

Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons

Versuchsziele

- Untersuchung der Ablenkung von Elektronen in einem Magnetfeld auf eine geschlossene Kreisbahn.
- Bestimmung des Magnetfeldes B in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U der Elektronen bei konstantem Radius r .
- Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons.

Grundlagen

Die Masse m_e des Elektrons ist experimentell nur schwer zugänglich. Einfacher ist die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons

$$\epsilon = \frac{e}{m_e} \quad (I),$$

aus der man die Masse m_e bei bekannter Elementarladung e berechnen kann:

Auf ein Elektron, das sich mit der Geschwindigkeit v senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld B bewegt, wirkt senkrecht zur Geschwindigkeit und zum Magnetfeld die Lorentz-Kraft

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (II).$$

Sie zwingt das Elektron als Zentripetalkraft

$$F = m_e \cdot \frac{v^2}{r} \quad (III)$$

auf eine Kreisbahn mit dem Radius r (siehe Fig. 1), daher ist

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B} \quad (IV).$$

Im Versuch werden die Elektronen in einem Fadenstrahlrohr mit der Spannung U auf die kinetische Energie

$$e \cdot U = \frac{m_e}{2} \cdot v^2 \quad (V)$$

beschleunigt. Für die spezifische Ladung des Elektrons gilt somit

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \quad (VI).$$

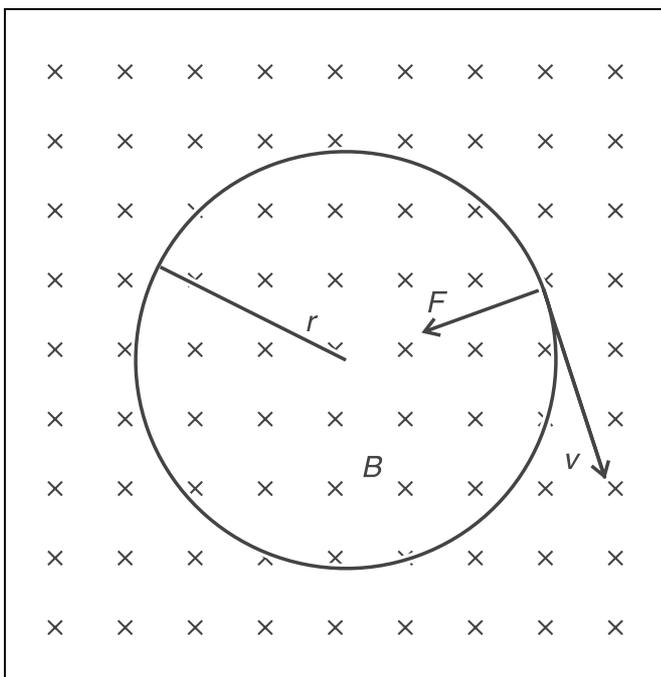


Fig. 1 Ablenkung von Elektronen in einem Magnetfeld B durch die Lorentz-Kraft F auf eine geschlossene Kreisbahn mit vorgegebenem Radius r .

Geräte

1 Fadenstrahlrohr	555 571
1 Helmholtz-Spulen mit Ständer und Meßvorrichtung	555 581
1 Röhren-Netzgerät 0 ... 500 V	521 65
1 DC-Netzgerät 0 ... 20 V	521 54
1 Voltmeter, DC, $U \leq 300$ V z.B.	531 100
1 Amperemeter, DC, $I \leq 3$ A z.B.	531 100
1 Rollbandmaß, 2 m	311 77
3 Sicherheits-Experimentierkabel, 25 cm .	500 614
3 Sicherheits-Experimentierkabel, 50 cm .	500 624
7 Sicherheits-Experimentierkabel, 100 cm .	500 644
<i>zusätzlich empfohlen:</i>	
1 Teslameter	516 62
1 Axiale B-Sonde	516 61
1 Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m	501 16

Das Fadenstrahlrohr enthält bei Unterdruck Wasserstoffmoleküle, die durch Stöße der Elektronen zum Leuchten angeregt werden. Die Kreisbahn der Elektronen wird dadurch indirekt sichtbar, und ihr Bahnradius r kann unmittelbar mit einem Maßstab gemessen werden.

