

SPEZIFISCHE LADUNG e/m_0 DES ELEKTRONS

GP II

Stichworte

Spezifische Ladung und Ladungsquantelung. Lorentz-Kraft. Kreisbewegungen.

Ziele des Versuchs

Exemplarischer Versuch zur atomistischen Struktur der Elektrizität und zu Meßmethoden durch Ablenkung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern.

Literatur

[1]: Kapitel 8.1.1, 8.2

[3]: Kapitel 3.4.4, 7.1.2, 11.1.7, 11.1.4, 11.3.5

Geiger, Scheel; Handbuch der Physik XXII. (Historische, vertiefende Anmerkungen)

Aufgabe

Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons e/m_0 durch Messung der magnetischen Ablenkung von Elektronen in einem Fadenstrahlrohr.

Physikalische Grundlagen

Zu Beginn des vorigen Jahrhunderts zeigten sich in den Ergebnissen der physikalischen Arbeiten deutliche Anzeichen einer *korpuskularen Natur* der elektrischen Ladung. Die *Faradayschen Experimente* (Michael Faraday, 1791-1867; engl. Physiker und Chemiker) und die Gesetze der Elektrolyse ergaben ein festes Verhältnis zwischen der Elektrizitätsmenge und der Masse als Träger der Elektrizität und ließen, zusammen mit der Vorstellung einer atomistischen Struktur der Materie, den Schluss auf die gequantelte Natur der Ladung zu. *Helmholtz* (Hermann von Helmholtz, 1821-1894; dt. Physiker und Physiologe) spricht in einer *Faraday-Gedächtnisrede* 1881 von der "elektrischen Ladung des Ions" und sagt "Genau dieselbe bestimmte Menge, sei es positiver, sei es negativer Elektrizität, bewegt sich mit jedem einwertigen Ion oder mit jedem

Valenzwert eines mehrwertigen Ions, und begleitet es unzertrennlich bei allen Bewegungen, die dasselbe durch die Flüssigkeit macht. Auf die elektrischen Vorgänge übertragen, führt diese Hypothese in Verbindung mit Faradays Gesetz allerdings auf eine etwas überraschende Folgerung. Wenn wir Atome der chemischen Elemente annehmen, so können wir nicht umhin, weiter zu schließen, dass auch die Elektrizität, positive sowohl wie negative, in bestimmte elementare Quanten geteilt ist, die sich wie Atome der Elektrizität verhalten." Die elektrolytischen Messungen lieferten jedoch nur molbezogene Werte für Ionen, so dass die Bestimmung der spezifischen Ladung und der Ionenladung selbst die Kenntnis der Loschmidtschen Zahl voraussetzte.

Die Geschichte der Entdeckung des Elektrons begann um 1860 mit der Untersuchung von Gasentladungen und der Entdeckung der Kathodenstrahlen durch *Plücker* 1859 (Julius Plücker, 1801-1868; dt. Physiker und Mathematiker). *Hittorf* (Johann Wilhelm Hittorf, 1824-1914; dt. Physiker und Chemiker) fand 1869 die magnetische und *Goldstein* (Eugen Goldstein, 1850-1930; dt. Physiker) 1876 die elektrische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen, wobei *Hittorf* bereits negativ geladene Teilchen als deren eigentliche physikalische Natur vermutete. *Schuster* (K. Schuster, *1903), *Thomson* (Sir Joseph John Thomson, 1856-1940; engl. Physiker) und *Wiechert* (Emil Wiechert, 1861-1928; dt. Geophysiker) führten ab etwa 1890 erste Messungen der spezifischen Ladung in unterschiedlichen Ablenkversuchen durch. Auch wenn die frühen Ergebnisse dieser Messungen noch stark verfälscht waren, so zeigten sie, dass "die Masse der Kathodenstrahlen noch etwa 2000 mal kleiner als die der leichtesten Ionen sein müsste." Umfangreiche Messungen der Geschwindigkeit (*Thomson*) und Untersuchungen der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse und die Übereinstimmung der spezifischen Ladung der Kathodenstrahlen mit der von photoelektrisch oder thermisch ausgelösten Elektronen ließen dann zu Ende des vorigen Jahrhunderts die Existenz des Elektrons als gesichert erscheinen, als deren klassischer Entdecker *Thomson* genannt wird.

Zu Beginn dieses Jahrhunderts wurde dann der Wert der Elektronenladung selbst gemessen (*Millikan* 1910-1925; siehe *MILLIKAN-VERSUCH* in dieser Praktikumsanleitung) und, insbesondere durch Bestimmung

der spezifischen Ladung aus dem *Zeeman-Effekt* (*Pieter Zeeman*; 1865-1943; nld. Physiker) und aus der *Rydberg-Konstanten* (*Johannes Rydberg*; 1854-1919; schwed. Physiker; siehe Versuche *ZEEMAN-EFFEKT* und *OPTISCHE SPEKTROSKOPIE* in dieser Praktikumsanleitung), die Identität zwischen den freien Elektronen und den gebundenen Elektronen als Bauteile des Atoms nachgewiesen.

