

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Wintersemester 2018/19

Versuch 80:
**Bestimmung der spezifischen
Elektronenladung**

(durchgeführt am 06.03.2019)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Ziel des Versuchs	1
2 Versuchsaufbau und Durchführung	1
2.1 Aufbau	1
2.2 Durchführung	2
3 Physikalische Zusammenhänge	3
4 Auswertung und Fehleranalyse	4
4.1 Messwerte und berechnete Werte zu Teil 1	4
4.2 Auswertung zu Teil 1 : Bestimmung von e/m	4
4.3 Messwerte zu Teil 2	5
4.4 Auswertung zu Teil 2: Abhängigkeit vom Einschusswinkel	6
5 Diskussion der Ergebnisse	9
5.1 Teil 1: Bestimmung von e/m	9
5.2 Teil 2: Abhängigkeit vom Einschusswinkel	10
Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	12
Literatur	12
Anhang	

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll mit Hilfe eines Fadenstrahlrohrs die spezifische Elektronenladung bestimmt werden. Außerdem soll die Abhängigkeit von Radius und Steighöhe vom Einschusswinkel betrachtet werden.

2 Versuchsaufbau und Durchführung

2.1 Aufbau

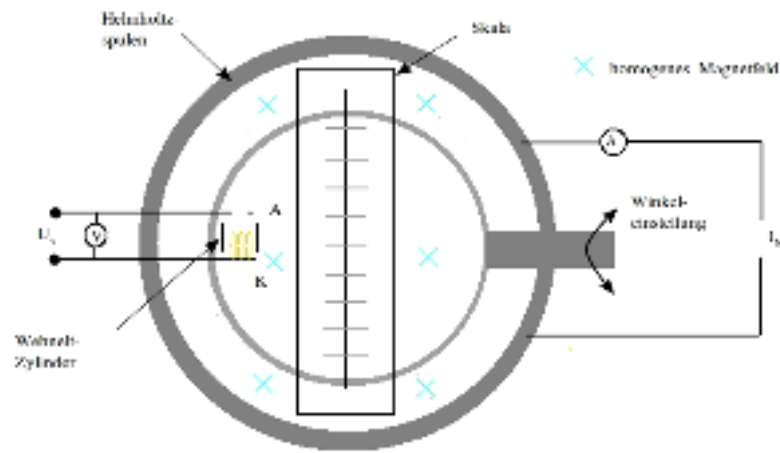


Abbildung 1: Skizzierte Darstellung des Fadenstrahlrohrs, Ablenkplatten sind zur Erhaltung der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet, wurden in unserer Durchführung aber auch nicht verwendet

Der Versuch (Abb. 1) besteht aus einem Fadenstrahlrohr in einem homogenen Magnetfeld. Über eine Heizkathode werden bei korrekt angelegter Spannung Elektronen emittiert und in Richtung der Anode beschleunigt. Mit Hilfe eines Wehnelt-Zylinders kann der Elektronenstrahl fokussiert werden und durch ein Paar Ablenkplatten bei Bedarf abgelenkt werden.

Der Glaskörper des Fadenstrahlrohrs ist mit Argon gefüllt, was bei Stößen mit Elektronen Licht emittiert und somit den Elektronenstrahl sichtbar macht. Hinter dem Fadenstrahlrohr und am Boden des Versuchsaufbaus sind Skalen zum Ablesen von Kreisdurchmesser und Steighöhe angebracht.

Das Fadenstrahlrohr ist im Zentrum eines Helmholtzspulenpaares aufgestellt. Somit kann durch einen Strom durch die Spulen des Helmholtzpaars ein homogenes Magnetfeld im Bereich des Fadenstrahlrohrs erzeugt werden. Das Fadenstrahlrohr ist über ein an der Seite angebrachtes Rad drehbar und der Winkel ist an einer Skala abzulesen.

