



UNIVERSITÄT REGENSBURG

Naturwissenschaftliche Fakultät II - **Physik**

Anleitung zum Anfängerpraktikum **B**

Versuch „*em*“: Spezifische Ladung e/m des
Elektrons

6. Auflage 2019

Dr. Stephan Giglberger

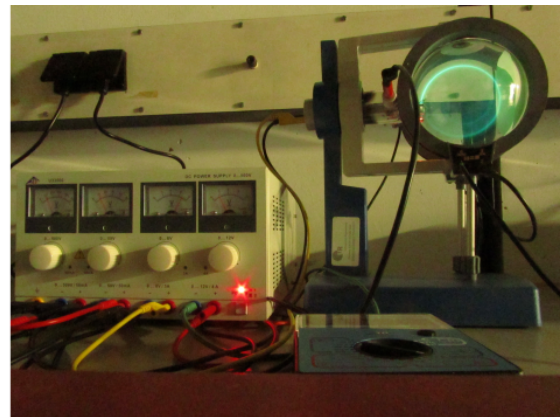
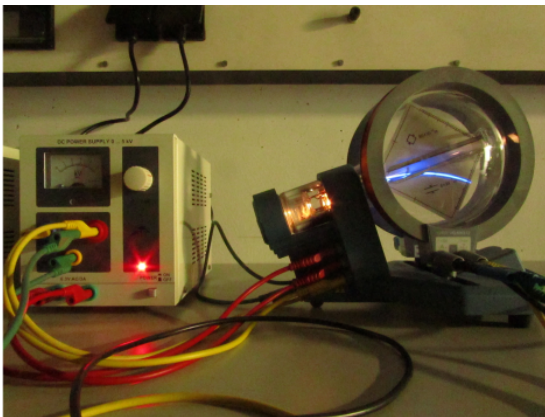
Dr. Tobias Korn

Christoph Schönhuber, Marten Scheuck

Inhaltsverzeichnis

em Spezifische Ladung e/m des Elektrons	4
<i>em.1</i> Lernziele	4
<i>em.2</i> Vorbereitung	4
<i>em.2.1</i> Literatur	4
<i>em.2.2</i> Meßmethoden	5
<i>em.3</i> Fragen und Aufgaben	6
<i>em.4</i> Durchführung	8
<i>em.4.1</i> Thomson-Röhre	8
<i>em.4.2</i> Doppelstrahlröhre	10

em Spezifische Ladung e/m des Elektrons



em.1 Lernziele

em.2 Vorbereitung

Hier werden die begrifflichen Grundlagen der verwendeten beiden Messmethoden kurz abgehandelt. Machen Sie sich vorab die folgenden Begriffe aus dem 1. und 2. Semester noch einmal klar:

- Magnetische Feldstärke , magnetische Flussdichte
- Bewegung von Elektronen im elektrischen und magnetischen Feld
- Zentrifugalkraft bei Kreisbewegungen
- Elektrisches Potenzial.

em.2.1 Literatur

1. R.W. Pohl, Optik und Atomphysik 84 UC 127 P748
2. Westphal, Physik 84 UC 128 W537
3. Bergmann-Schäfer, Optik 84 UC 143 B499

4. M. Kroetzsch, Physikalisches Praktikum 84 UC 400 I27
5. Kohlrausch Praktische Physik (Helmholtz-Spulen) 84 UC 100 K79
6. W. Walcher, Praktikum der Physik 84 UC 400 W154
7. K.H. Hellwege, Einführung in die Phy. der Atome 84 UM 2000 H477

