Fadenstrahlröhre

BESTIMMUNG DER SPEZIFISCHEN LADUNG DES ELEKTRONS

- Demonstration der Ablenkung von Elektronen in einem homogenen Magnetfeld auf eine geschlossene Kreisbahn.
- Bestimmung des Helmholtzspulen-Stroms I_H in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U der Elektronenkanone bei konstantem Kreisbahnradius r.
- Bestimmung der spezifischen Ladung e / m des Elektrons aus den Messwerten.

UE307070

10/08 UK

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In der Fadenstrahlröhre bewegen sich die Elektronen in einem homogenen Magnetfeld auf einer Kreisbahn. Die Röhre enthält Neongas bei präzise eingestelltem Druck, und die Gasatome werden längs der Kreisbahn durch Stöße der Elektronen ionisiert und zum Leuchten angeregt. Dadurch wird die Kreisbahn der Elektronen indirekt sichtbar, und ihr Bahnradius kann unmittelbar mit einem Maßstab gemessen werden. Da die Beschleunigungsspannung *U* der Elektronenkanone und das Magnetfeld *B* bekannt sind, kann aus dem Kreisbahnradius *r* die spezifische Ladung *e*/*m* des Elektrons berechnet werden:

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

$$F = e \cdot v \cdot B \qquad (1)$$

e: Elementarladung

Sie zwingt das Elektron als Zentripetalkraft

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r} \qquad (2)$$

m: Elektronenmasse

auf eine Kreisbahn mit dem Radius r. Daher ist

$$e \cdot B = \frac{m \cdot v}{r} \qquad (3)$$

Die Geschwindigkeit v hängt von der Beschleunigungsspannung U der Elektronenkanone ab:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U} \qquad (4)$$

Für die spezifische Ladung des Elektrons gilt somit:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \qquad (5)$$

Misst man für verschiedene Beschleunigungsspannungen U und verschiedene Magnetfelder B jeweils den Kreisbahnradius r, so liegen die Messwerte in einem r^2B^2-$2U$-Diagramm gemäß Gl. (5) auf einer Ursprungsgeraden mit der Steigung e / m.

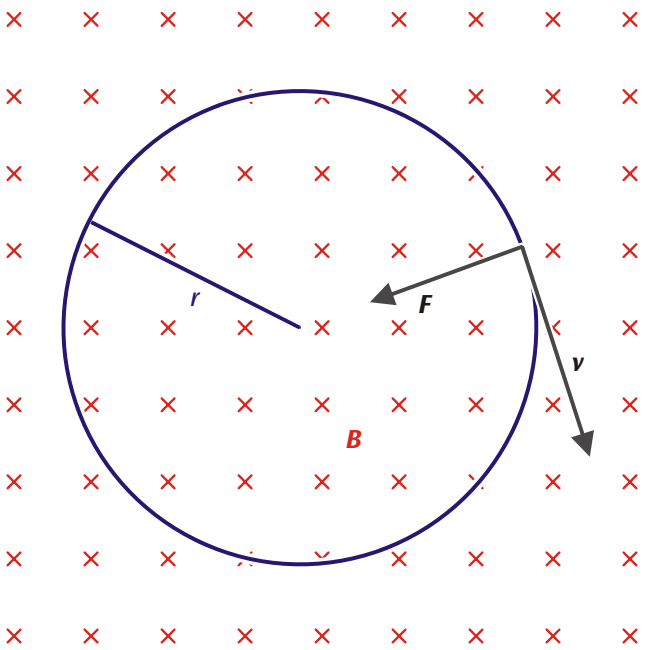


Fig. 1: Ablenkung von Elektronen mit der Geschwindigkeit v in einem Magnetfeld B durch die Lorentz-Kraft F auf eine geschlossene Kreisbahn mit dem Radius r.

GERÄTELISTE

1	Fadenstrahlröhre auf Anschlusssockel	U8481420
1	Helmholtzspulenpaar, 300 mm	U8481500
1	DC-Netzgerät, 0–500 V	U33000
1	DC-Amperemeter, 3 A, z.B.	U17450
1	Satz 15 Sicherheits-Experimentierkabel	U138021

SICHERHEITSHINWEISE

Die Fadenstrahlröhre ist ein dünnwandiger, evakuierter Glaskolben. Vorsichtig behandeln: Implosionsgefahr!

- Fadenstrahlröhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Zur Vermeidung mechanischer Belastungen Steckerstifte jeweils nur mit einem Experimentierkabel beschalten.

An die Fadenstrahlröhre wird berührungsgefährliche Spannung angelegt:

- Für Anschlüsse nur Sicherheits-Experimentierkabel verwenden.
- Beschaltungen nur bei ausgeschaltetem Versorgungsgerät vornehmen.
- Röhre nur bei ausgeschaltetem Versorgungsgerät ein- und ausbauen.

AUFBAU

Hinweise:

Um den Elektronenstrahl besser beobachten zu können, sollte das Experiment in einem abgedunkelten Raum durchgeführt werden.

Während des Aufbaus bleiben die Netzgeräte ausgeschaltet und alle Spannungssteller nach links gedreht.

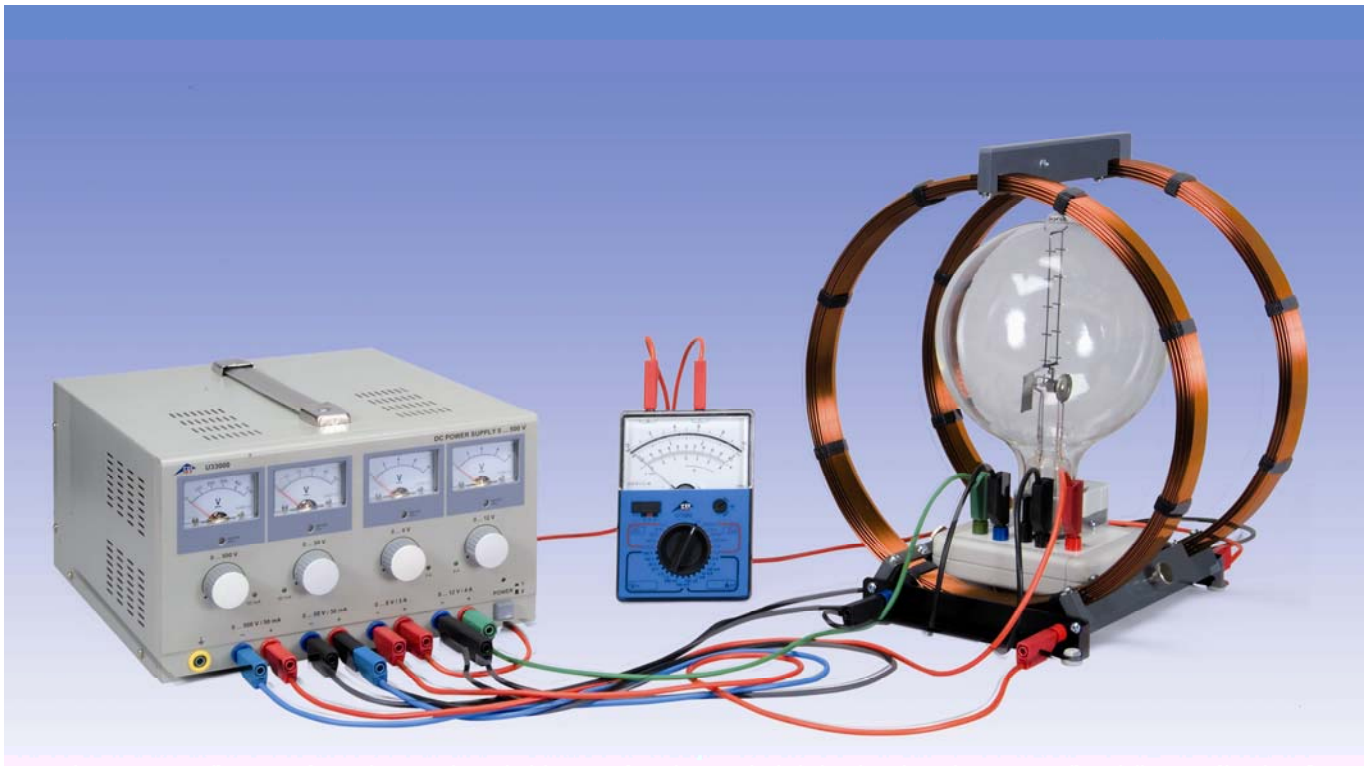
Anschluss der Fadenstrahlröhre an das Röhrennetzgerät:

