

# **DIE SPEZIFISCHE LADUNG EINES ELEKTRONS**

Niko Steinhäuser

Schuljahr 2003/04

18. Oktober 2003

## **Gliederung**

- 1. Einleitung**
- 2.1 äußere Beschreibung**
  - 2.1.1. Aufbau und Durchführung
  - 2.1.2. Beobachtungen
- 3. Messwerte und Fehlerbetrachtungen**
- 4. Erklärungen**
- 5. Herleitung der Formel zur rechnerischen Bestimmung der spezifischen Ladung**
- 6. Literaturquellen**

# Die spezifische Ladung $e/m$ eines Elektrons

## 1. Einleitung

Im Folgenden wird die experimentelle Bestimmung spezifischen Ladung eines Elektrons analysiert. Diese physikalische Konstante setzt sich zusammen aus dem Quotienten der Elementarladung  $e$  sowie aus deren Masse  $m$ .

Der Schwerpunkt der Arbeit wurde in der äußeren Beschreibung des Experimentes mit Auswertung gesetzt. Weiterhin werden Erklärungsmöglichkeiten für die gemachten Beobachtungen sowie die abschließende Herleitung der Formel zur Bestimmung von  $e/m$  dargestellt.

## 2.1 Äußere Beschreibung

### 2.1.1 Aufbau & Durchführung

Zwei in Reihe geschaltete *Helmholtz-Spulen* mit dem Radius  $R$  und dem Abstand  $s$ , zwischen denen ein weitgehend homogenes, magnetisches Feld erzeugt wird, sind über ein in Reihe geschaltetes Ampèremeter an einem Netzgerät angeschlossen. Hierbei besteht die Möglichkeit die Stromstärke durch einen *Ohmschen Widerstand* zu regulieren.

Wie in Abbildung 1 ersichtlich befindet sich zwischen dem Spulenpaar ein *Fadenstrahlrohr* (kugelförmige, materiefreie Glasröhre, siehe *Abb.2*). Ein weiteres Netzgerät liefert die zur Glühemission nötige Heizspannung (*Katode*), die negative Spannung für den *Wehnelt-Zylinder* und die Beschleunigungsspannung  $U$  (*Anode*), die durch ein parallel geschaltetes Voltmeter gemessen wird. Das in der evakuierten Röhre befindliche Gas macht die Elektronen durch *Ionisation* sichtbar, d.h. die Elektronen prallen mit den Gasatomen zusammen, welche somit zu leuchten beginnen.



Abb. 1: Versuchsaufbau

Die beiden Netzgeräte werden in Betrieb genommen und es werden die genannten elektrischen Ströme und Spannungen erzeugt.

Bei der ersten Messreihe wurde als konstante Größe die Stromstärke ( $I,6A$ ) der Helmholtz-Spulen gewählt, damit bleibt auch die magnetische Flussdichte  $B$  konstant. Der Radius der Kreisbahn  $r$  des Elektronenstrahls (siehe *Beobachtungen*) wurde hier in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung gesetzt.

Bei der zweiten Messreihe blieb die Spannung ( $U=90V$ ) konstant und die Stromstärke wurde als veränderliche Größe gewählt. Diese wird schrittweise erhöht, bis allmählich die unter 2.1.2 beschriebenen Beobachtungen zu machen sind.

In beiden Fällen wurde der Radius der Kreisbahn des Elektronenstrahls mit der Messeinrichtung des Fadenstrahlrohres (siehe *Abb.2*) gemessen.

Abschließend wurde das Fadenstrahlrohr leicht um die eigene Achse gedreht.

