Die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons durch die Magnetronmethode

Ziel des Experiments

Das Experiment soll mit Hilfe der Magnetronmethode das Verhältnis $\left(\frac{e}{m}\right)$ zwischen der Ladung des Elektrons und seiner Masse bestimmen.

Die Theorie des Experiments

Die hier angewendete Methode stützt sich auf der Beobachtung der Bewegung des Elektrons in elektrische und magnetische Felder. Die Kraft die diese auf einer Partikel der Ladung (-e) ausübten, wird Lorenzkraft genannt und ist durch die Formel

$$\vec{F} = -e\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right) \tag{1}$$

bestimmt. $\vec{v}$ ist die Geschwindigkeit des Elektrons, $\vec{E}$ die Stärke des elektrischen Feldes, $\vec{B}$ die magnetische Induktion.

Gemäß dem zweiten Gesetz von Newton:

$$\vec{F} = m\vec{a} \tag{2}$$

Die Gleichung die, die Bewegung des Elektrons festlegt, ist folgende:

$$m\vec{a} = -e\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right) \tag{3}$$

Die Magnetronmethode besteht in der Benutzug des so genannten Magnetrons. Dies, ist eine Glühdiode die sich in eine Spule befindet. Eine Glühdiode ist eine elektrische Röhre mit zwei Elektroden, mit einem speziellen Aufbau der in Abb.1 erscheint.

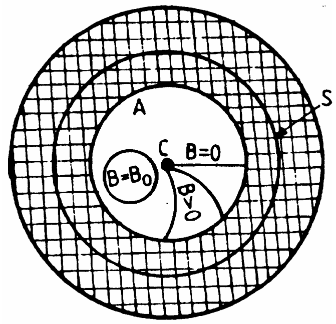

Abb.1 Waagerechter Durchschnitt durch eine Glühdiode.

Die Katode C, der die Form des Glühfadens hat, ist koaxial mit der Anode A. Die Röhre ist in einer Zylinderspule S so angelegt, dass der Vektor der magnetischen Induktion $\vec{B}$ mit der Symmetrieachse des Magnetrons übereinstimmt.

Die Elektronen aus der Katode werden sich im Falle $\vec{B} = 0$ radial zu der Anode unter dem Einfluss des elektrischen Feldes $\vec{E}$ bewegen.

Im Falle $\vec{B} \neq 0$ werden die Elektronen von dem Magnetfeld senkrecht auf $\vec{v}$ abgelenkt. Ihre Bahnen beginnen sich zu beugen. Wenn $\vec{B}$ genügend groß, ist werden die Elektronen, die von der Katode ausgehen, die Anode nicht mehr erreichen. Dieser Fall wird auftreten, wenn die Bahn der Elektronen sich zu einem Kreis mit dem Radius $r = \frac{R}{2}$ verwandelt. Beim Auftreten dieses Phänomens wird der Stromfluss in der Anode zu Null sinken.

Wir suchen nach einer Beziehung, welche die Ladung des Elektrons $\left(\frac{e}{m}\right)$ widerspiegelt. Aus der Bedingung der Nullstromstärke $r = \frac{R}{2}$ werden wir den Wert der magnetischen Induktion B_0 erfahren:

$$\frac{mv^2}{\left(\frac{R}{2}\right)} = evB_0 \tag{4}$$

Außerdem kennen wir, dass die Geschwindigkeit v durch die Potentialdifferenz U der Röhre zu erhalten ist:

$$\frac{mv^2}{2} = eU \tag{5}$$

Nachdem wir v reduziert haben, erhalten wir:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U}{R^2 B_0^2} \tag{6}$$

Wir wissen, dass im Falle einer Zylinderspule die magnetische Induktion, die sich auf ihre Zentralachse überlägt.

$$B = \mu_0 nI \tag{7}$$

beträgt, wo μ_0 die Induktionskonstante des Vakuums, n die Zahl der Windungen pro Längeneinheit der Zylinderspule und I die Stromstärke, die durch die Spule fließt, ist. Wir erhalten:

$$\frac{e}{m} = \frac{8}{\mu_0^2 n^2 R^2} \frac{U}{I_0^2} = K \frac{U}{I_0^2} \tag{8}$$

Der Wert der Konstante K ist in unserem Fall bestimmt: $K = 2{,}25 \cdot 10^9$ (I.S.)

Die experimentelle Vorrichtung

Die Skizze der Vorrichtung des Experiments liegt in Abb.2 vor. Sie besteht aus zwei elektrischen Stromkreisen: links liegt der Stromkreis der Röhre und rechts der jenige der Spule. Diese umfassen:

- Die Glühdiode, T.
- Die Zylinderspule, S.
- Das Voltmeter V, für die Messung der Anodenspannung.
- Das Milliamperemeter mA, - für die Messung der Anodenstromstärke - der auf die 0,006 A Skala eingestellt wird.
- Ein zweites Milliamperemeter mA, für die Messung der Stromstärke - in der Zylinderspule - der auf die 0,6 A Skala eingestellt wird.
- die Widerstandsregler R_1 und R_2.
- die Schalter K_1 und K_2.