- Minuspol des 500-V-Ausgangs, Pluspol des 50-V-Ausgangs und Minuspol des 12-V-Ausgangs miteinander und mit der Kathode der Röhre (schwarze Buchse des Anschlusssockels) verbinden.
- Pluspol des 500-V-Ausgangs mit der Anode (rote Buchse) verbinden.
- Minuspol des 50-V-Ausgangs mit dem Wehnelt-Zylinder (blaue Buchse) verbinden.
- Pluspol des 12-V-Ausgangs mit der Kathodenheizung (grüne Buchse) verbinden.

Anschluss des Helmholtz-Spulenpaares:

- Helmholtz-Spulen gemäß Fig. 3 und Amperemeter in Reihe an den 8-V-Ausgang anschließen, so dass beide Spulen gleichsinnig vom Strom durchflossen werden.

Fig. 2: Experimenteller Aufbau zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons



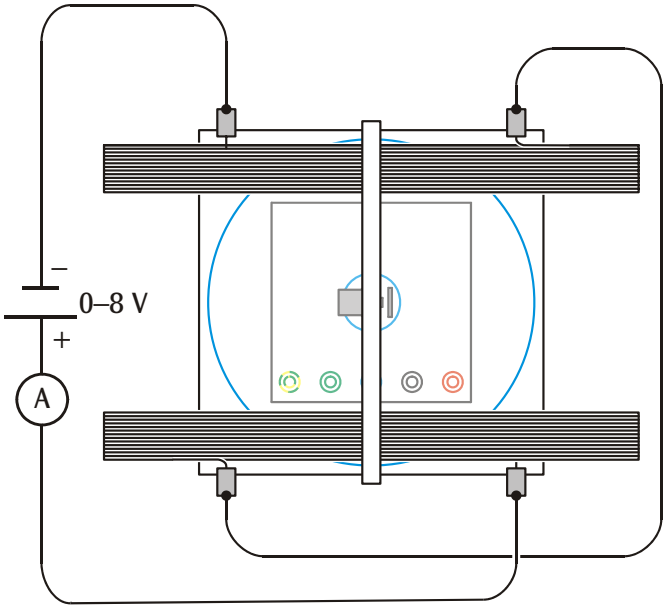


Fig. 3: Elektrischer Anschluss des Helmholtz-Spulenpaares

DURCHFÜHRUNG

Justierung des Elektronenbündels:

- Heizspannung z.B. von 7,5 V anlegen.
- Anodenspannung auf 300 V einstellen (der zunächst waagerechte Elektronenstrahl wird durch ein schwaches, bläuliches Licht sichtbar).
- Wehnelt-Spannung so wählen, dass ein möglichst dünnes, scharf begrenztes Strahlenbündel zu sehen ist.
- Schärfe und Helligkeit des Strahlenbündels durch Variation der Heizspannung optimieren.
- Spulenstrom I_H durch die Helmholtz-Spulen erhöhen und überprüfen, ob der Elektronenstrahl nach oben gekrümmt wird.

Falls keine Krümmung des Elektronenstrahls zu beobachten ist:

- Eine der Spulen umpolen, so dass der Strom gleichsinnig durch beide Spulen fließt.

Falls die Krümmung des Elektronenstrahls nicht nach oben zeigt:

- Zum Umpolen des Magnetfeldes die Anschlüsse am DC-Netzgerät 12 V vertauschen.
- Spulenstrom weiter erhöhen und überprüfen, ob der Elektronenstrahl eine in sich geschlossene Kreisbahn bildet.

Falls die Kreisbahn nicht geschlossen ist:

- Fadenstrahlrohr samt Sockel etwas um die vertikale Achse drehen.