2.2 Durchführung

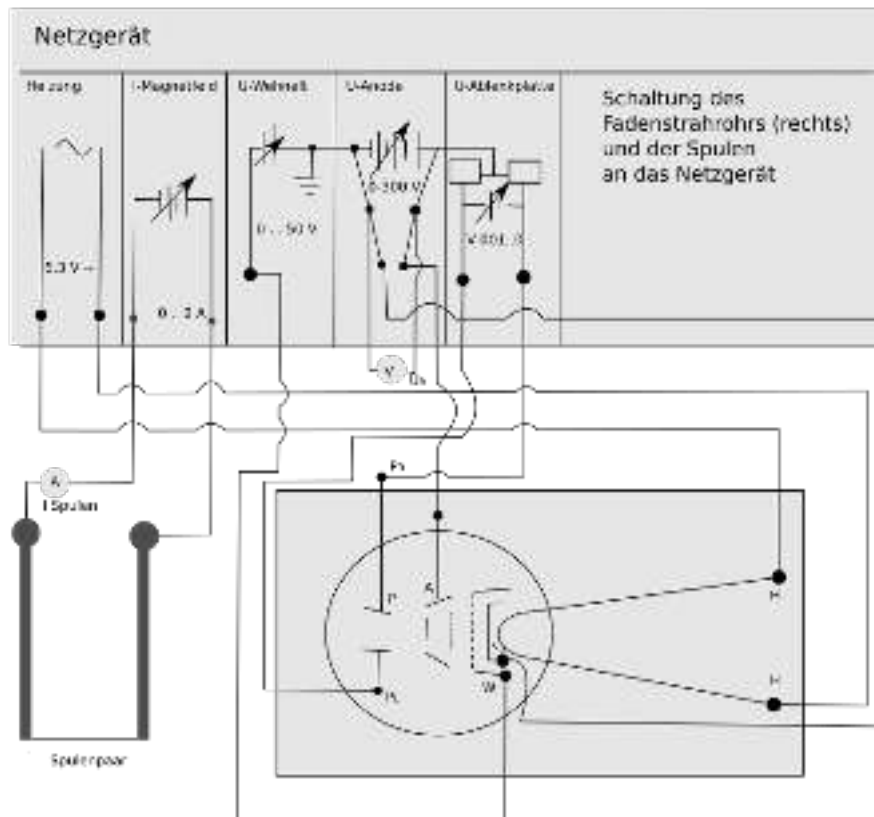


Abbildung 2: Plan der genutzten Schaltung

Zunächst wurde das Fadenstrahlrohr zusammen mit dem Helmholtzspulenpaar nach dem Schaltplan Abb. 2 angeschlossen. Danach wurde kurz die Wirkung der unterschiedlichen Spannungen überprüft, um sich mit dem Aufbau vertraut zu machen.

Teil 1: Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Zur Bestimmung der spezifischen Elektronenladung wurden elf Wertetripel aus Anodenspannung, Stromstärke und Durchmesser des entstehenden Elektronenstrahlrings aufgenommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass Parallaxenfehler so weit wie möglich vermieden wurden, indem beim Ablesen der Ring mit dem Spiegelbild auf der Skala in Deckung gebracht wurde. Außerdem wurde der Einschusswinkel auf Null gestellt, wurde also ein geschlossener Kreis und keine Spirale vermessen.

Teil 2: Abhängigkeit vom Einschusswinkel

Im zweiten Teil des Versuchs wurde bei ca. 1,5 A eine Kreisbahn von ca. 6 cm Durchmesser durch Anpassen der Anodenspannung erzeugt. Diese Vorgabe war nicht ganz zu erreichen, daher wurde die für uns nächst mögliche Einstellung gewählt. Die so entstandene Anodenspannung und der Spulenstrom wurden notiert und nicht mehr verändert.

Dann wurde der Offset der Winkelskala bestimmt, indem der Winkel, welcher zu einer geschlossenen Kreisbahn führt, bestimmt wurde. Bei diesem Winkel wurde der Durchmesser der Kreisbahn gemessen und die Ganghöhe zu Null bestimmt. Danach wurde für verschiedene Winkel der Durchmesser der Kreisbahn und die Ganghöhe gemessen. Wiederrum wurde versucht beim Durchmesser Parallaxenfehler zu vermeiden, beim Messen der Ganghöhe war dies mit der Spiegelmethode nicht möglich, da keine Spiegelung zu erkennen war. Es wurde aber darauf geachtet immer eine vollständige Ganghöhe zu messen, um zumindest den relativen Fehler auf die Ganghöhe zu minimieren.