em.2.2 Meßmethoden

Zur Kennzeichnung der Ladung des Elektrons können sowohl elektrostatische als auch elektromagnetische Kraftwirkungen benutzt werden. Wegen der Äquivalenz von schwerer und träger Masse können für ihre Messung sowohl die Gravitationskraft als auch die Trägheitskraft verwendet werden. Die Gravitationswirkung auf das Elektron ist für direkte Messungen zu klein, so dass nur Beobachtungen von Trägheitseinwirkungen möglich sind. Da diese nur bei Beschleunigungen auftreten, muss die bei Beschleunigung eintretende Änderung des Bewegungszustands der Elektronen quantitativ erfasst werden. Diese Änderung hängt sowohl vom gesuchten Wert e/m als auch von der Geschwindigkeit ab. Deshalb sind stets zwei voneinander unabhängige Messgrößen (Felder) notwendig, um beide Unbekannte zu finden bzw. eine von beiden zu eliminieren. In der Literatur wird die Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern sehr ausführlich behandelt. Deshalb sollen hier nur wichtigsten Formeln angegeben werden: Kraft auf ein Elektron in einem homogenen elektrischen Feld der Feldstärke \vec{E} :

$$\vec{F} = e\vec{E} \quad (em.1)$$

Kraft auf ein Elektron in einem homogenen magnetischen Feld der Stärke \vec{H} :

$$\vec{F} = -\mu_r\mu_0e\vec{v} \times \vec{H} = -e\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{Lorentzkraft} \quad (em.2)$$

μ_r : (relative) Permeabilität. In Vakuum (und näherungsweise für Luft) gilt: $\mu_r = 1$

μ_0 : magnetische Feldkonstante des Vakuums, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-1} \text{ Vs/Am}$

$$\vec{B} = \mu_r\mu_0\vec{H} \quad \text{magnetische Flussdichte} \quad (em.3)$$

Energie eines Elektrons nach Durchlaufen einer Potenzialdifferenz U :

$$W_{\text{pot}} = eU \quad (em.4)$$

Wegen der Energieerhaltung entspricht das der kinetischen Energie. Somit:

$$eU = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{v^2}{2U}. \quad (em.5)$$

Für die Kreisbewegung senkrecht zum homogenen Magnetfeld gilt:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{\mu_0^2 r^2 H^2} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad (em.6)$$

Dieser einfache Zusammenhang zwischen dem Beschleunigungsfeld U und dem Magnetfeld H gilt für eine Bewegung des Elektrons senkrecht auf der Richtung von B . Dies stellt die Grundlage für beide Versuchsteile dar und ist in (Abb. em.1) schematisch skizziert.

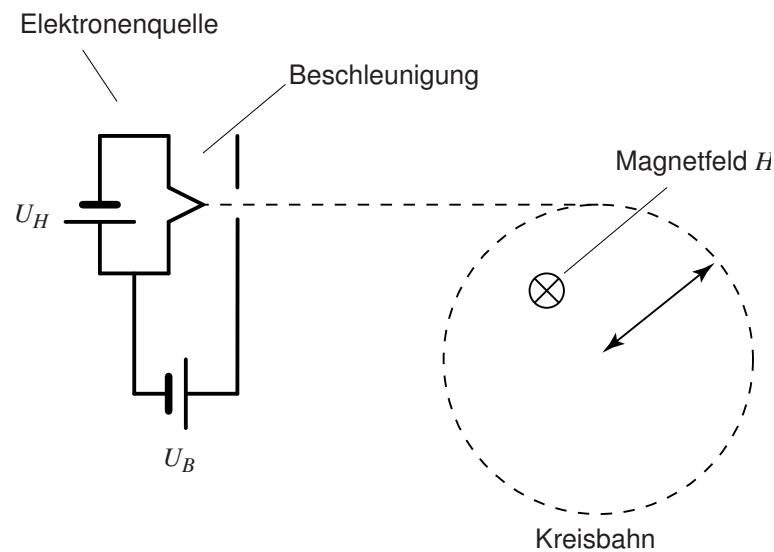


Abbildung em.1: schematischer Versuchsaufbau: Elektron wird senkrecht zum Magnetfeld beschleunigt. U_H : Heizspannung, U_B : Beschleunigungsspannung

