

Bestimmung der spezifischen Ladung eines Elektrons mit Hilfe des Fadenstrahlrohrs

Unter Zuhilfenahme des Fadenstrahlrohrs haben wir anhand des Radius' der Kreisbahn eines Elektronenstrahls im homogenen Magnetfeld die spezifische Ladung des Elektrons bestimmt.

Die PG 268-I:

Tutor:	Sing,	Cornelia	
	Bednarczyk,	Diana	196230
	Döring,	Inkje	197382
	Fleischer,	Fabian	197376
	Guyot,	Daniel	194649
	Könnecke,	Rene	197367
	Südmeyer,	Heinrich	197655
	Torabi,	Ramin	197364

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Titelblatt	1
Inhaltsverzeichnis	2
1 Einleitung	3
1.1 Die Bedeutung der spezifischen Ladung eines Elektrons	3
2 Theorie	3
3 Aufbau	4
3.1 Geräteliste	4
3.2 Versuchsaufbau	4
4 Durchführung	4
5 Auswertung	5
6 Resümee	5

1. Einleitung

1.1 Die Bedeutung der spezifischen Ladung eines Elektrons

Effektiv kann man die spezifische Ladung von Elektronen nicht allzu oft wirklich nutzen, aber historisch wurde mit ihr (damals noch von Tolman bestimmt - an seinem Versuch versuchen wir uns wahrscheinlich ab dem 01. Juni) und den Ergebnissen des Millikan-Versuches die Elektronenmasse bestimmt. Beim Millikan-Versuch wird die Elementarladung selbst bestimmt. Diese beiden Versuche sind die wohl eleganteste (und mir einzig bekannte) Möglichkeit, die Elektronenmasse zu bestimmen.

2. Theorie

Elektrisch geladene Teilchen, die sich senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld (einer Helmholtzspule) in diesem Magnetfeld bewegen, beschreiben senkrecht zum Magnetfeld eine Kreisbahn. Das liegt daran, daß die Lorentzkraft immer senkrecht zum Magnetfeld und zur Bewegungsrichtung der Elektronen wirkt. Da es eine Kreisbahn ist, ist die Lorentzkraft gleich der Fliehkraft. Ich betrachte hier nur die jeweils senkrechten Komponenten der auftretenden Vektoren. Dies kann ich deshalb tun, da hier idealisiert alle Vektoren immer orthogonal zueinander sind.

$$F_L = F_R \quad \text{mit } F_L = evB \quad \text{und } F_R = m_e \frac{v^2}{r} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{e}{m_e} = \frac{v}{rB} \quad \text{I}$$

Beschleunigen wollten wir die Elektronen, nachdem die aus einer beheizten Kathode ausgetreten sind, über eine Anode, an der eine Beschleunigungsspannung angelegt ist. Aus der Betrachtung der Energie, die das Elektron durch die Beschleunigungsspannung erhält, und der Energie, die das Elektron nach Durchlauf der Beschleunigungsspannung besitzt, ergibt sich:

$$W = eU \quad \text{und } W = \frac{m_e v^2}{2} ; \quad eU = \frac{m_e v^2}{2} \Leftrightarrow v = \sqrt{2 \frac{eU}{m_e}} \quad \text{II}$$

II in I eingesetzt ergibt:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{r^2 B^2}$$

Die Feldstärke des Magnetfeldes wollten wir ursprünglich errechnen, aber, da wir z.B. die Wicklungszahl der Helmholtzspule (die unser homogenes Magnetfeld herstellen sollte) nicht feststellen konnten und durch äußere Magnetfelder weitere Fehler entstehen würden, haben wir, um die Feldstärke des Magnetfeldes zu bestimmen, eine Hall-Sonde (wird am 18. Mai ausführlich besprochen) benutzt.

3. Aufbau

3.1 Geräteliste

	PL-Inventarnummer:
1. Fadenstrahlrohr (Leybold)	681e
2. Netzgerät 2500 V (Hermann)	691b
3. Netzgerät [30V, 2.5A] EA 7030-025	013b
4. Netzgerät [60V, 1A] (EA 7060-010)	014b
5. Netzgerät [20V, 10A] (Trygon HR 20-10)	015b
6. Tesla-Meter [20-2000 mT, auch für Wechselfelder]	221b

3.2 Versuchsaufbau

4. Durchführung

Anfänglich hatten wir die Intention, das Fadenstrahlrohr so aufzustellen, daß die Ebene, in der unser Elektronenstrahl "kreist", parallel zum Magnetfeld der Erde ist, damit wir das Magnetfeld der Erde vernachlässigen können. Wir wußten zwar, wo Norden ist, aber die Kompass (PL 222a) haben fast nie nach Norden gedeutet. Aufgestellt haben wir es dann ohne Beachtung etwaiger zusätzlicher Magnetfelder.

