

Vorbereitung

e/m -Bestimmung
Versuch P1-72,74,75

Iris Conradi
Gruppe Mo-02

7. November 2010

In diesem Versuch soll die spezifische Ladung e/m des Elektrons nach zwei verschiedenen Methoden bestimmt werden.

Zur Bestimmung der spezifischen Ladung unabhängig von der Geschwindigkeit mit der sich die Elektronen bewegen, sind zwei Felder nötig.

In beiden Methoden wird ein E-Feld zur Beschleunigung der Elektronen eingesetzt. Sie treten dann in ein Magnetfeld ein. Die Ausrichtung des Magnetfeldes zur Bewegungsrichtung der Elektronen ist bei der beiden Methoden unterschiedlich gewählt, somit beruht die Messung auf die Beobachtung unterschiedlicher Phänomene.

Inhaltsverzeichnis

1	e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr	4
1.1	Messen der Hallspannung	4
1.1.1	Halleffekt und Magnetfeld Bestimmung	5
1.2	Kalibrierung der Hallsonde	6
1.3	Feld im Inneren des Helmholtzspulenpaares	6
1.4	Messung des Durchmessers der Elektronenkreisbahnen im Fadenstrahlrohr	6
2	e/m-Bestimmung nach der Methode von Busch	7
2.1	Vorbereitende Versuche	7
2.2	e/m -Bestimmung nach Busch	8
3	Quellen	9

1 e/m -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

In einer Glaskugel, die mit etwa 0,013mbar Wasserstoffgas gefüllt ist, befindet sich eine Vorrichtung mit Hilfe der man einen gebündelten Elektronenstrahl erzeugen kann (Glühkathode, kegelförmige Anode, Wehneltzylinder). Durch das Gas wird der Weg des Elektronenstrahls sichtbar gemacht (Wechselwirkung der Elektronen mit den Gasmolekülen). Außerhalb der Glaskugel befindet sich ein Helmholtzspulenpaar¹.

1.1 Messen der Hallspannung

Es wird eine Helmholtzspulenordnung aufgebaut, entsprechend derer, die sich um den Glaskolben des Fadenstrahlrohres befindet. In der Mitte dieser Anordnung wird eine Meßplatte eingebaut. In diese Platte kann an verschiedenen Stellen eine Hallsonde eingebracht werden. Die Hallspannung soll für verschiedene Positionen und bei verschiedenen Spulenströmen gemessen werden.

¹Helmholtzspulenpaar: Zwei parallel angeordnete Spulen (Spulenachsen stimmen überein), deren Abstand den Radien entspricht und die in Reihe geschaltet sind. In der Mitte dieser Anordnung ist das magnetische Feld sehr homogen.

1.1.1 Halleffekt und Magnetfeld Bestimmung

Bewegte Ladungen werden durch ein senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung anliegendes B-Feld abgelenkt. Diese Ablenkung wird durch die Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

beschrieben. In einem stromdurchflossenen Leiterplättchen, das sich wie in Abbildung 1 gezeigt in einem Magnetfeld befindet, werden die Elektronen also abgelenkt. So baut sich ein E-Feld auf, welches senkrecht zum B-Feld und auch senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen ist. Durch dieses Feld wirkt eine elektrische Kraft senkrecht zur Lorentzkraft auf die Elektronen. Es stellt sich ein Kräftegleichgewicht ein. Es werden keine weiteren Elektronen abgelenkt.