Mit der Messung des Radius r der resultierenden Kreisbahn erhält man den Wert von e/m . Ist die Bewegung des Elektrons dagegen parallel zum Magnetfeld, so tritt keine Ablenkung auf. Eine zusätzliche transversale Bewegungskomponente würde aber insgesamt eine schraubenförmige Bewegung bewirken.

em.3 Fragen und Aufgaben

Im Experiment (siehe Abb. em.1): werden die Elektronen durch eine Spannung U beschleunigt und dann in einem zur Strahlrichtung senkrechten Magnetfeld der Feldstärke H abgelenkt. Messgrößen:

- r Radius der Kreisbahn der Elektronen im Magnetfeld
- I Strom durch die Magnetfeldspule
- U Beschleunigungsspannung

Beantworten Sie folgende Fragen:

1. Leiten Sie Gleichung *em.6* über den Zusammenhang zwischen Lorentz- und Zentripetalkraft her. Wie ist der Zusammenhang zwischen e/m und den gemessenen Größen I , U und r ? Eliminieren Sie dabei die magnetische Induktion B durch Verwendung des Kalibrierungsfaktors $K = B/I$ für die Helmholtzspulen! Wie kann bei konstantem Radius r der Wert für e/m graphisch ermittelt werden?
2. Ein Elektron wird durch eine Spannung U beschleunigt und unter einem Winkel α in ein Magnetfeld geschossen wie in Abb. *em.2* gezeigt. Welche Bahn beschreibt das Elektron? Wie ändert sich der Bahnradius? Hinweis: zerlegen Sie \vec{v} in v_{\perp} und v_{\parallel} bzgl. H und berechnen Sie

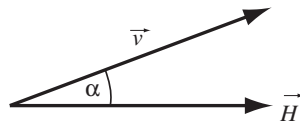


Abbildung *em.2*: Elektron im H -Feld

daraus einerseits die Schraubenhöhe und andererseits auch die Umlaufzeit (Larmor-Frequenz).

3. Wie kann man den Einfluss des Erdmagnetfeldes auf die Elektronenbahn vermeiden?

em.4 Durchführung

em.4.1 Thomson-Röhre

Geräte:

- Thomson-Röhre in Helmholtzspule
- Netzgerät für Spulenstrom
- Hochspannungsnetzgerät für Anodenspannung
- Multimeter als Spannungsmesser
- Multimeter als Strommesser

Versuchsaufbau:

Der schematische Aufbau des Geräts zur e/m -Bestimmung ist in Abb. em.3 gezeigt. Die Thomson-Röhre besitzt eine Elektronenkanone in einem evakuierten Glaskolben mit fokussierendem Elektrodenystem, direkt geheizter Wolfram-Glühkathode und einer zylinderförmigen Anode. Über einen eingebauten Plattenkondensator kann der Elektronenstrahl elektrostatisch und durch Verwendung der Helmholtzspulen magnetisch abgelenkt werden. Die Ablenkplatten halten einen Fluoreszenzschirm mit mm-Raster, 10° gegen die Strahlachse gedreht, auf dem der Elektronenstrahl sichtbar gemacht wird.