3 Physikalische Zusammenhänge

Bei Durchlaufen der Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode erhalten die Elektronen die kinetische Energie

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = eU \quad . \quad (1)$$

Treten sie nun in das Magnetfeld zwischen den Helmholtzspulen ein, so wirkt eine Lorentzkraft

$$F_L = ev_{\perp}B \quad (2)$$

auf die Elektronen. Ist die Geschwindigkeit der einschließenden Elektronen so gerichtet, dass der Geschwindigkeitsvektor senkrecht auf dem Magnetfeld steht, so werden die Elektronen auf eine Kreisbahn gezwängt. Da die Lorentzkraft in diesem Fall als Zentripetalkraft wirkt, gilt der Zusammenhang

$$F_Z = \frac{mv^2}{r} = evB = F_L \quad . \quad (3)$$

Nutzt man nun Gleichung (1) und Gleichung (3) so kann man einen Zusammenhang zwischen spezifischer Elektronenladung und dem Wertetripel Anodenspannung, Magnetfeld und Bahnradius herstellen:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2B^2} \quad . \quad (4)$$

Diese Gleichung wird später in der Auswertung verwendet, um die spezifische Elektronenladung zu bestimmen.

Um das Magnetfeld zu bestimmen wird der (hier nicht bewiesene) für diesen Aufbau geltende Zusammenhang aus der Anleitung zwischen Stromstärke und Magnetfeld

$$B = 0.78 \cdot 10^{-3} \left(\frac{I}{A} \right) T \quad (5)$$

genutzt.

Die Zyklotronfrequenz hängt mit der spezifischen Ladung und der Magnetfeldstärke zusammen

$$\omega_z = 2\pi\nu_z = \frac{|q|}{m}B \quad , \quad (6)$$

wobei die Geschwindigkeit des Teilchens deutlich kleiner als die Lichtgeschwindigkeit sein muss.

Für Elektronen, welche sich nicht senkrecht zum Magnetfeld bewegen, wird die Geschwindigkeit in eine parallele und senkrechte Komponente zerlegt. Für die senkrechte Komponente gilt Gleichung (3) und es entsteht eine Kreisbahn, die parallele Komponente wird nicht beeinflusst und führt daher zu einer Aufweitung der Bahn, daher einer Spirale. Für den Zusammenhang zwischen Radius und Ganghöhe der Bahn lässt sich

$$\tan \alpha = \frac{v_{\parallel}}{v_{\perp}} = \frac{s}{2\pi r} \quad (7)$$

finden.

4 Auswertung und Fehleranalyse

4.1 Messwerte und berechnete Werte zu Teil 1

Tabelle 1: Aus aufgenommenen Werten berechnete spezifische Elektronenladung

Anodenpannung [V]	Stromstärke [A]	Radius [m]	e/m [10 ¹¹ C/kg]
200.0	1.001	0.054	2.250
210.0	1.0	0.055	2.282
220.0	1.3	0.0435	2.262
230.0	1.4	0.0415	2.240
240.0	1.5	0.039	2.305
250.0	1.2	0.051	2.238
260.0	1.3	0.0475	2.242
270.0	1.5	0.042	2.236
280.0	1.65	0.038	2.341
290.0	1.7	0.0385	2.225

4.2 Auswertung zu Teil 1 : Bestimmung von e/m

Im Versuchteil 1 wurden für verschiedene Wertepaare von Spannung U & Stromstärke I der Radius der Elektronenkreisbahn gemessen um die spezifische Elektronenladung e/m zu bestimmen. Hierfür wurde der folgende Zusammenhang und die Werte aus Tabelle 1 verwendet.

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{C^2 I^2 r^2} \text{ mit } C = 0,78 \cdot 10^{-3} \frac{\text{T}}{\text{A}}$$

Den Mittelwert für die spezifische Elektronenladung erhielten wir mit

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Zunächst sollte der Fehler auf die ermittelte Größe mit der statistischen Standardabweichung auf unsere Stichprobe bestimmt werden. Hierzu wurde

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}$$

und

$$s_{\langle x \rangle} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

verwendet. Auf diese Weise erhielten wir den Wert

$$\left\langle \frac{e}{m} \right\rangle = (2,262 \pm 0,012) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \quad .$$

Für einen späteren Vergleich sollte der Fehler auf den von uns ermittelten Wert für eine Einzelmessung exemplarisch mit Fehlerfortpflanzung durchgeführt werden. Hierzu verwendeten wir den Ausdruck

$$s_{\frac{e}{m}} = \sqrt{\left(\frac{2}{C^2 I^2 r^2} \cdot s_U \right)^2 + \left(\frac{-4 \cdot U}{C^2 I^2 r^3} \cdot s_r \right)^2 + \left(\frac{-4 \cdot U}{C^2 I^3 r^2} \cdot s_I \right)^2} \quad .$$