Das Magnetfeld B wird in einem Helmholtz-Spulenpaar erzeugt und ist proportional zum Strom I durch die Helmholtz-Spulen:

$$B = k \cdot I \tag{VII}$$

Sucht man in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U den Spulenstrom I , in dessen Magnetfeld die Kreisbahn der Elektronen auf einem konstanten Wert r gehalten wird, so folgt durch Umformen der Gln. (VI) und (VII)

$$U = \frac{e}{m_e} \cdot \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot k^2 \cdot I^2 \tag{VIII}$$

Der Proportionalitätsfaktor

$$k = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{n}{R} \tag{IX}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$: magnetische Feldkonstante

kann entweder aus dem Spulenradius $R = 150$ mm und der Windungszahl $n = 130$ je Spule berechnet oder durch Aufnahme einer Kalibrierkurve $B = f(I)$ bestimmt werden. Damit sind sämtliche Bestimmungsgrößen für die spezifische Elektronenladung bekannt.

Sicherheitshinweise

Achtung: Das Fadenstrahlrohr benötigt zur Beschleunigung der Elektronen berührungsgefährliche Spannungen bis zu 300 V. Andere Spannungen, die mit dieser berührungsgefährlichen Spannung verbunden sind, sind ebenfalls berührungsgefährlich. Berührungsgefährliche Spannungen liegen somit bei Betrieb des Fadenstrahlrohres am Anschlußfeld des Ständers und an den Helmholtz-Spulen an.

- Anschlußfeld nur mit Sicherheits-Experimentierkabeln beschalten.
- Beschaltung und Änderungen im Versuchsaufbau nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten vornehmen.
- Versorgungsgeräte erst einschalten, wenn die Schaltung fertiggestellt ist.
- Versuchsaufbau und insbesondere die Helmholtz-Spulen im Betrieb nicht berühren.

Implosionsgefahr: Das Fadenstrahlrohr ist ein dünnwandiger evakuierter Glaskolben.

- Fadenstrahlrohr keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Fadenstrahlrohr ausschließlich im Ständer (555 581) verwenden.
- 6-poligen Stecker des Ständers vorsichtig auf Sockel stecken.
- Gebrauchsanweisung zum Fadenstrahlrohr beachten.

Aufbau

Hinweise:

Messungen im abgedunkelten Raum durchführen.

Helmholtz-Spulen nur kurzzeitig über 2 A belasten.

Der Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Elektronenladung ist in Fig. 2, die elektrische Beschaltung in Fig. 3 dargestellt.

- Netzgeräte ausschalten und sämtliche Drehpotentiometer zum Linksanschlag drehen.
- 6,3-V-Eingang des Fadenstrahlrohres an 6,3-V-Ausgang des Röhren-Netzgeräts anschließen.
- Pluspol des 50-V-Ausganges am Röhren-Netzgerät mit Minuspol des 500-V-Ausganges kurzschließen und mit Buchse „-“ des Fadenstrahlrohres (Kathode) verbinden.
- Buchse „+“ des Fadenstrahlrohres (Anode) mit Pluspol des 500-V-Ausgangs, Buchse W (Wehnelt-Zylinder) mit Minuspol des 50-V-Ausgangs verbinden.
- Zur Messung der Beschleunigungsspannung U Voltmeter (Meßbereich 300 V-) an 500-V-Ausgang anschließen.
- Ablenkplatten des Fadenstrahlrohres auf Anodenpotential legen.
- DC-Netzgerät und Amperemeter (Meßbereich 3 A-) in Reihenschaltung mit den Helmholtz-Spulen verbinden.

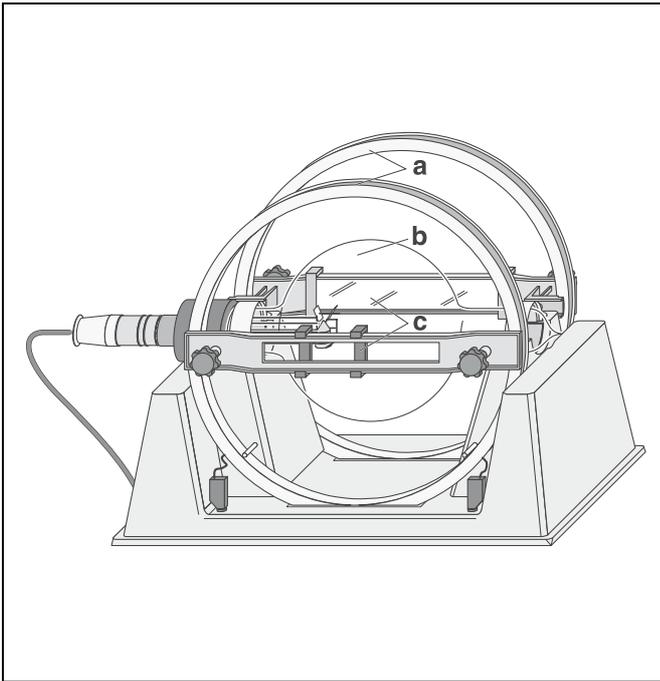


Fig. 2 Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Elektronenladung
 a Helmholtz-Spulen
 b Fadenstrahlrohrs
 c Meßvorrichtung