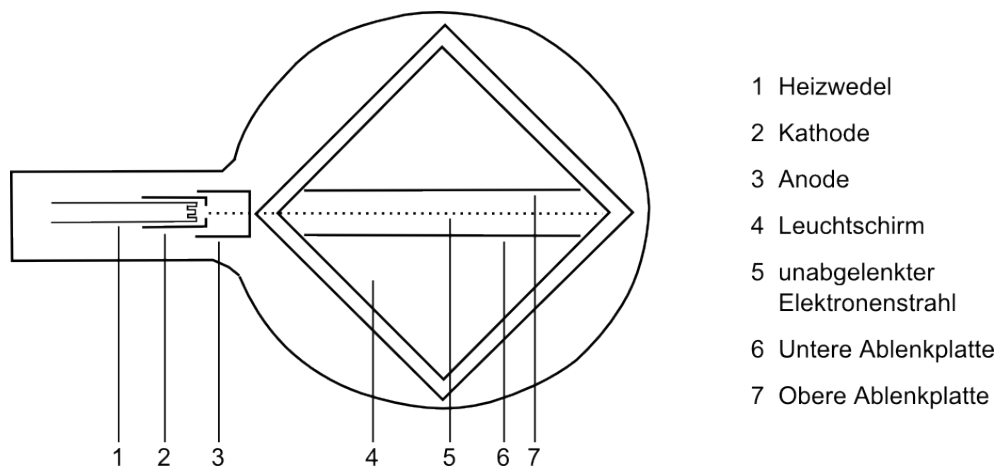


Abbildung em.3: schematischer Aufbau der Thomson-Röhre

Messungen:

1. Achten Sie darauf, dass während des gesamten Versuchs folgende **Maximalwerte** nicht überstiegen werden:

- Anodenspannung: 4 kV
 - Spulenstrom: 0,9 A
2. Schließen Sie die Thomson-Röhre an das Hochspannungsnetzgerät an. Erhöhen Sie die Spannung, bis der Elektronenstrahl sichtbar ist (Raum muss abgedunkelt sein!!!).
 3. Legen Sie Spannung an die Spulen an und beobachten Sie den Strahlverlauf. Der Elektronenstrahlverlauf ist kreisförmig, die Ablenkung erfolgt in einer Ebene senkrecht zum elektromagnetischen Feld.
 4. Variieren Sie nun abwechselnd die Anodenspannung und den Spulenstrom, während Sie die andere Komponente konstant halten. Welche Auswirkung hat dies auf den Radius des Elektronenstrahls? Machen Sie sich die Zusammenhänge klar!
 5. Für die folgenden Schritte zur Bestimmung von e/m stellen Sie nun einen Radius ein, der die aufgedruckte Skala schneidet.
 6. Bestimmung von r : Der Krümmungsradius r des abgelenkten Elektronenstrahls lässt sich aus dem Austrittspunkt A mittels folgender Gleichung bestimmen:

$$r = \frac{80^2 \text{mm}^2 + e^2}{\sqrt{2}(80 \text{mm} - e)} \quad (\text{em.7})$$

wobei sich e direkt an der Skala ablesen lässt (siehe Abb. em.4).

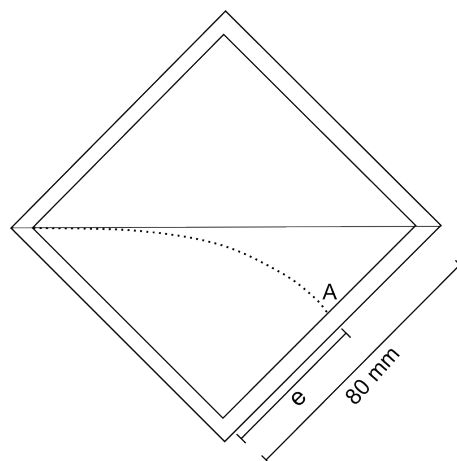


Abbildung em.4: Bestimmung von r

7. Bestimmung von B : Für die magnetische Flussdichte B des Magnetfeldes bei Helmholtzgeometrie des Spulenpaars und dem Spulenstrom I gilt:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = K \cdot I \quad (em.8)$$

Der Kalibrier-Faktor für den angegebenen Aufbau ist laut Hersteller $K = 3,5 \text{ mT/A}$ bzw. $K = 4,2 \text{ mT/A}$.

