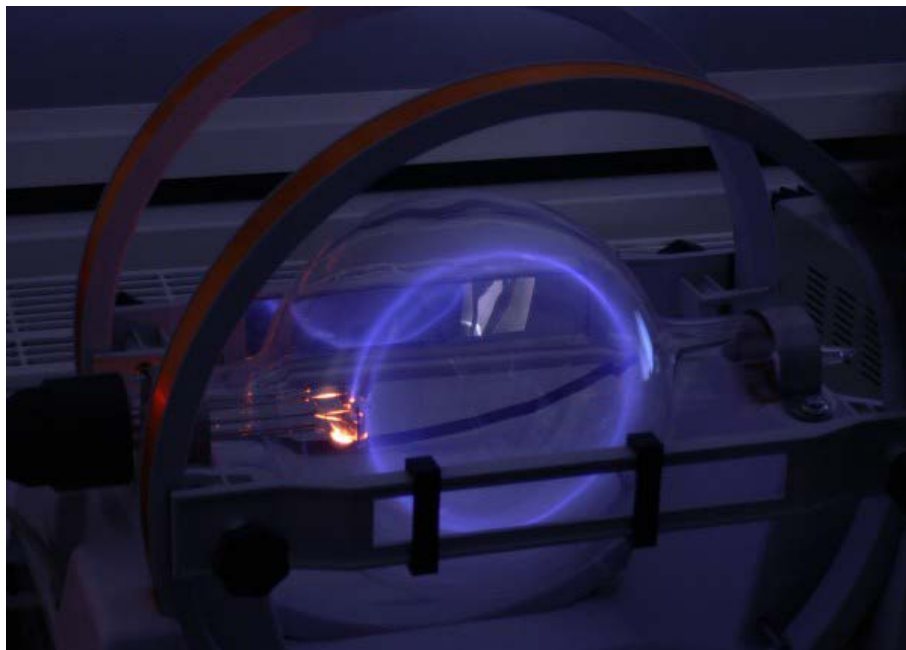


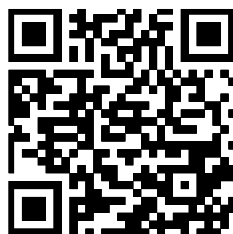
Physikalisches Grundpraktikum für Physiker/innen

Teil I

Bestimmung der spezifischen Elementarladung e/m



Grundpraktikum Physik: <http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/>



Stoffgebiet

Freie Elektronen

Elementarladung

Glühemission

Biot-Savartsches Gesetz

Magnetisches Feld

Lorentz-Kraft

Stoßionisation

Fragen:

1. Berechnen Sie mit Hilfe des Biot-Savartschen Gesetzes das Magnetfeld eines Kreisstromes (I, r) auf der Symmetrieachse als Funktion des Abstandes x von der Kreisebene.
2. Zwei gleiche Kreisströme (I, r) werden mit gleicher Symmetrieachse (x -Achse) so aufgestellt, dass der Abstand ihrer Ebenen gleich a ist. Berechnen Sie das Magnetfeld auf der x -Achse, und bestimmen Sie den Abstand a der Kreisströme so, dass das Feld auf der Achse möglichst homogen wird ($\partial^2 H / \partial x^2 = 0$).
3. Geben Sie weitere Methoden zur Bestimmung von e/m an.
4. Wie wird ein freies Elektron im elektrischen Feld abgelenkt ?
5. Was versteht man unter einer magnetischen Elektronenlinse ?
6. Was versteht man unter einer Helmholtzspule ?
7. Skizzieren Sie den Aufbau eines Elektronenmikroskops.
8. Wie groß ist die Massenzunahme eines Elektrons, das eine Spannung von 2500 V durchlaufen hat ?

Eine besonders anschauliche Methode zur Messung der spezifischen Ladung e/m (e = Ladung, m = Masse des Elektrons) der Elektronen ist die Bestimmung aus der Ablenkung eines Fadenstrahls im homogenen Magnetfeld eines Helmholtz-Spulenpaares.

Grundlagen:

Das Fadenstrahlrohr beruht auf dem Prinzip der Gaskonzentrationsröhre, die, historisch gesehen, eine Zwischenstufe zwischen der ursprünglichen Braunschen Röhre und der heutigen Glühkathoden-Hochvakuum-Oszillographenröhre darstellt.