Da nur die Heizspannung (mit 6,3 V) vorgegeben war, haben wir etwas probieren müssen, bis wir z.B. die Größenordnung der Beschleunigungsspannung kannten. Weitere Probleme ergaben sich aus der Tatsache, daß die dargestellte Schaltung auf dem Fadenstrahlrohr entweder falsch, oder die Schaltung kaputt war. Unsere Beschleunigungsspannung haben wir im Endeffekt am Wehnelt-Zylinder angelegt, der eigentlich nur dazu dient, den Elektronenstrahl zu

fokussieren. Dann war ein blau leuchtender Kreis zu erkennen. Dieses Leuchten kommt dadurch zustande, daß die Elektronen aus dem Elektronenstrahl mit den Elektronen der Gasatome im Fadenstrahlrohr kollidieren und so die Gasatome ionisieren. Wenn dann die ionisierten Atome rekombinieren, indem sie ein Elektron aufnehmen, geben sie die Ionisierungsenergie ($h\nu$) in Form eines Photons wieder ab. Dies geschieht so schnell, daß man von der erkennbaren Kreisbahn direkt auf die Bahn der Elektronen schließen kann. Den Durchmesser des Kreises haben wir dann mit Hilfe des Spiegels dahinter und der Skala vor dem Fadenstrahlrohr ausgemessen. Das Magnetfeld haben wir mit dem Tesla-Meter bestimmt. Wir haben das Fadenstrahlrohr nicht auseinandergenommen, um das Tesla-Meter in den Mittelpunkt des von den Elektronen beschriebenen Kreises zu bringen. Das wäre zwar genauer gewesen, aber dazu hätten wir die Spulen demontieren müssen und wir wollten auch nicht übertreiben. Die Beschleunigungsspannung haben wir direkt auf dem Netzgerät abgelesen.

Eigentlich wollten wir noch die Beschleunigungsspannung und die Stärke des Magnetfeldes variieren, um mehrere Werte für die spezifische Ladung des Elektrons zu erhalten, aber leider hatten wir am Ende das Problem, daß die Fadenstrahlröhre nicht mehr funktionierte. Der Elektronenstrahl war leider nicht mehr erkennbar. Wahrscheinlich war kein Elektronenstrahl mehr vorhanden. Statt dessen leuchtete die Kathode, wenn nur die Heizspannung angelegt wurde, ungewöhnlich hell.

5. Auswertung

Grundlage dieser Auswertung ist eine Beschleunigungsspannung von 500V und ein Magnetfeld von 1,38mT. Den Durchmesser des von den Elektronen beschriebenen Kreises haben wir viermal gemessen. Als zugehöriger Radius ergibt sich:

$r=d/2$	0,057m	0,05725m	0,058m	0,05825m
---------	--------	----------	--------	----------

Als Mittelwert ergibt sich: $\bar{r} = (5,76 \pm 0,02) \cdot 10^{-2} m$.

Als systematischen Fehler von U würde ich 10V veranschlagen; wir haben zwar nicht explizit nachgemessen, aber 2% sind so eine Art "Standardabweichung". Das Ermitteln des systematischen Fehlers von B gleicht wohl eher einem "Raten" als einem realistischen Abschätzen. Das liegt daran, daß unser Magnetfeld nicht wirklich homogen schien und der eine Meßwert, den wir haben, nicht wirklich im Zentrum des Kreises gemessen wurde. Ich würde daher 0,1mT veranschlagen.

In $\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{r^2 B^2}$ eingesetzt ergibt sich:

$$\frac{e}{m_e} \approx \frac{2 \cdot 500V}{(0,0576m)^2 \cdot (1,38mT)^2} = (1,6 \pm 0,2) 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Woraus sich ein relativer Fehler von 14,6% ergibt.

Verglichen mit dem Literaturwert von $\frac{e}{m_e} = 1,758819617 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ ergibt sich eine Abweichung von 10%

6. Resümee

Total daneben liegen wir natürlich auch diesmal nicht, aber bei unseren bisherigen Versuchen wurden wir mit Abweichungen von unter 2% vom Literaturwert verwöhnt; leider war es nicht möglich mehrere Messungen durchzuführen, dann wären wir sicherlich mit der gewohnten Genauigkeit belohnt worden.