Mit den Fehlern $s_U = 0,5 \text{ V}$, $s_I = 0,0005 \text{ A}$ und $s_r = 0,25 \text{ cm}$ und den Werten der neunten Einzelmessung, welche aus Tabelle 1 entnommen werden können, erhielten wir folgenden Wert.

$$\frac{e}{m} = (2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \quad .$$

4.3 Messwerte zu Teil 2

Tabelle 2: Einschusswinkel und dazugehörige Messwerte

α	α [rad]	s [m]	r [m]
0	0.0	0.0	0.034
-5	-0.087	-4.0	0.0325
-10	-0.175	-5.0	0.0275
10	0.175	5.5	0.029
15	0.262	8.5	0.025

Tabelle 3: Geschwindigkeitskomponenten bei unterschiedlichen Einschusswinkeln

α	$v_{\parallel}$ [m/s]	$v_{\perp}$ [m/s]
0	0.0	6997302.0
-5	-609855	6970675
-10	-1215069	6890997
10	1215069	6890997
15	1811035	6758875

4.4 Auswertung zu Teil 2: Abhängigkeit vom Einschusswinkel

Zunächst sollte mit Hilfe des Literaturwerts der spezifischen Elektronenladung $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ [Quelle 1] die Zyklotronfrequenz ν_z bestimmt werden und dann für den gemessenen Radius die theoretisch notwendige Spannung U bestimmt werden. Zur Berechnung der Zyklotronfrequenz wurde Gleichung (6) verwendet. Um den Fehler zu berechnen erhält man mittels Fehlerfortpflanzung die Rechenvorschrift

$$s_{f_z} = \frac{e \cdot C}{2\pi m} \cdot s_I \quad .$$

Man erhält so für die Zyklotronfrequenz mit $s_I = 0,0005 \text{ A}$ den Wert

$$\nu_z = (327,5 \pm 1,1) \cdot 10^5 \text{ Hz} \quad .$$

Mit der Zyklotronfrequenz ν_z und dem Radius r lässt sich über die folgenden Formeln die theoretisch benötigte Spannung für die Kreisbahn errechnen. Zunächst wird der Betrag der Bahngeschwindigkeit und der dazugehörige Fehler bestimmt.

$$s_v = \sqrt{(2\pi r \cdot s_{f_z})^2 + (2\pi f_z \cdot s_r)^2}$$

$$v = 2\pi \cdot r \cdot \nu_z = (7,00 \pm 0,05) \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

An dieser Stelle sieht man, dass es durchaus berechtigt ist den Vorgang mit klassischer Mechanik zu beschreiben, da es sich um ca. 2.3% der Lichtgeschwindigkeit handelt. Die theoretisch benötigte Spannung um die Elektronen auf eine Kreisbahn mit einem gegebenen Radius und Strom zu bringen lässt sich wie folgt berechnen.

$$s_U = \frac{mv}{e} \cdot s_v$$

$$U = \frac{E_{\text{kin}}}{e} = \frac{1}{2e} \cdot mv^2$$

Man erhält so für die Spannung mit $r = (3,40 \pm 0,25) \text{ cm}$ und $I = (1,500 \pm 0,005) \text{ A}$ den Wert

$$U_{\text{theo}} = (139 \pm 2) \text{ V} \quad ,$$

während die von uns, bei der Kreisbahn mit dem verwendeten Radius r , gemessene Spannung $U = (150,0 \pm 0,5) \text{ V}$ betrug.

Nun wurde bei verschiedenen Winkeln α , die Ganghöhe s und der Radius r der sich ergebenden Spirale gemessen (Siehe Tabelle 2). Zu Beginn der Messung wurde ein Offset der Winkelskala um 7.5° festgestellt, dieser Offset wurde in den Messdaten korrigiert. Um den Zusammenhang zu untersuchen wurde $s/2\pi r$ gegen $\tan \alpha$ aufgetragen und eine, auf Grund der stark unterschiedlichen Fehler, gewichtete Lineare Regression mit

$$a = \frac{\sum g_i x_i^2 \sum g_i y_i - \sum g_i x_i \sum g_i x_i y_i}{\sum g_i \sum g_i x_i^2 - (\sum g_i x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum g_i \sum g_i x_i y_i - \sum g_i x_i \sum g_i y_i}{\sum g_i \sum g_i x_i^2 - (\sum g_i x_i)^2}$$

für $y = a + bx$

durchgeführt. Die Fehler auf Steigung und Achsenabschnitt wurden mit

$$u_a = \sqrt{\frac{\sum g_i x_i^2}{\sum g_i \sum g_i x_i^2 - (\sum g_i x_i)^2}}$$

$$u_b = \sqrt{\frac{\sum g_i}{\sum g_i \sum g_i x_i^2 - (\sum g_i x_i)^2}}$$

berechnet. Das Gewicht g_i wurde wie folgt bestimmt.