8. Bestimmen Sie nun aus Spannung, Magnetfeld und Radius einen ersten Wert von e/m . Vergleichen Sie ihn mit dem akzeptierten Wert $e/m = 1.76 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}$. Falls Sie unvernünftig große Abweichungen feststellen, haben Sie wahrscheinlich irgendwo einen Fehler gemacht. Messen Sie erst weiter, wenn Sie diesen beseitigt haben.
9. Nehmen Sie jetzt mehrere Wertepaare für I und U auf, wobei Sie darauf achten, den Radius r konstant zu lassen.
10. Machen Sie für Ihre Messungen eine genaue Fehlerbetrachtung, insbesondere unter Berücksichtigung der verschiedenen Wichtungen verschiedener Wertepaare. Beachten Sie dabei, dass auch die Bestimmung des Radius r ungenau ist. Legen Sie diesen Fehler auf die Wertepaare I und U um. (Warum geht das?)
11. Bestimmen Sie die spezifische Ladung e/m eines Elektrons graphisch unter Berücksichtigung der Messfehler.

em.4.2 Doppelstrahlröhre

Geräte:

- Doppelstrahlröhre in Helmholtzspule
- Netzgerät
- Multimeter als Spannungsmesser
- Multimeter als Strommesser

Versuchsaufbau:

Die Doppelstrahlröhre ist ein teilevakuiertes, mit Helium gefülltes Glaskörper mit tangentialer und axialer Elektronenkanone mit je einer indirekt beheizten Oxid-Kathode. Die senkrecht zueinander angeordneten Elektronenstrahlen erlauben eine gemeinsame Ablenkplatte für beide Elektronenkanonen. In dem Glaskörper können sich fast alle Elektronen im Elektronenbündel ungehindert bewegen. Die Elektronenbahnen werden durch Stoßanregung der Heliumatome als feiner, schwach grüner Leuchtstrahl sichtbar.

Messungen:

1. Achten Sie darauf, dass während des gesamten Versuchs folgende **Maximalwerte** nicht überschritten werden:
 - Plattenspannung: 45 V
 - Spulenstrom: 0,4 A
2. Raumbelichtung abdunkeln, Heizspannung U_F von 7 V einstellen und ca. 1 Minute warten bis sich die Temperatur der Heizung stabilisiert hat (siehe Abb. *em.5*).
3. Erhöhen Sie nun die Anodenspannung U_A auf 100 V. Ohne anliegendes Magnetfeld erkennen Sie einen leuchtenden Strich.
4. Stellen Sie den Spulenstrom I_H so ein, dass ein geschlossener Kreis sichtbar wird. Beschreiben Sie, warum sich der anfänglich beobachtete Strich bei Erhöhung des Magnetfeldes dreht und zusammenzieht.
5. Erhöhen Sie die Plattenspannung und beobachten Sie dessen Effekt auf den sichtbaren Elektronenkreis.
6. Nachdem Sie sich mit den Auswirkungen des Spulenstroms und der Plattenspannung auf die Elektronenbahn vertraut gemacht haben, variieren Sie nun beide Parameter um den Elektronenkreis möglichst genau an den Fluoreszenzschirm anzuschmiegen.
 Errechnen Sie unter Ausnutzung der Formel *em.6* einen Wert für e/m . Schätzen Sie hierfür den Radius der Elektronenbahn ab (Tip: der Durchmesser des Glaskolbens beträgt 130 mm). Das Magnetfeld lässt sich durch die Helmholtz-Anordnung über folgende Beziehung bestimmen: $B^2 = 17,39 \cdot 10^{-6} \cdot I_H^2$. Zur Berechnung der Werte ist $I/2$ zu verwenden, da es sich um eine Parallelschaltung handelt.
7. Errechnen Sie e/m für drei weitere Radien, wobei Sie die Plattenspannung konstant halten.
8. Fehlerbetrachtung: Der kreisförmige Strahl ist sichtbar durch Photoemission. Warum ist der Fehler bei der Bestimmung von e/m immer auf der negativen Seite?

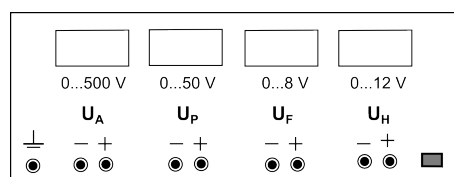


Abbildung *em.5*: Netzgerät