

Versuch P1-72,74,75
Bestimmung von e/m des Elektrons

Vorbereitung

Von Jan Oertlin

23. November 2009

Inhaltsverzeichnis

1. e/m - Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr.....	2
1.1. (Hallspannung).....	2
1.2. Eichen der Hallsonde.....	2
1.3. Vergleich von Berechnung und Messung.....	3
1.4. Durchmesser der Elektronenkreisbahn im Fadenstrahlrohr.....	3
1.4.1. In Abhängigkeit der Anodenspannung.....	3
1.4.2. In Abhängigkeit vom Spulenstrom.....	3
2. e/m - Bestimmung nach Busch.....	4
2.1. Vorbereitung.....	4
2.2. Ermittlung von e/m	4
3. Anhang.....	5
3.1. Das Fadenstrahlrohr.....	5

1. e/m - Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr

1.1. (Hallspannung)

Hier bestimmen wir mittels einer Hall-Sonde die *Hallspannung*. Da das für die spätere Messung zu nutzende Helmholtzspulenpaar unzugänglich sind, bauen wir noch eine dritte baugleiche auf, um dort unsere Messungen durchzuführen.

Wir messen bei unterschiedlichen Stromstärken ($I = 1.0 \text{ A}$, 1.5 A und 2.0 A) an verschiedenen Stellen die Hallspannung.

Bei einer Hall-Sonde wird der *Halleffekt* ausgenutzt: Befindet sich ein stromdurchflossener Leiter senkrecht zu einem Magnetfeld, so werden die Elektronen an einen „Rand“ des Leiters durch das Magnetfeld gelenkt. Dies geschieht so lange, bis sich die Kräfte auf die Elektronen durch das magnetische- und elektrische Feld ausgleichen. Die dadurch entstandene Spannung messen wir und heißt *Hallspannung*.

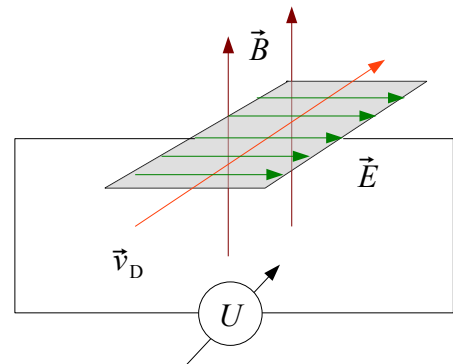


Abb. 1: Skizze einer Hall-Sonde

Auf diese Weise kann man z.B. gut die Stärke des Magnetfeldes bestimmen:

$$\begin{aligned}\vec{F}_L &= q(\vec{v}_D \times \vec{B}), \quad \vec{F}_C = q\vec{E} \\ \vec{F}_L &= \vec{F}_C \\ \Rightarrow \vec{v}_D \times \vec{B} &= \vec{E}\end{aligned}$$

Da $\vec{v}_D \perp \vec{B}$ und $|\vec{E}| = \frac{U}{b}$, wobei b die Breite der Sonde ist, folgt:

$$\begin{aligned}v_D B &= \frac{U_H}{d} \Rightarrow U_H = v_D b B \\ \Rightarrow B &= C \cdot U_H \text{ also } U_H \propto B\end{aligned}$$

1.2. Eichen der Hallsonde

Nun eichen wir die Hallsonde mittels der *Eichspule*. Da wir das Magnetfeld dieser Spule gut berechnen können, lässt sich daraus die Konstante C (siehe **Aufgabe 1.1.**) bestimmen. Dazu messen wir verschiedene Stromstärke-Hallspannungs-Paare und bestimmen die Eichgerade $B(U_H)$, deren Steigung gerade C entspricht.

Das Magnetfeld lässt sich berechnen durch:

$$\begin{aligned}\int_0^L \vec{B} d\vec{s} &= B L = n \mu_0 I \\ \Rightarrow B &= \frac{n}{L} \mu_0 I\end{aligned}$$

Wobei L die Länge der Spule und n die Windungszahl ist. Hier ist $L = 30 \text{ cm}$ und $n \approx 750$.

1.3. Vergleich von Berechnung und Messung

Nun sollen wir mit der geeichten Hall-Sonde das Magnetfeld in der Mitte zwischen den Spulenpaaren messen und mit berechneten Werten vergleichen.

Aus der Aufgabenstellung entnehmen wir die Berechnungsformel für das B -Feld:

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

Wobei hier R der Spulenradius und n wieder die Windungszahl ist.

Es ergibt sich für $n = 130$ und $R = 15$ cm:

I in A	1,0	1,5	2,0
B in mT	0,779	1,169	1,558

1.4. Durchmesser der Elektronenkreisbahn im Fadenstrahlrohr

Nachdem die Zusatzspule abgebaut wurde, legen wir die Fadenstrahlröhre so, dass sich Kreisbahnen für den Elektronenstrahl ergeben. Den Durchmesser dieser Kreisbahn werden wir messen.

Der Zusammenhang zwischen Anodenspannung U_A , Spulenstrom I und Durchmesser d ergibt sich wie folgt:

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = e U_A \Rightarrow v^2 = 2 \frac{e U_A}{m_e}$$

$$F_Z = 2 m_e \frac{v^2}{d}, \quad F_L = e v B(I)$$

Es muss gelten:

$$F_Z = F_L$$

$$\Leftrightarrow 2 m_e \frac{v^2}{d} = e v B(I)$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m_e} = \frac{8 U_A}{d^2 B^2(I)}$$

Wobei $B(I)$ aus **Aufgabe 1.3.** bekannt ist.