$$g_i = \frac{1}{s_{\frac{s_i}{2\pi r_i}}}$$

Die Fehler wurden mittels Fehlerfortpflanzung (mit $s_s = 0,5 \text{ cm}$, $s_r = 0,25 \text{ cm}$ und $s_\alpha = 1^\circ$) zu folgenden Rechenvorschriften berechnet:

$$s_{\frac{s}{2\pi r}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi r} \cdot s_s\right)^2 + \left(-\frac{s}{2\pi r^2} \cdot s_r\right)^2}$$

$$s_\alpha^{\text{rad}} = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot s_\alpha$$

(von nun an sind alle Angaben zu α in Bogenlängen)

$$s_{\tan \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \cdot s_\alpha$$

Man erhält somit mit den Messdaten aus Tabelle 2 die folgende Abbildung. Die errechneten

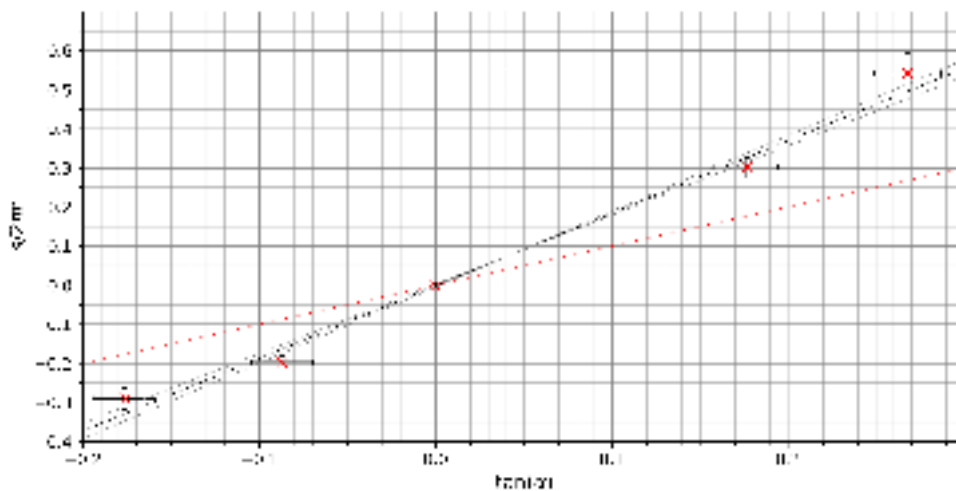


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Winkel, Ganghöhe und Radius
[Die Gerade in rot beschreibt den theoretisch erwarteten Verlauf.]

Parameter des linearen Fits betragen

$$a = -0.001$$

$$b = 1.86$$

$$s_a = 0.004$$

$$s_b = 0.08 \quad ,$$

während die Parameter des theoretischen Verlaufs die Parameter $a_{\text{theo}} = 1$ und $b_{\text{theo}} = 0$ betragen. Im Weiteren wurde die Abnahme des Bahnradius mit dem Winkel α untersucht, hierzu wurden die gemessenen Bahnradien gegen den jeweiligen Winkel aufgetragen. Die Fehler sind aus der vorhergegangenen Auswertung bekannt. Um die Güte der Messung