Aufzeichnung der Messwerte:

- Spulenstrom so wählen, dass der Kreisbahnradius 5 cm beträgt und der Elektronenstrahl von der entsprechenden Messmarke in der Fadenstrahlröhre verdeckt wird, und eingestellten Wert notieren.
- Anodenspannung in 20-V-Schritten auf 200 V verkleinern, jeweils den Spulenstrom I_H so wählen, dass der Radius konstant bleibt, und diese Werte notieren.
- Weitere Messreihen für die Kreisbahnradien 4 cm und 3 cm aufnehmen.

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Messwerte für den Spulenstrom I_H in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U bei drei verschiedenen konstanten Kreisbahnradien r

U / V	I_H / A		
	bei r = 3 cm	bei r = 4 cm	bei r = 5 cm
300	2,66	1,98	1,58
280	2,56	1,91	1,53
260	2,47	1,84	1,46
240	2,37	1,77	1,42
220	2,29	1,68	1,34
200	2,14	1,61	1,25

AUSWERTUNG

Das Magnetfeld B wird in einem Helmholtz-Spulenpaar erzeugt und ist proportional zum Strom I_H durch eine einzelne Spule. Der Proportionalitätsfaktor k kann aus dem Spulenradius R = 147,5 mm und der Windungszahl N = 124 je Spule berechnet werden:

$$B = k \cdot I_H \text{ mit } k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R} = 0{,}756\,\frac{\text{mT}}{\text{A}}$$

Damit sind sämtliche Bestimmungsgrößen für die spezifische Elektronenladung bekannt.

Zur weiteren Auswertung werden die Messwerte in einem r^2B^2-$2U$-Diagramm aufgetragen (siehe Fig. 4). In Tab. 2 sind die hierfür aus den Messdaten der Tab. 1 berechneten Werte aufgelistet.

Aus der Steigung der Ursprungsgeraden in Fig. 4 liest man ab:

$$\frac{e}{m} = 16{,}8 \cdot \frac{\text{V}}{\text{mT}^2 \cdot \text{cm}^2} = 1{,}68 \cdot 10^{11}\,\frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Der Literaturwert ist angegeben mit:

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

Tab. 2: Aus den Messdaten der Tab. 1 berechnetete Werte in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U bei drei verschiedenen konstantem Kreisbahnradien r

U / V	$2U$ / V	$B^2 r^2$ / mT² cm²		
		bei r = 3 cm	bei r = 4 cm	bei r = 5 cm
300	600	36,4	35,8	35,7
280	560	33,7	33,4	33,4
260	520	31,4	31,0	30,5
240	480	28,9	28,6	28,8
220	440	27,0	25,8	25,7
200	400	23,6	23,7	22,3

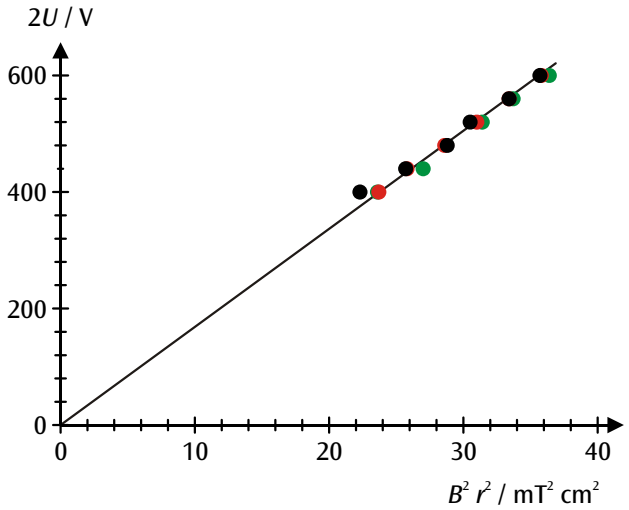


Fig. 4: r^2B^2-$2U$-Diagramm der Messwerte
(schwarz: r = 5 cm, rot: r = 4 cm, grün: r = 3 cm).
Die Steigung der Ursprungsgeraden entspricht der spezifischen Ladung e / m des Elektrons.

© Copyright 2008 3B Scientific GmbH