Aus einem Strahlerzeugungssystem (bestehend aus der Glühkathode zur Erzeugung freier Elektronen, der Anode zur Beschleunigung der Elektronen und dem Wehnelt-Zylinder zur Bündelung des Elektronenstrahls), tritt ein Elektronenbündel in einen Raum aus, in dem sich ein Edelgas unter einem Druck der Größenordnung 10^{-3} - 10^{-2} hPa befindet. Die Elektronen stoßen mit den Gasmolekülen zusammen und ionisieren diese. Bei der Rekombination werden Lichtquanten emittiert, so dass der Weg des Elektronenbündels durch leuchtende Gasmoleküle sichtbar gemacht wird. Die beim Stoß erzeugten Sekundärelektronen fliegen aus dem Strahl heraus, während die trägen positiven Ionen zurückbleiben und wegen ihrer großen Anzahl und ihrer geringen Geschwindigkeit eine starke positive Raumladung bilden. Unter der Wirkung dieser Raumladung werden auf die Elektronen radial zur Strahlenachse Kräfte ausgeübt, die eine Fokussierung der Elektronen zur Folge haben. So kann sich der Fadenstrahl ausbilden. Der Vorteil einer solchen Gaskonzentrationsröhre beruht darin, dass keine sichtbehindernde Elektronenoptik zur Bündelung des Elektronenstrahles erforderlich ist, und dass durch das Vorhandensein von positiven Ionen die Raumladung, die sich im Hochvakuum vor der Kathode ausbildet, kompensiert und damit der Elektronenaustritt erleichtert wird.

Als Beschleunigungsspannung wird eine Spannung von 150 - 250 Volt dem Netzanschlussgerät entnommen. Die für den Betrieb des Rohres erforderlichen Schutzwiderstände sind in das Rohr eingebaut. Zur Inbetriebnahme des Fadenstrahlrohres schließt man die für Heizspannung (maximal 6.3 V), Anodenspannung und Spannung am Wehneltzylinder vorgesehenen Buchsen des Fadenstrahlrohres an das Netzgerät an. Die Regelknöpfe für Anoden- und Wehnelt-Spannung werden vor dem Einschalten des Netzgerätes auf null gestellt.

Die Messung der Anodenspannung erfolgt mit Hilfe eines Multimeters.

Um den Fadenstrahl der Wirkung eines homogenen Magnetfeldes aussetzen zu können, wird das Fadenstrahlrohr auf dem Gestell in die Mitte einer Helmholtzspulenordnung gebracht, die ein homogenes Magnetfeld liefert.

Die Anordnung nach Helmholtz-Gaugain zur Erzeugung homogener Magnetfelder ist dadurch gekennzeichnet, dass zwei kreisförmige Leiterspulen mit gleichen Durchmessern, deren Mittelpunkte auf der gemeinsamen Achse im Abstand ihrer mittleren Spulenradien liegen, von demselben Strom durchflossen werden. Die vorliegenden Spulen haben je 129 Windungen.

Zur Erregung des Magnetfeldes wird ein gut geglätteter Gleichstrom verwendet, der dem NGU-Netzgerät entnommen wird. An seinem Messgerät ist die Stromstärke abzulesen.

Die magnetische Induktion im inneren Bereich des Helmholtz-Spulensystems lässt sich aus dem mittleren Spulenradius R , der Windungszahl n und der Stromstärke I errechnen.

Es ist

$$B = \frac{\mu_0 \cdot 0.715 \cdot n}{R} \cdot I \left[\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

wobei die magnetische Feldkonstante

$$\mu_0 = 1.256 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \right]$$

beträgt.

Ordnet man das Fadenstrahlrohr im Magnetfeld der Helmholtz-Spulen so an, dass der Fadenstrahl das Strahlerzeugungssystem senkrecht zur Magnetfeldrichtung verlässt, dann wirkt auf die einzelnen Elektronen des Strahles die Lorentzkraft mit dem Betrag:

$$F = evB$$

Diese wirkt senkrecht zur Feldrichtung und zur Bewegungsrichtung. (v : Geschwindigkeit der Elektronen, B : magnetische Induktion).