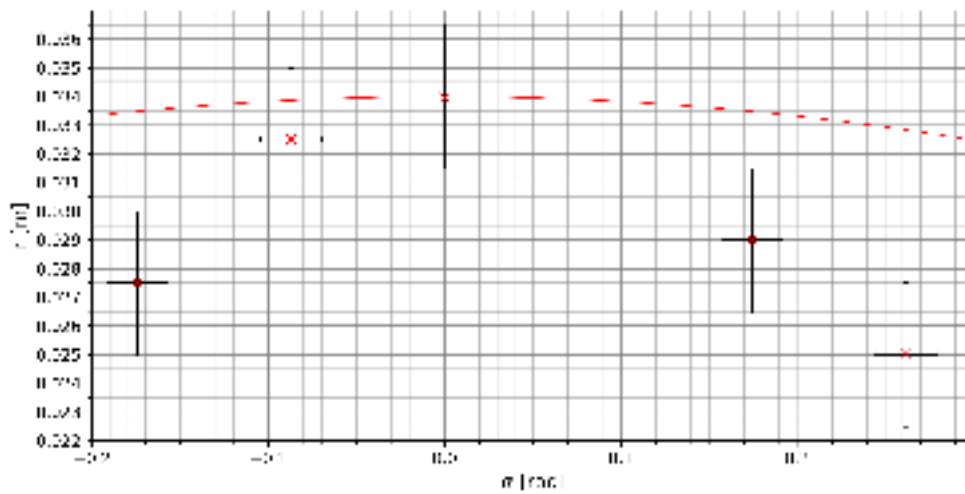


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Bahnradius r und Winkel α

bewerten zu können wurde in rot der theoretische Verlauf, der wie folgt gegeben ist, eingezeichnet.

$$r(\alpha) = r_{[\alpha=0]} \cdot \cos \alpha$$

Anschließend wurde für alle gemessenen Winkel die jeweiligen Geschwindigkeitskomponenten mit dem folgenden Zusammenhang ausgerechnet.

$$v_{\parallel} = |\vec{v}| \cdot \sin \alpha$$

$$v_{\perp} = |\vec{v}| \cdot \cos \alpha$$

Die Fehler auf die jeweilige Größe berechnet sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung durch die folgenden Rechenvorschriften.

$$s_{v_{\parallel}} = \sqrt{(\sin \alpha \cdot s_v)^2 + (v \cos \alpha \cdot s_{\alpha})^2}$$

$$s_{v_{\perp}} = \sqrt{(\cos \alpha \cdot s_v)^2 + (-v \sin \alpha \cdot s_{\alpha})^2}$$

Man erhält somit die Daten aus Tabelle 3. Trägt man diese Daten als Vektorgrafik auf, so erhält man Abb. 5.

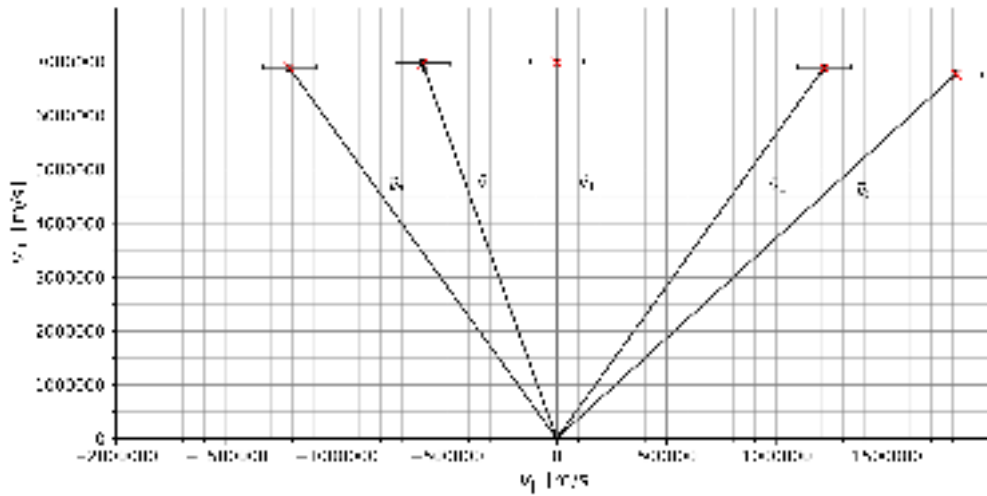


Abbildung 5: Geschwindigkeitskomponenten

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Teil 1: Bestimmung von e/m

Die spezifische Elektronenladung wurde mit zwei unterschiedlichen Fehlerrechnungen bestimmt. Für die statistische Auswertung erhielten wir

$$\frac{e}{m} = (2,262 \pm 0,012) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

und die Berechnung einer Einzelmessung mit einem über Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnetem Fehler ergab

$$\frac{e}{m} = (2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} .$$

Eine Betrachtung der Wirkung des systematischen Fehlers der Messgeräte konnten wir nicht Durchführen, da es keine Daten zu den systematischen Fehlern der Geräte gab und wir während des Versuchs keine systematischen Fehlerquellen identifizieren konnten. Auch ein systematischer Fehler beim Ablesen des Kreisdurchmessers wurde zunächst nicht vermutet.