Die Ausführung des Experiments

Die obere Vorrichtung befindet sich auf dem Arbeitstisch und ist mit Gleichstrom gespeist. Durch dass Schließen der Schalter K_1 und K_2 werden beide Stromkreise gespeist, so dass mit Hilfe des Widerstandsregler R_1 die auf dem Rohr hinzugeführte Spannung gewechselt werden kann und durch R_2 die Änderung der Stromstärke *I*, der die Spule durchfließt, vollbringt.

Man hält die Anodenspannung konstant und man misst die Anodenstromstärke *i*, für verschiedene Werte der Stromstärke *I* , welche die Spule durchfließt in Hinsicht der Erhaltung von $I_{0,}$ wo es die x-Achse berührt. Der Variationsschritt des Stromes *I* wird so gewählt, dass auf der Milliampereskala das Lesen der Stromwerten mit der größtmöglichen Genauigkeit vollzogen wird (zum Beispiel von 25 in 25 mA).

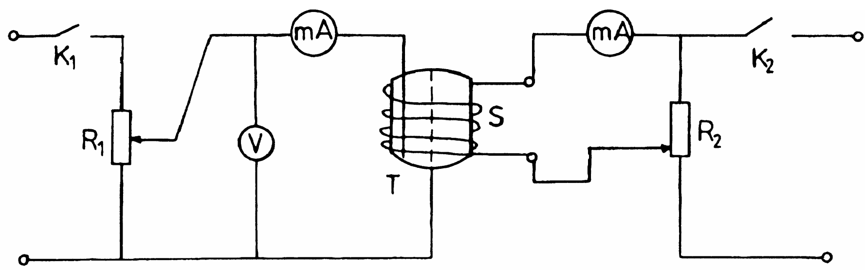

Abb.2 Vorrichtung des Experiments

Die Messungen werden für 3 verschiedene Werte der Anodenspannung angegeben: $U_1 < U_2 < U_3$.

Die Ergebnisse werden in einer Tabelle dieser Form eingetragen:

U_1 30V	$I(\mathrm{A})$
	$i(\mathrm{A})$
U_2 40V	$I(\mathrm{A})$
	$i(\mathrm{A})$
U_3 50V	$I(\mathrm{A})$
	$i(\mathrm{A})$

Die Bearbeitung der Experimentaldaten

Man wird $i = f(I)$ für jeden Wert der Anodenspannung U_1, U_2, U_3 auf Millimeterpapier graphisch darstellen.

Man wird drei Kurven erhalten, deren Graphen ungefähr wie in Abb.3 aussieht.

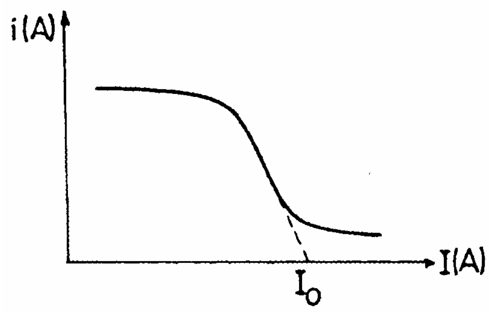

Abb.3 Typische $i = f(I)$ Kurve.

Man bemerkt, dass am Anfang i nicht zusammen mit dem Wachstum von I abnimmt, weil obwohl die Bahnen der Elektronen sich beugen, sie noch an der Anode ankommen. Zusammen mit I wächst auch $\vec{B}$ und die Stromstärke i nimmt immer mehr ab. Es bildet sich ein Sattelpunkt, für dem, wie bekannt, $\frac{di}{dI}$ am größten ist. Man bemerkt außerdem, dass i die x-Achse nie berührt, obwohl I schon den größtmöglichen Wert erreicht hat. Das wird dadurch erklärt, dass nicht alle Elektronen die Katode mit der gleichen Geschwindigkeit verlassen. Einige, mit größeren Geschwindigkeiten, nehmen nicht den Wert $r = \frac{R}{2}$ ein, für den es einen B_0 gibt. Deshalb werden wir annehmen, dass I_0, der Wert für den i die x-Achse berührt, gleich ist mit dem Punkt, in dem die Tangente am Sattelpunkt des Graphen der Funktion $i = f(I)$ die x-Achse berührt.

Man wird also drei verschiedene Werte für I_0 erhalten, die den drei verschiedenen Werte der Anodenspannung U entsprechen. Wir werden für diese $\left(\frac{e}{m}\right)$ gemäß Formel (8) berechnen. Das arithmetische Mittel zwischen den drei erhaltenen Werten $\left(\frac{e}{m}\right)$ wird die der Wahrheit am nähersten liegende Antwort sein.

Fragen

1. Wie bewegen sich die Elektronen in Beziehung zu dem externen elektrischen Feld $\vec{E}$?
2. Wie bewegen sich die Elektronen in Beziehung zu der Richtung der magnetischen Induktion $\vec{B}$?
3. Was stellen folgende Beziehungen dar:

$$\frac{2mv^2}{R} = evB_0 \quad \text{und} \quad \frac{mv^2}{2} = eV \ .$$