

Verwandte Begriffe

Kathodenstrahlen, Lorentzkraft, Elektronen in gekreuzten Feldern, Masse des Elektrons, Elektronenladung.

Prinzip

Elektronen werden in einem elektrischen Feld beschleunigt und treten in ein zur Bewegungsrichtung senkrecht Magnetfeld ein. Aus der Beschleunigungsspannung, der magnetischen Feldstärke und dem Bahnradius der Elektronen wird die spezifische Ladung des Elektrons bestimmt.

Material

1	Fadenstrahlrohr	06959-00
1	Helmholtz-Spulenpaar	06960-00
1	e/m Beobachtungskammer	06959-01
1	PHYWE Netzgerät, 0..600 V–, geregelt	13672-93
1	PHYWE Netzgerät, universal	13500-93
2	Digitalmultimeter 2005	07129-00
1	Sicherheitsverbindungsleitung, 32 A, 25 cm, rot	07335-01
1	Sicherheitsverbindungsleitung, 32 A, 25 cm, blau	07335-04
2	Sicherheitsverbindungsleitung, 32 A, 100 cm, rot	07337-01
2	Sicherheitsverbindungsleitung, 32 A, 100 cm, blau	07337-04
3	Sicherheitsverbindungsleitung, 32 A, 100 cm, gelb	07337-02
3	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot	07363-01
1	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau	07363-04



Abb. 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons.

Aufgaben

Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons (e/m_0) aus der Bahnkurve eines Elektronenstrahls in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern variabler Stärke.

Aufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt. Der elektrische Anschluss ist in den Schaltskizzen in Abb. 3 und Abb. 2 dargestellt. In der Helmholtz-Anordnung werden zwei Spulen einander gegenüberliegend aufgestellt. Da in beiden Spulen die gleiche Stromstärke herrschen muss, ist die Reihenschaltung der Parallelschaltung vorzuziehen. Der maximal zulässige Gleichstrom von 5 A sollte nicht überschritten werden.

Bei richtiger Polung des Magnetfelds lässt sich im abgedunkelten Raum eine gekrümmte Leuchtbahn. Durch Variieren des Magnetfelds (Strom) und der Elektronengeschwindigkeit (Beschleunigungs- und Fokussierungsspannung) kann der Bahnradius so eingestellt werden, dass er mit dem Radius der Leuchtspuren zusammenfällt. Wenn der Elektronenstrahl mit den Leuchtspuren zusammenfällt, lässt sich nur die Hälfte des Kreises beobachten. Der Kreisradius beträgt dann 2, 3, 4 oder 5 cm.

Eine detaillierte Beschreibung des Fadenstrahlrohrs finden Sie in der entsprechenden Bedienungsanleitung.

Wenn sich eine schraubenförmige Leuchtbahn ergibt, so ist dies durch Drehen des Fadenstrahlrohrs um seine Längsachse zu beheben.

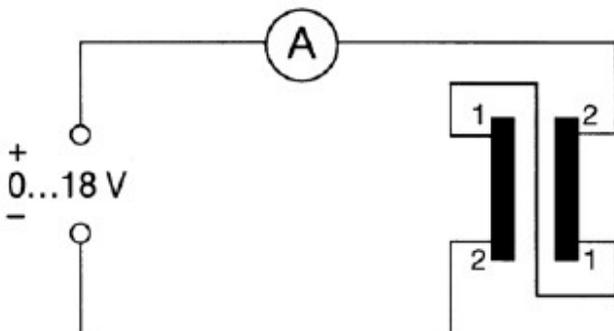


Abb. 2: Schaltskizze für die Helmholtz-Spulen.