Der Literaturwert für die spezifische Elektronenladung liegt bei $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$ [Quelle 1].

Damit liegt der Literaturwert innerhalb von 42 Standardabweichungen des über den Mittelwert und seinen statistischen Fehler ermittelten Wertes. Diese relativ hohe Abweichung liegt vor allem daran, dass der statistische Fehler sehr gering ist, was vermuten lässt, dass es doch einen systematischen Fehler gab, welcher alle Werte für die spezifische Elektronenmasse um ca. $0,4 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$ verschiebt.

Da wir keine Kenntnis über Gerätefehler haben und an dieser Stelle auch keine wahllosen Aussagen treffen wollten, wurde der gemessene Durchmesser noch mal genauer betrachtet. Da der Elektronenstrahl auch durch verschiedene Einstellungen des Wehneltzylinders nicht

zu fokussieren war, hat sich eine Linienbreite von ca. 5 mm ergeben. In den Messungen wurde versucht ein möglichst genauer Wert zu ermitteln, indem Parallaxenfehler durch das Spiegelbild vermieden wurden. Dies war nur vernünftig möglich, wenn als Ablesepunkt der innere Radius des Kreises gewählt wurde, da dieser besonders scharf zu erkennen war.

Bei der ersten Auswertung wurde kein systematischer Fehler im Radius vermutet, da wir davon ausgegangen sind, dass der am schärfsten abgebildete Teil der Kreises auch der wahre Ort des Elektronenstrahls ist. Um diese Vermutung zu überprüfen wurde die statistische Auswertung der Werte, daher die Bestimmung des e/m - Mittelwertes und des dazugehörigen statistischen Fehlers für zwei Korrekturen des Durchmessers durchgeführt. Es ergeben sich

$$\begin{aligned} \text{für } d' = d + 5 \text{ mm : } \quad \frac{e}{m} &= (2,026 \pm 0,012) \frac{\text{C}}{\text{kg}} \\ \text{für } d' = d + 10 \text{ mm : } \quad \frac{e}{m} &= (1,826 \pm 0,016) \frac{\text{C}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

zwei neue Werte für die spezifische Elektronenmasse, welche beide deutlich näher am Literaturwert liegen. Der erste Wert geht davon aus, dass der wahre Elektronenstrahl in der Mitte der breiten Linie ist, der zweite Wert geht vom äußersten Rand der Linie aus.

Für weitere Aussagen über den wahren Durchmesser sollte man nun aber einen weiteren Versuch durchführen, in dem sich der Elektronenstrahl besser fokussieren lässt und die Gerätefehler bekannt sind.

Für das Ergebnis der Einzelmessung liegt der Literaturwert der spezifischen Elektronenladung innerhalb von 2 Standardabweichungen, was ein akzeptables Ergebnis ist und dafür spricht, dass die Fehler, welche in der Fehlerfortpflanzung genutzt wurden relativ gut abgeschätzt wurden. Auch bei dieser Auswertungsmethode erhält man natürlich einen deutlich besseren Wert, wenn man den gemessenen Radius wie im vorherigen Teil verändert.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass es vermutlich einen systematischen Fehler während des Messens gab, welcher entweder beim Messen des Radius entstanden ist oder im Zusammenhang mit den Geräten steht. Die während der Messung aufgenommenen Fehler wurden aber einigermaßen gut abgeschätzt und liefern eine angebrachte Unsicherheit auf das Ergebnis.

5.2 Teil 2: Abhängigkeit vom Einschusswinkel

Als erstes wurde die Zyklotronfrequenz berechnet und es ergab sich

$$\boxed{\nu_z = (327,5 \pm 1,1) \cdot 10^5 \text{ Hz}} \quad .$$

Dann wurde mit Hilfe der Zyklotronfrequenz die theoretische Anodenspannung berechnet. Die theoretische Anodenspannung liegt bei

$$\boxed{U_{theo} = (139 \pm 2) \text{ V}} \quad ,$$

wobei der von uns abgelesene Wert bei $(150,0 \pm 0,5) \text{ V}$ lag. Der abgelesene Wert liegt also innerhalb von 6 Standardabweichungen des berechneten Wertes. Diese Differenz liegt vermutlich, wie auch im vorherigen Versuchsteil, am schwierig zu bestimmenden Radius und dem daraus folgenden, möglichen systematischen Fehler. Außerdem wurden auch in diesem Versuchsteil keine systematischen Fehler auf die Messgeräte genutzt, auch diese hätten aber einen nicht zu vernachlässigen Einfluss auf das Ergebnis. Somit sollte auch

an dieser Stelle eine nähere Betrachtung der Fehler in einem verbesserten Versuchsaufbau durchgeführt werden.

