom von  $I_{\text{Hsp}} = 0,29 \text{ A}$ .

- 3.1 Leiten Sie die Formel  $\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U_B}{(r \cdot B)^2}$  für die spezifische Ladung von Elektronen her und berechnen Sie den Wert der spezifischen Ladung von Elektronen aus den angegebenen Daten.

Berechnen Sie die prozentuale Abweichung vom Literaturwert.

(9 BE)

- 3.2 Zur Erklärung der möglichen Ursache der Abweichung in Aufgabe 3.1 wird das Magnetfeld genauer betrachtet. Material 3 zeigt die Perrin-Röhre und das Helmholtz-Spulenpaar mit dem festgelegten Koordinatensystem. Zur Messung des Betrags der von dem Helmholtz-Spulenpaar erzeugten magnetischen Flussdichte wird die Perrin-Röhre zunächst entfernt. Ein Magnetfeldsensor wird entlang der  $y$ -Achse durch den Mittelpunkt M der Versuchsanordnung geführt. Man erhält den im unteren Teil von Material 4 dargestellten Verlauf der magnetischen Flussdichte  $B$ .

Dieser Verlauf ist identisch für alle Messungen entlang von Geraden durch den Mittelpunkt M in der y-z-Ebene.

Beschreiben Sie anhand von Material 4 den Betrag der magnetischen Flussdichte im Innenraum des Helmholtz-Spulenpaars in der y-z-Ebene.

Beurteilen Sie, welche Auswirkungen die Inhomogenität des Magnetfelds in den Randbereichen auf die Flugbahn der Elektronen hat.

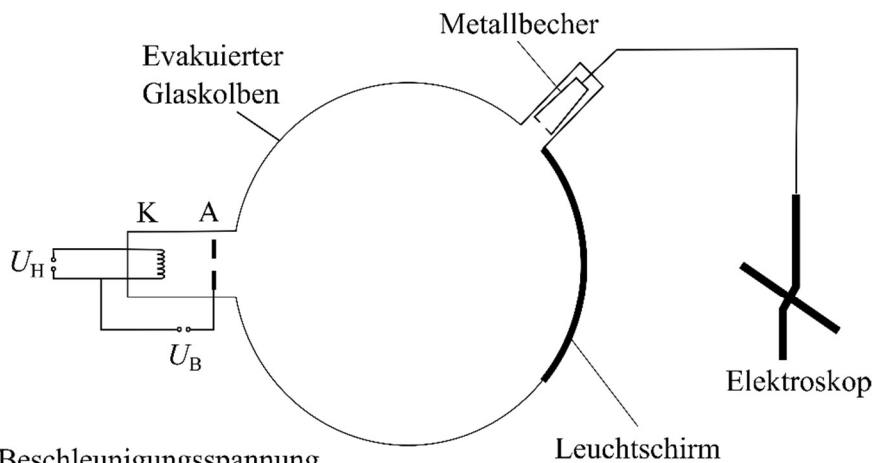
(5 BE)

- 3.3 Diskutieren Sie, ob die in Aufgabe 3.2 betrachtete Inhomogenität des Magnetfelds geeignet ist, die Abweichung der berechneten spezifischen Elektronenladung vom Literaturwert zu erklären.

(3 BE)