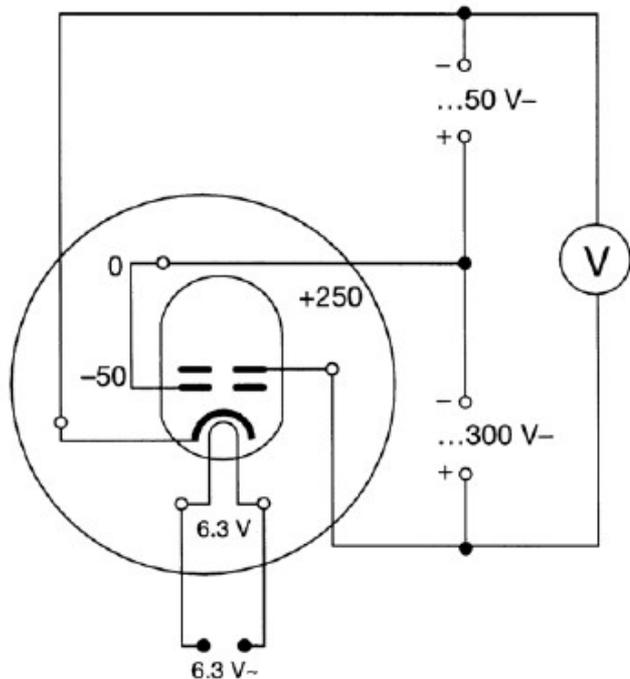


Abb. 3: Schaltskizze für das Fadenstrahlrohr.

Theorie und Auswertung

Wird ein Elektron der Masse m_0 und der Ladung e durch eine Potentialdifferenz U beschleunigt, so erhält es die kinetische Energie:

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2 \quad (1)$$

wobei v die Geschwindigkeit des Elektrons ist.

In einem Magnetfeld der Stärke \vec{B} wirkt auf das Elektron mit der Geschwindigkeit \vec{v} die Lorentzkraft:

$$\vec{F} = e \cdot \vec{v} \times \vec{B} .$$

Im Falle eines homogenen Magnetfelds, wie es in der Helmholtz-Anordnung der Fall ist, bewegt sich das Elektron daher auf einer Schraubenbahn um die Magnetfeldlinien. Diese Schraubenbahn wird zur einem Kreis mit dem Radius r , wenn \vec{v} senkrecht auf \vec{B} steht.

Da die auftretende Zentrifugalkraft $m_0 \cdot v^2 / r$ gleich der Lorentzkraft ist, ergibt sich

$$v = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r ,$$

mit B als Absolutbetrag von \vec{B} . Aus Gleichung (1) folgt

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{(B \cdot r)^2} . \quad (2)$$

Zur Berechnung des Magnetfelds B verwendet man die erste und vierte Maxwell-Gleichung für Fälle, in denen keine zeitlich veränderlichen elektrischen Felder existieren.

Wir erhalten die magnetische Feldstärke B_z auf der z -Achse für einen Kreisstrom I und bei symmetrischer Anordnung zweier Spulen im Abstand a voneinander:

$$B_z = \mu_0 \cdot I \cdot R^2 + \left\{ \left(R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{3/2} + \left(R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{3/2} \right\}$$

mit $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

und R = Radius der Spule.

Im Fall der Helmholtz-Anordnung zweier Spulen ($a=R$) mit der Windungszahl n erhält man in der Mitte zwischen den Spulen

$$B = \left(\frac{4}{5} \right)^{3/2} \cdot \mu_0 \cdot n \frac{I}{R} . \quad (3)$$

Für die verwendeten Spulen ist $R=0,2\text{m}$ und $n=154$.

Aus den Werten in Tabelle 1 ergibt sich der Mittelwert:

$$e/m_0 = (1,84 \pm 0,02) \cdot 10^{11} \text{ As/kg} .$$

Literaturwert: $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}$.

Tabelle 1: Stromstärke I und spezifische Ladung des Elektrons nach (2) und (3) für verschiedene Spannungen U und verschiedene Radien r der Elektronenbahnen.

$\frac{U}{V}$	$r = 0,02 \text{ m}$		$r = 0,03 \text{ m}$		$r = 0,04 \text{ m}$		$r = 0,05 \text{ m}$	
	I	$\frac{e/m_0}{10^{11} \frac{As}{kg}}$						
100	2,5	1,7	1,6	1,8	1,1	2,2	0,91	2,0
120	2,6	1,9	1,7	1,9	1,3	1,9	1,0	2,0
140	2,8	1,9	1,9	1,8	1,4	1,9	1,1	1,9
160	-	-	2,0	1,9	1,5	1,9	1,2	1,9
180	-	-	2,2	1,7	1,6	1,8	1,3	1,8
200	-	-	2,3	1,8	1,7	1,8	1,4	1,7
220	-	-	2,4	1,8	1,8	1,8	1,4	1,9
240	-	-	2,5	1,8	1,9	1,7	1,5	1,8
260	-	-	2,6	1,8	1,9	1,9	1,6	1,7
280	-	-	2,7	1,8	2,0	1,8	1,6	1,8
300	-	-	2,8	1,8	2,1	1,8	1,7	1,7