Des Weiteren wurde der Zusammenhang von Einschusswinkel der Elektronen und Ganghöhe, sowie Radius der entstehenden Spirale betrachtet. Zu erwarten ist für die Wertepaare aus $\tan \alpha$ und $s/2\pi r$ ein linearer Verlauf durch den Ursprung mit der Steigung 1. Der von uns erstellte lineare Fit erfüllt den erwarteten Achsenabschnitt, die Steigung weicht aber, auch mit Fehler, deutlich von der Erwarteten ab. Dieses Ergebnis wurde bereits während der Durchführung des Versuchs erwartet, da weiterhin das Ablesen des Durchmessers sehr schwierig war und sich die Ganghöhe nicht ohne Vermeidung von Parallaxenfehlern bestimmen ließ, da kein Spiegelbild erkennbar war. Da es im linearen Fit trotzdem zum erwarteten Achsenabschnitt kommt ist nicht verwunderlich, da sich die Werte beim senkrechten Einschuss noch am besten bestimmen lassen. Im Nachhinein hätte der Fehler auf die Ganghöhe deutlich größer geschätzt werden sollen, da dieser nicht nur von der Ungenauigkeit der Skala und des Elektronenstrahls, sondern auch von Parallaxenfehlern bei einigermaßen großer Entfernung zur Skala abhängt.

Im nächsten Teil wurde der gemessene Bahnradius gegen den Einschusswinkel aufgetragen und mit dem theoretischen Verlauf verglichen. Bedenkt man, dass die erwarteten Bahnradien zwischen 32,5 mm und 34 mm, also ein $\Delta r = 1,5$ mm bei einer Messungenauigkeit von 2,5 mm nicht zu messen sind, so ist eine weitere Auswertung dieses Versuchteils eigentlich überflüssig. Trotzdem lässt sich in den von uns aufgenommenen Daten zumindest ein Trend in die richtige Richtung erkennen und eine Korrektur der Radien nach dem selben Prinzip wie in den vorherigen Teilen würde dieses Ergebnis noch verbessern. Eine ernsthafte Aussage über diesen Zusammenhang lässt sich aber mit einem Versuchsaufbau dieser Ungenauigkeit nicht treffen.

Auch der Zusammenhang von $v_{\perp}$ und $v_{\parallel}$ mit dem Einschusswinkel entspricht einigermaßen den Erwartungen und bestätigt so weit wie möglich die Theorie.

Abbildungsverzeichnis

1	Skizzierte Darstellung des Fadenstrahlrohrs	1
2	Plan der genutzten Schaltung	2
3	Zusammenhang zwischen Winkel, Ganghöhe und Radius	7
4	Zusammenhang zwischen Bahnradius r und Winkel α	8
5	Geschwindigkeitskomponenten	9

Tabellenverzeichnis

1	Aus aufgenommenen Werten berechnete spezifische Elektronenladung . . .	4
2	Einschusswinkel und dazugehörige Messwerte	5
3	Geschwindigkeitskomponenten bei unterschiedlichen Einschusswinkeln	5

Literatur

[Quelle 1] "Versuchsanleitungen zum Physiklabor für Anfänger*innen, Teil 2" Stand 02/2019.

Teil I

Spannung [V]	Strom [A]	Durchmesser [cm]
200V	1,001 A	10,8 $\pm 0,5$
210V	1,000 A	11
220V	1,3 A	8,7
230V	1,4 A	8,3
240V	1,5 A	7,8
250V	1,2 A	10,1
260V	1,3 A	9,5
270V	1,5 A	8,4
280V	1,65 A	7,6
290V	1,7 A	7,7
300V	1,251 A	10,8

Teil II

x	δ [cm]	Durchmesser [cm]
1,5 A	-7,5	0
150V	-12,5	4 cm
Offset:	-17,5	5 cm
-7,5° 0°	2,5	5,3 cm
	7,5	8,5
		5 cm

Fehler

Spannung: $\pm 0,5$ VStrom: $\pm 0,0005$ ADurchmesser $\pm 0,5$ cmGanghöhe $\pm 0,5$ cmWinkel $\pm 1^\circ$

V/T

6.03.2019

Diego Ramirez