Heute "gültige" Werte dieser Daten für das Elektron sind (*W. Bendel*, A 1975 Least-Squares Adjustment of Values of the Fundamental Constants, Naval Research Laboratory Memorandum; Report 3213, January 1976):

$$(1a) \quad e/m_0 = 1,7588115(24) \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$

$$(1b) \quad e = 1,6021829(22) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$(1c) \quad m_0 = 9.1094634(99) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Interpretiert man die gesamte Ruhemasse des Elektrons entsprechend der *Einsteinschen Beziehung* ($E=mc^2$) als den elektrostatischen Energieinhalt einer kugelschalenförmigen Ladungsverteilung mit dem Radius r , so folgt:

$$(2) \quad m_0 c^2 = \frac{e^2}{8 \pi \epsilon_0 r}$$

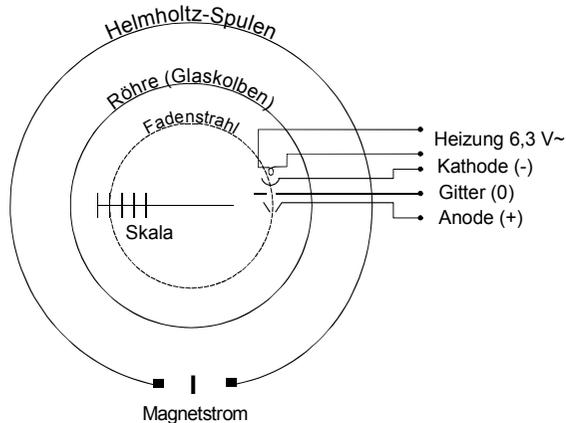
($E = CU^2/2$ mit $C = 4\pi\epsilon_0 r$). Durch Auflösen erhält man $r = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. Dieser Wert gibt zumindest die Größenordnung des Elektronenradius richtig wieder, wie durch Streuexperimente belegt wird, auch wenn es aus Sicht der Quantenphysik grundsätzlich unzutreffend ist, das Elektron mit klassischen Vorstellungen beschreiben oder erklären zu wollen. In der Literatur ist es üblich, den doppelten Wert von (2) als *klassischen Elektronenradius* zu bezeichnen:

$$(3) \quad r_0 = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 m_0 c^2} = 2,8179378(70) \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

Meßmethode

Auf bewegte Ladungsträger wirkt in einem Magnetfeld B die *Lorentzkraft* (*Hendrik Antoon Lorentz*; 1853-1928; nld. Physiker):

Zwischen Kathode und Anode ist eine als Gitter bezeichnete Fokussierelektrode zwischengeschaltet. Als Beschleunigungsspannung ist jedoch die Gesamtspannung zwischen Kathode und Anode wirksam.



Achtung: Bei Inbetriebnahme der Röhre ist die genaue Betriebsanleitung im Platzskript zu beachten!

Zur Einstellung der Elektronenbahndurchmesser sind innerhalb der Röhre kurze Drahtstifte angebracht. Die durch diese Stifte vorgegebenen Durchmesser sind im Platzskript angegeben.

Zur Stromversorgung der *Helmholtz-Spulen* steht ein Netzgerät zur Verfügung. Bei der Schaltung des Stromkreises ist darauf zu achten, dass beide Spulen eigene Anschlüsse besitzen, und dass die Spulen hintereinander geschaltet werden müssen. Die Daten der Spulen (Radius, Windungszahl) sind ebenfalls im Platzskript angegeben. Die Messung der Beschleunigungsspannung U und des Magnetstroms I erfolgt mit zwei Digitalmultimetern.

Die Messungen werden für die drei größten Bahnradien durchgeführt. Zur Auswertung wird die Spannung U gegen das Quadrat des Stromes I^2 aufgetragen. Aus den Anstiegen der Geraden ergibt sich die spezifische Ladung des Elektrons. Es ist ein Endergebnis (gewichteter Mittelwert) aus den drei Messreihen anzugeben.

Ergänzende Fragen

Der Versuch wird mit Elektronen aus einer Glühemission durchgeführt. Mit welchen Anfangsenergien der Elektronen muss gerechnet werden? Wie wird das Messergebnis beeinflusst?

Wie groß ist die lineare Geschwindigkeit der austretenden Elektronen? Muss eine relativistische Korrektur berücksichtigt werden?