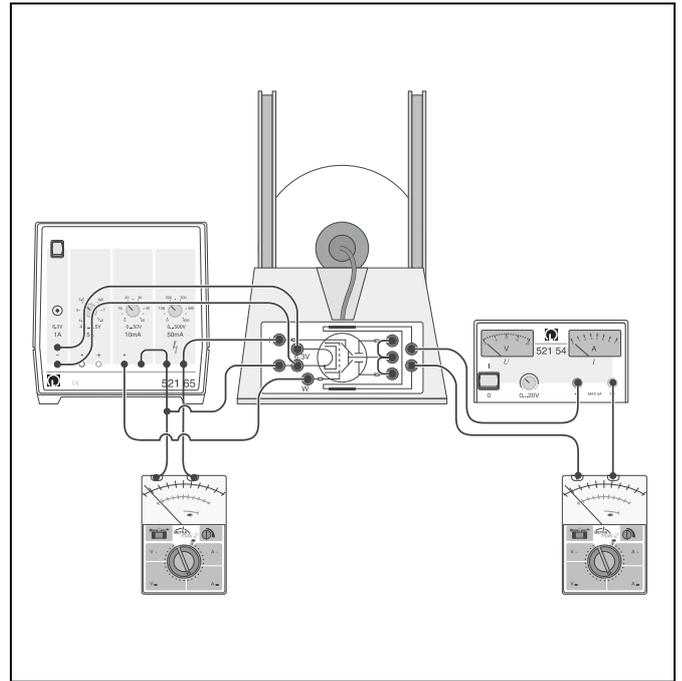


Fig. 3 Elektrische Beschaltung (oben rechts)

- Röhren-Netzgerät einschalten und Beschleunigungsspannung $U = 300\text{ V}$ einstellen.
 Die Glühelktronen-Emission beginnt nach einer Heizdauer von wenigen Minuten.

- Bündelung des Elektronenstrahls durch Variieren der Spannung am Wehnelt-Zylinder zwischen $0 \dots 10\text{ V}$ optimieren, bis ein enges, scharf begrenztes Strahlenbündel ohne diffusen Rand entsteht.
- DC-Netzgerät zur Versorgung der Helmholtz-Spulen einschalten und Strom I suchen, bei dem der Elektronenstrahl auf eine geschlossene Kreisbahn abgelenkt wird.

Wenn der Elektronenstrahl nach Austritt aus der Anode zur falschen (linken) Seite abgelenkt wird:

- Beide Netzgeräte ausschalten.
- Zur Umpolung des Magnetfelds Anschlüsse am DC-Netzgerät vertauschen.

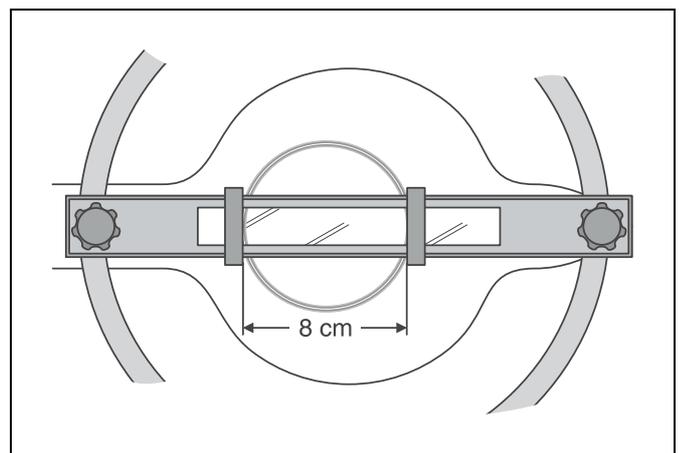
Wenn sich die Elektronen nicht auf einer geschlossenen Kreisbahn sondern auf einer Schraubenlinie bewegen:

- Befestigungsschrauben der beiden Haltebügel lockern (dabei Gebrauchsanweisung zum Fadenstrahlrohr beachten).
- Fadenstrahlrohr vorsichtig um seine Längsachse drehen, bis der Elektronenstrahl auf einer geschlossenen Kreisbahn verläuft.
- Befestigungsschrauben wieder anziehen.