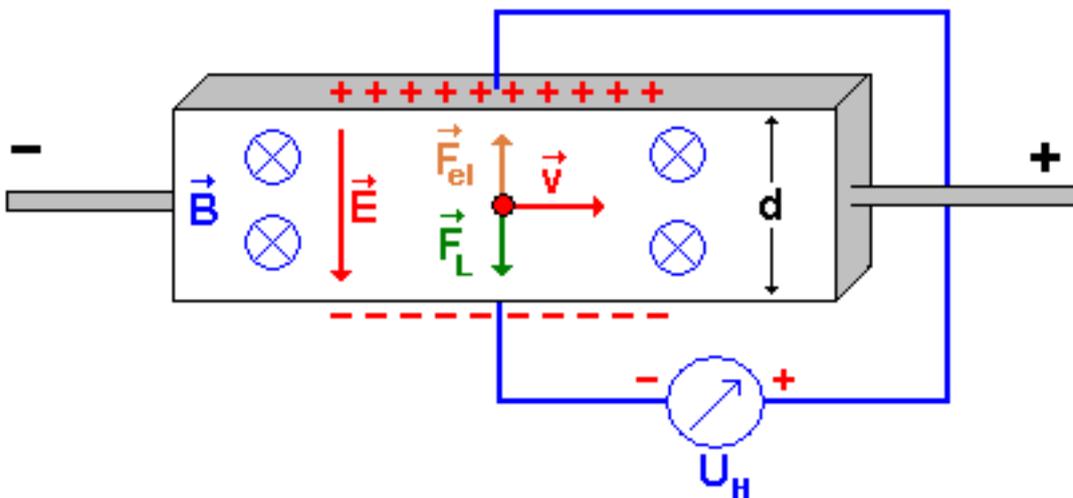


Abbildung 1: Halleffekt ©Landesbildungsserver Baden-Württemberg

Die Spannung, die durch die Ablenkung der Elektronen entstanden ist heißt Hallspannung U_H .

$$U_H = Ed = \frac{IB}{nbe} \quad (1)$$

wobei n die Ladungsträgerdichte und b die Dicke des Plättchens ist.

Mit Hilfe einer Kalibrierung lässt sich also bei bekanntem Strom über die Hallspannung ein Magnetfeld messen.

1.2 Kalibrierung der Hallsonde

Nun wird die Hallspannung in einer Eichspule gemessen.

Das B-Feld der Eichspule kann mit $B = \mu_0 \frac{N}{L} I$ (Magnetfeld einer langen Spule ist recht homogen) berechnet werden. Mit Formel (1) kann nun die Ladungsträgerdichte bestimmt werden. Somit können die in der ersten Aufgabe gemessenen Hallspannungen in Werte für das Magnetfeld umgerechnet werden.

Eine andere Möglichkeit ist das Messen von Hallspannungen bei verschiedenen Magnetfeldern in der Eichspule. Da der Zusammenhang zwischen Magnetfeld und Hallspannung laut Gleichung (1) linear ist, kann man die gemessenen Werte in einem Graph darstellen und eine Gerade durchlegen. Die in der ersten Aufgabe vorliegenden Magnetfelder können dann über die gemessenen Hallspannungen abgelesen werden.

Um aus der Eichung Schlüsse auf die Magnetfelder anderer Messungen ziehen zu können, muss der Strom in der Hallsonde immer gleich sein.

1.3 Feld im Inneren des Helmholtzspulenpaares

Das Feld im Inneren eines Helmholtzspulenpaares berechnet sich nach

$$B = 0,7155 \mu_0 n \frac{I}{R}$$

Der berechnete Wert wird mit den gemessenen Werten verglichen.

1.4 Messung des Durchmessers der Elektronenkreisbahnen im Fadenstrahlrohr

An der Glühkathode werden die Elektronen freigesetzt und dann durch die Spannung zwischen Kathode und Anode (positiv geladen) beschleunigt.

$$\frac{1}{2} m v^2 = e U \quad (\text{Energieerhaltung}) \quad (2)$$

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U} \quad (3)$$

Nach der Anode haben sie die Geschwindigkeit v .

Das magnetische Feld der Helmholtzspulen ist senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen. Auf sie wirkt also die Lorentzkraft $F_L = evB$. Wenn das B-Feld ausreichend groß ist, beschreiben die Elektronen eine Kreisbahn. Die Lorentzkraft zeigt radial zum Kreismittelpunkt. Sie entspricht somit einer Zentripetalkraft.

$$\frac{mv^2}{r} = evb \quad (4)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB} \quad (5)$$

Die Geschwindigkeit ist über Gleichung (3) bekannt. Das Magnetfeld des Helmholtzspulenpaares haben wir bestimmt.