1.4.1. In Abhängigkeit der Anodenspannung

Bei Spannungen von $U_A = 100, 125, \dots, 250$ V und zwei unterschiedlichen Spulenströmen $I_L = 1$ A und $I_L = 2$ A.

1.4.2. In Abhängigkeit vom Spulenstrom

Bei Spulenströmen von $I_L = 1.0, 1.2, \dots, 2.0$ A und zwei unterschiedlichen Anodenspannungen $U_A = 125$ V und $U_A = 250$ V.

2. e/m - Bestimmung nach Busch

2.1. Vorbereitung

Zuerst stellen wir den Elektronenstrahl so ein, dass dieser durch einen scharfen Punkt auf dem Schirm dargestellt wird.

Nun legen wir an die vier Ablenkplatten eine Wechselspannung an (Spulenstrom ist ausgeschaltet), so, dass auf dem Schirm ein möglichst langer, diagonaler Strich zu sehen ist.

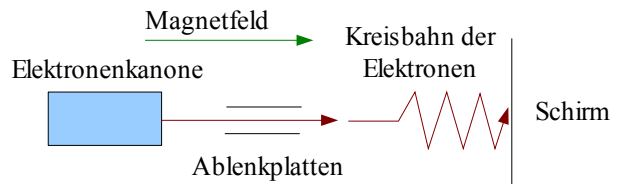


Abb. 2: Skizze zum Aufbau zur Methode nach Busch

Nun schalten wir das Magnetfeld ein: Da nun die Elektronen durch die Ablenkung auch eine Geschwindigkeitskomponente senkrecht zum Magnetfeld haben, bewegen sich diese auf einer Schraubenbahn. Wenn der Spulenstrom genau so eingestellt ist, dass die Elektronen genau ein Vielfaches einer ganzen Schraube beschreiben, sieht man auf dem Schirm wieder einen Punkt.

Es ergibt sich somit für n -Umläufe:

$$r = \frac{v_r m_e}{e B}, \quad t = \frac{2\pi r}{v_r} = \frac{s}{v_x}, \quad v_x^2 = 2 \frac{e U_A}{m_e}$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m_e} = n \frac{8\pi^2 U_A}{s^2 B^2}$$

Wobei s der Abstand zwischen den Ablenkplatten und dem Schirm ist.

2.2. Ermittlung von e/m

Um das Verhältnis von e zu m zu ermitteln, messen wir bei unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen $U_A = 500 \text{ V} \dots 700 \text{ V}$ ($\Delta U_A = 25 \text{ V}$) den Spulenstrom I bei der geforderten Einstellung aus **Aufgabe 2.1**.

Wir tragen in einem Diagramm U_A über I^2 auf. Da $\frac{e}{m_e} \propto \frac{U_A}{B^2}$ ist, ist die Steigung der Regressionsgeraden gerade $C \frac{e}{m_e}$, wobei wir aus **Aufgabe 2.1** für $C = \frac{8\pi^2}{s^2}$ entnehmen können.

Wir müssen noch beachten, dass das Magnetfeld sich nicht genau genug durch $B = \mu_0 n I / L$ beschreiben lässt. Deshalb nehmen wir das B -Feld an mit:

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

Dabei ist R der Spulenradius und a der Abstand des Feldortes zum Spulenende.

3. Anhang

3.1. Das Fadenstrahlrohr

Ein Fadenstrahlrohr besteht aus einer Heizspirale und einer Anode, die die aus der Heizspirale austretenden Elektronen beschleunigt. Diese Elektronen werden in einen Glaskolben geschossen, in dem sehr wenig Gas (z.B. Wasserstoff) ist. Durch dass die Elektronen vereinzelt an die Gas-moleküle stoßen und diese zum leuchten anregen, kann man die Bahn der Elektronen sehen.

Nun kann ein einigermaßen homogenes Magnetfeld mit z.B. einem Helmholtzspulenpaar erzeugt werden, wodurch der Elektronenstrahl ablenken und auf eine Kreisbahn gezwungen wird. Durch das Gleichsetzen der Lorentz- und Zentripetalkraft, kann das Verhältnis e/m in Abhängigkeit des Bahnradius berechnet werden. Siehe **Aufgabe 1.4.**

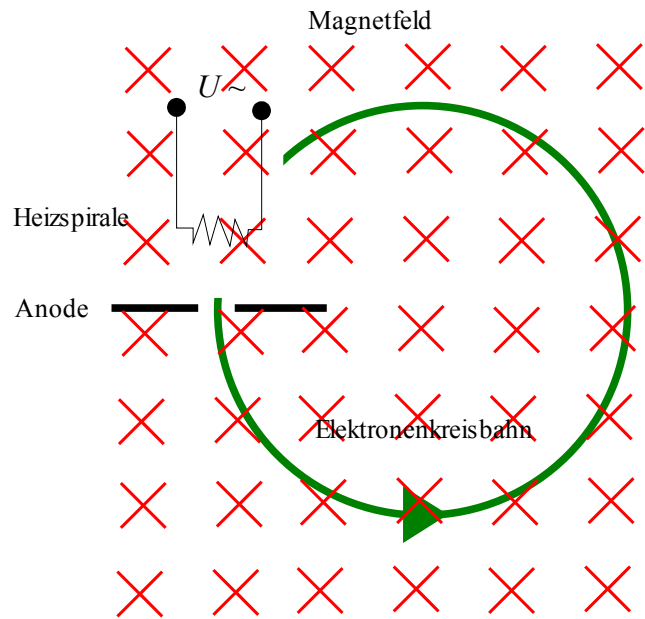


Abb. 3: Skizze eines Versuchsaufbaus