Durchführung

- Linken Schieber der Meßvorrichtung so verschieben, daß Innenkante, Spiegelbild und Austrittsöffnung des Elektronenstrahls in einer Visierlinie liegen.
- Rechten Schieber so einstellen, daß beide Innenkanten einen Abstand von 8 cm haben.
- Innenkante des rechten Schieber anvisieren und mit deren Spiegelbild zur Deckung bringen und Spulenstrom I verändern, bis der Elektronenstrahl tangential längs der das Spiegelbild überdeckenden Schieberkante verläuft (siehe Fig. 4).
- Beschleunigungsspannung U in Schritten von 10 V bis auf 200 V reduzieren und jedesmal den Spulenstrom I so wählen, daß die Kreisbahn des Elektronenstrahls 8 cm Durchmesser hat.
- Beschleunigungsspannung U und Spulenstrom I notieren.

Fig. 4 Ausmessen des Bahndurchmessers mit der Meßvorrichtung



Kalibrierung des Helmholtz-Magnetfeldes (optional):

Die Anordnung zur Kalibrierung des Magnetfeldes ist in Fig. 5 dargestellt. Zur Messung erforderlich sind die oben zusätzlich empfohlenen Geräte.

- Ggf. alle Versorgungsgeräte ausschalten.
- Meßvorrichtung und Helmholtz-Spule auf der Vorderseite entfernen, Steckverbindung zum Fadenstrahlrohr und Befestigungsschrauben der beiden Haltebügel lösen (dabei Gebrauchsanweisung zum Fadenstrahlrohr beachten).
- Fadenstrahlrohr vorsichtig entnehmen und z. B. in der Originalverpackung ablegen.
- Vordere Helmholtz-Spule wieder einbauen und anschließen.
- Axiale B-Sonde an Teslameter (Meßbereich 20 mT) anschließen und Nullpunkt abgleichen (siehe Gebrauchsanweisung zum Teslameter).
- Axiale B-Sonde parallel zum Magnetfeld der Helmholtz-Spulen in das Zentrum des Spulenpaares führen.
- Spulenstrom I von 0 bis 3 A in Schritten von 0,5 A erhöhen, das Magnetfeld B messen und Meßwerte notieren.

Nach Abschluß der Kalibrierung:

- Fadenstrahlrohr gemäß Gebrauchsanweisung wieder einbauen.

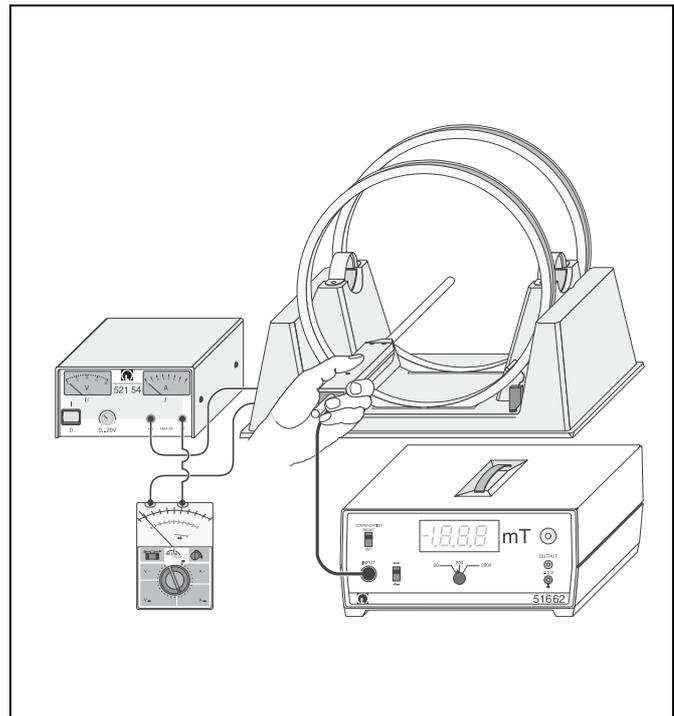


Fig. 5 Aufbau zur Kalibrierung des Helmholtz-Magnetfeldes

Meßbeispiel

Tab. 1: Spulenstrom I in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U bei konstantem Kreisbahnradius $r = 0,04$ m