Somit muss nur noch der Radius der Kreisbahn gemessen werden um die spezifische Ladung des Elektrons zu erhalten.

2 e/m -Bestimmung nach der Methode von Busch

In einer Oszillographenröhre werden Elektronen emittiert, auf eine Geschwindigkeit v beschleunigt (siehe Gleichung (3)) und gebündelt (Wehneltzylinder). In der Röhre befinden sich außerdem Kondensatorplattenpaare um den Elektronenstrahl ablenken zu können. Um die Methode nach Busch durchzuführen wird eine solche Röhre in eine Spule gestellt, sodass der Elektronenstrahl vor der Ablenkung parallel zum Magnetfeld in der Spule verläuft.

2.1 Vorbereitende Versuche

Zuerst soll bei ausgeschalteter Spule Strahlintensität und -schärfe auf dem Schirm eingestellt werden. Da an den Kondensatorplatten eine Wechselspannung angelegt ist, sieht man einen Strich auf dem Schirm.

Der Spulenstrom soll nun so eingestellt werden, dass man nur einen kleinen Fleck sieht. Nach den Ablenkplatten bewegen sich die Elektronen schräg zum Magnetfeld. Die Geschwindigkeit kann in eine Parallel- und eine Senkrechtkomponente zum Magnetfeld aufgeteilt werden. Eine Bewegung parallel zum Magnetfeld hat keine Auswirkung auf die Bewegungsrichtung (das Kreuzprodukt in der Lorentzkraft ergibt Null). Die senkrechte Komponente wird jedoch wie oben beschrieben in eine Kreisbahn gezwungen. Aus

der Überlagerung ergibt sich folglich eine Spirale.

Aus Gleichung (5) ergibt sich für den Radius der Spirale also

$$r = \frac{mv_s}{eB} \quad (6)$$

und somit für die Umlaufzeit

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v_s} = \frac{2\pi m}{eB}$$

Wenn das B-Feld der Spule also sehr groß wird, wird der Strich auf dem Schirm immer kleiner.

Da die Ablenkung immer recht klein sind gilt

$$v_p = v \cos(\alpha) \approx v \quad (7)$$

$$v_s = v \sin(\alpha) \approx \alpha v \quad (8)$$

Die Ganghöhen der Spiralen sind also für alle Ablenkung annähernd gleich, die Radien sind jedoch verschieden (siehe Gleichung (6)).

Wenn für die Entfernung l von Ablenkung zu Kondensator gilt:

$$NTv \neq l, \quad (N \in \mathbb{N})$$

dann sieht man auf dem Schirm einen Strich (wegen der verschiedenen Radien). Wenn man den Spulenstrom so variiert, dass nun

$$NTv = l$$

gilt, so sieht man einen Punkt auf dem Schirm, der sich dort befindet, wo der Strahl ohne Ablenkung aufträte.

2.2 e/m -Bestimmung nach Busch

$$Tv = l \quad (9)$$

$$\frac{2\pi m}{eB} \sqrt{2 \frac{e}{m} U} = l \quad (\text{mit Gleichung (3)}) \quad (10)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2} \quad (11)$$

Wenn man also Spulenstrom und Beschleunigungsspannung so wählt, dass auf dem Schirm nur ein kleiner Punkt zu sehen ist, kann man aus den eingestellten Werten die spezifische Ladung bestimmen.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass das Magnetfeld in der Spule (a Abstand des Feldortes vom Spulenende, R mittlerer Radius, n Windungszahl, L Länge der Spule) durch folgende Gleichung gegeben ist:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2L} \left(\frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} + \frac{L - a}{\sqrt{R^2 + (L - a)^2}} \right) \quad (12)$$

3 Quellen

- Bergmann/Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik Band III, 7. Auflage, Elektrizität und Magnetismus
- Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage
- Walcher: Praktikum der Physik, 8. Auflage