### Material 1

#### Schematischer Aufbau einer Perrin-Röhre



$U_B$ : Beschleunigungsspannung

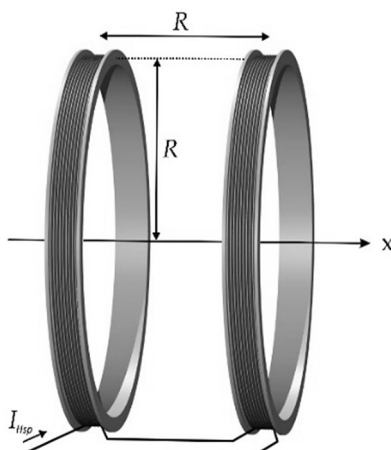
$U_H$ : Heizspannung

K: Kathode

A: Anode

### Material 2

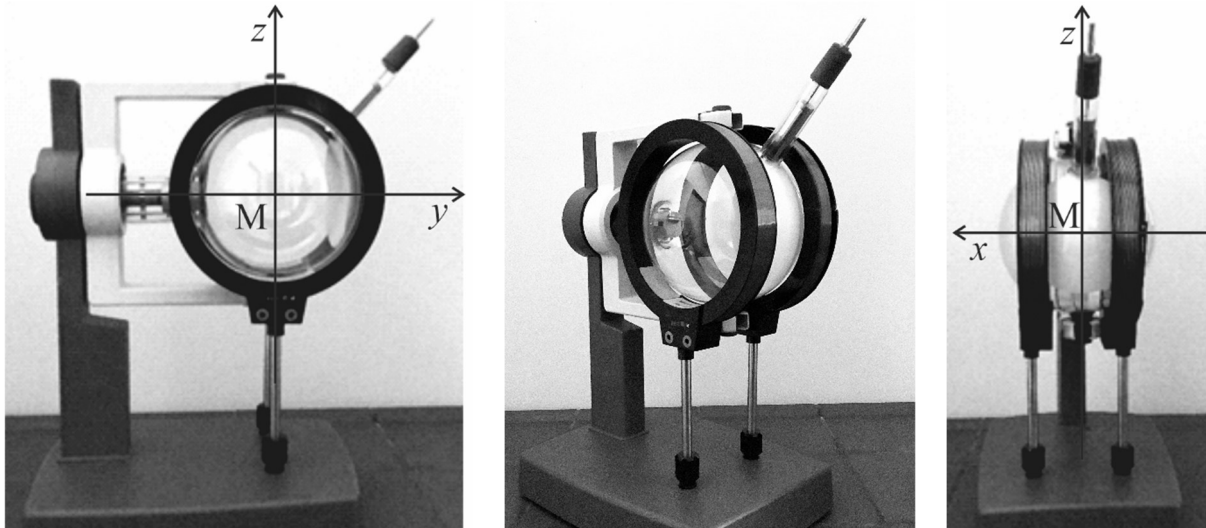
#### Helmholtz-Spulenpaar



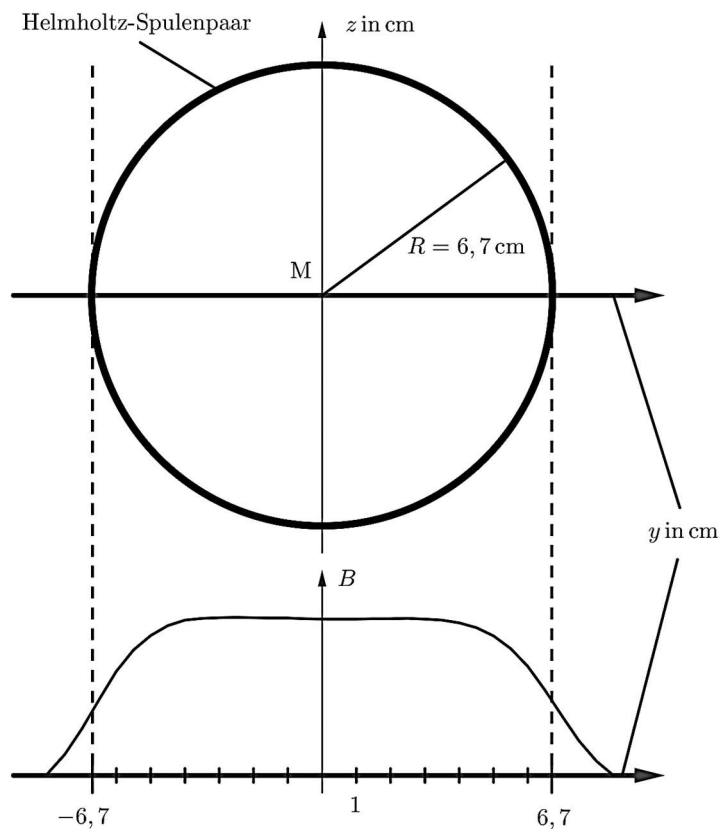
URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Helmholtz-Spule> (abgerufen am 19.10.2022).

## Material 3

## Versuchsaufbau Perrin-Röhre mit Helmholtz-Spulenpaar



## Material 4

Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  im Bereich des Helmholtz-Spulenpaars

Die Darstellung zeigt den Aufbau in Blickrichtung der linken Abbildung von Material 3.