$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$
300	2,15
290	2,10
280	2,07
270	2,03
260	2,00
250	1,97
240	1,91
230	1,88
220	1,83
210	1,79
200	1,75

Tab. 2: Magnetfeld B der Helmholtz-Spulen in Abhängigkeit vom Spulenstrom I (die Messung erfordert die oben zusätzlich empfohlenen Geräte)

$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0,5	0,35
1,0	0,65
1,5	0,98
2,0	1,34
2,5	1,62
3,0	2,05

Auswertung und Ergebnis

In Fig. 6 sind die Meßwerte aus Tab. 1 in der – gemäß (VIII) linearisierten – Form $U = f(\beta)$ dargestellt. Die Steigung der eingezeichneten Ursprungsgeraden beträgt

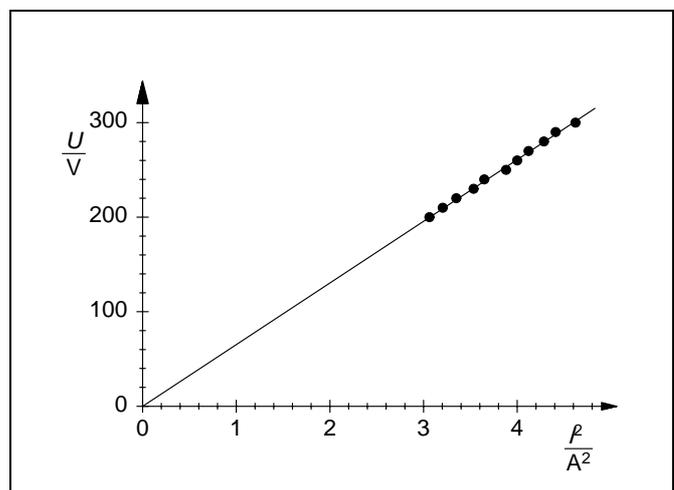
$$\alpha = 65,3 \text{ V A}^{-2}.$$

Aus (VIII) folgt für die spezifische Elektronenladung

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot \alpha}{r^2 \cdot k^2}$$

Für die weitere Auswertung benötigt wird daher der Proportionalitätsfaktor k .

Fig. 6 Darstellung der Meßergebnisse aus Tab. 1



Bestimmung des Proportionalitätsfaktors k aus der Kalibrierung des Helmholtz-Magnetfeldes:

Durch Anpassung einer Ursprungsgeraden an die Meßwerte der Tab. 2 bzw. der Fig. 7 erhält man

$$k = 0,67 \text{ mT A}^{-1}$$

und daraus

$$\frac{e}{m_e} = 1,8 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Berechnung des Proportionalitätsfaktors k :

Unter Anwendung von (IX) berechnet man

$$k = 0,78 \text{ mT A}^{-1}$$

und daraus

$$\frac{e}{m_e} = 1,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Literaturwert:

$$\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

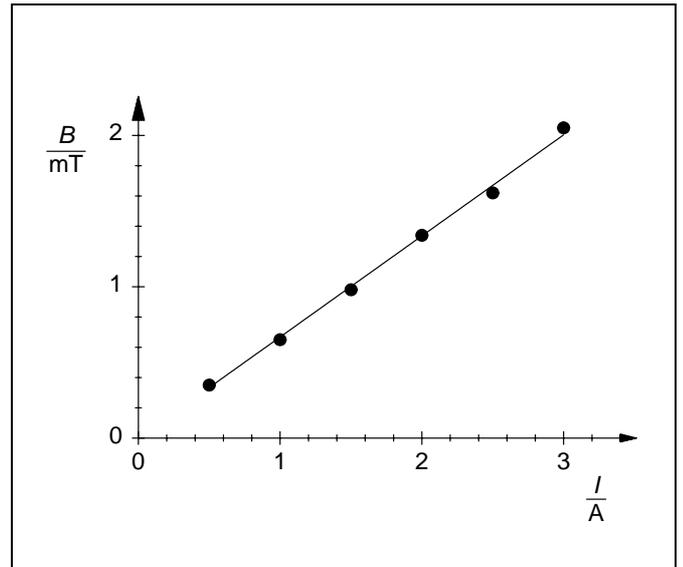


Fig. 7 Kalibrierkurve für das Magnetfeld der Helmholtz-Spulen