Unter der Einwirkung dieser Kraft wird der Fadenstrahl auf einen Kreisbogen abgelenkt und bei hinreichend starkem Magnetfeld zu einem vollen Kreis mit dem Radius r gebogen. Die auf die Elektronen wirkende magnetische Kraft F muss dann gleich der Zentrifugalkraft mv^2/r sein:

$$evB = \frac{mv^2}{r}$$

Durch Umformung dieser Gleichung erhält man für die Geschwindigkeit v der Elektronen die Beziehung:

$$(2) \quad v = \frac{e}{m} Br$$

Aus dem Energiesatz $mv^2/2 = eU$ (U : Beschleunigungsspannung der Elektronen) ergibt sich, wie die Geschwindigkeit der Elektronen von der Größe der Beschleunigungsspannung U abhängt:

$$(3) \quad v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U} \quad \text{bzw.} \quad r = \sqrt{\frac{2mU}{e}} \frac{1}{B}$$

Fügt man die Beziehung (3) in Gleichung (2) ein, so ergibt sich für die spezifische Ladung der Elektronen

$$(4) \quad \frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right]$$

Durch Messung von U , I , R und r lässt sich die spezifische Ladung der Elektronen ermitteln.

Messung:

Zunächst schaltet man das Magnetfeld ein. Der Spulenstrom soll etwa 1 A betragen. Dann schaltet man die Heizspannung (maximal 6.3 V) ein. Sobald die Kathode zum Glühen gekommen ist, schaltet man die Anodenspannung von etwa 150 V ein, wobei der aus dem Strahlerzeugungssystem austretende Fadenstrahl sichtbar wird. Die Bündelung des Fadenstrahles erfolgt durch die Spannung am Wehneltzylinder. Durch Variation sowohl der Wehneltspannung als auch der Anodenspannung lässt sich eine optimale Schärfe und Helligkeit des Strahles erreichen. Durch Veränderung des Magnetspulenstromes kann der Durchmesser des Elektronenstrahl-Kreises variiert werden.

Man bestimmt durch wiederholte Messungen den Durchmesser des Vollkreises für verschiedene feste Werte des Magnetspulenstromes und der Anodenspannung und errechnet dann unter Verwendung der Formeln (1) und (4) den Wert der spezifischen Ladung e/m .

Der Durchmesser wird auf folgende Weise bestimmt:

1) Man wählt seine Blickrichtung so, dass der obere Rand des Kreises mit seinem, durch den hinter der Röhre liegenden Spiegel erzeugten Spiegelbild zur Deckung kommt (Parallaxenfreiheit) und zeichnet mit dem beigegebenen Filzstift (keinen Kugelschreiber verwenden!) einen Strich in dieser Höhe auf die **glatte** Seite der vor der Röhre aufgestellten Messlatte aus Plexiglas.

- 2) Man zeichnet in analoger Weise parallaxenfrei die Höhe des unteren Kreisrandes auf der Messlatte ein.
- 3) Der Abstand beider Markierungen liefert direkt den Kreisdurchmesser $2r$.

Bei der Bestimmung des Durchmessers des zum Vollkreis gebogenen Fadenstrahles ist zu beachten, dass die Kurve, die der Fadenstrahl beschreibt, in der Nähe des Strahlerzeugungssystems von der idealen Kreisform abweicht und, dass die Leuchterscheinung eine endliche Breite hat.

Aufgaben

- 1) Für 15 verschiedene Magnetfelder ($0.80\text{A} \leq I \leq 2.00\text{A}$) bei konstanter Beschleunigungsspannung $U = 150\text{ V}$ ist der Radius der Elektronenkreisbahnen zu messen.
- 2) Für 15 verschiedene Beschleunigungsspannungen U ($0 \dots 250\text{V}$) bei konstantem Magnetfeldstrom $I = 1.00\text{A}$ ist der Radius der Elektronenkreisbahnen zu messen.

Bemerkung:

Zur Bestimmung des Fehlers des Kreisbahndurchmessers messe man bei gleichem Strahldurchmesser 10 mal die Lage des obersten bzw. untersten Punktes des Bahndurchmessers und dessen Fehler.

Auswertung:

Trägt man bei konstantem U den Radius r über $1/B$ auf, ergibt sich nach Gl. (3) eine Gerade aus deren Anstieg e/m bestimmt werden kann. Trägt man in einem zweiten Diagramm bei konstantem Magnetfeld B r^2 über U auf, erhält man nach Gl. (4) eine Gerade, aus deren Anstieg ebenfalls e/m ermittelt werden kann. Die Anstiege werden durch linearer Regression bestimmt.