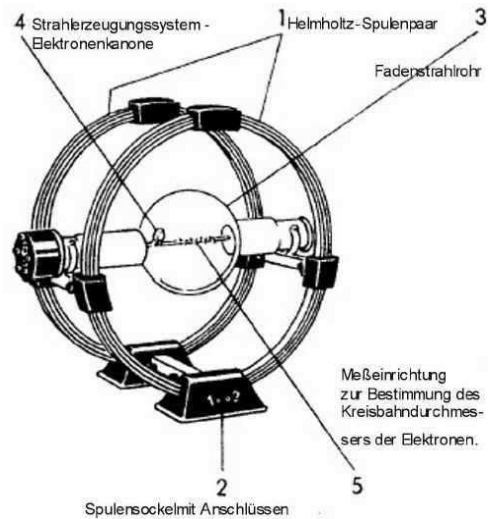


Abb.2.: Fadenstrahlrohr zwischen

### 2.1.2 Beobachtungen

Sind die Helmholtz-Spulen noch nicht in Betrieb genommen, ist ein linearer, leuchtender Elektronenstrahl zu erkennen. Wird das homogene Magnetfeld eingeschaltet, bewegen sich die Elektronen auf einer *kreisförmigen Bahn* und es ist ein kreisförmiger Strahl erkennbar (Abb.3)

Mit der Erhöhung der Beschleunigungsspannung steigt auch der Radius  $r$  des Kreises.

Nachdem das Fadenstrahlrohr gedreht wurde, sind *spiralförmige* Elektronenbahnen zu vermerken.



Abb.3:leuchtender Elektronenstrahl

#### 4. Messwerttabelle mit Fehlerbetrachtungen

Stromstärke I/A	Flussdichte B/T	Spannung U/V	Rad. El.strahl r/cm
1,6	0,0011073	50	2
1,6	0,0011073	80	3
1,6	0,0011073	140	4
1,6	0,0011073	235	5
1,6	0,0011073	90	3
1,2	0,0008304	90	4
0,95	0,0006574	90	5

Spez. Ladung e/m / C/kg	Absoluter Fehler	Prozent. Fehler
2,04E+11	28.008.793.055	16,0%
1,45E+11	30898191605,5	-17,57%
1,43E+11	33163844861,7	-18,71%
1,53E+11	22560587622,8	-13%
1,63E+11	12772965556,2	-7,34%
1,63E+11	12772965556,2	-7,34%
1,67E+11	9320637181,8	-5,06%

<b>Arithmetisches Mittel</b> 1,63E+11
<b>Messreihe 1:</b> 1,61E+11
<b>Messreihe 2:</b> 1,64E+11

**Diese Berechnung wird durch zahlreiche Fehlereinflüsse verfälscht:**

##### Systematische Fehler

- Widerstände durch Zuleitungen
- Fehler durch Messen der einzelnen Größen (Beschleunigungsspannung, Spulenstrom, )

##### Zufällige Fehler:

- Ablesefehler (Kreisradius)
- Schwankungen der Netzspannung
- Fehler durch nachlässiger Handhabung der Messgeräte

## 4. Erklärungen

In der evakuierten Röhre werden Elektronen mittels *Glühemission* aus einem glühenden Metall (*Heizkatode*) ausgesendet. Ein negativ geladener *Wehnelt-Zylinder* bündelt die Elektronen zu einem Strahl. Die Elektronen werden durch eine *Anodenspannung* beschleunigt, woraufhin sie das Fadenstrahlrohr verlassen und senkrecht in das von den Helmholtz-Spulen erzeugte magnetische Feld eintreten.

Da von beiden Spulen ein magnetisches Feld ausgeht, welche sich zusammen überlagern, wird ein weitgehend homogenes, magnetisches Feld erzeugt, sodass die *magnetische Flussdichte* und die *Lorentzkraft* konstant sind. Die Kraftwirkung wird dadurch hervorgerufen, dass die Lorentzkraft auf die einzelnen bewegten Elektronen wirkt.

Die Elektronen prallen mit den Gasatomen zusammen und werden auf einem Leuchtschirm sichtbar gemacht.

Die magnetische Flussdichte, d.h. das Magnetfeld verläuft senkrecht zur Bewegung der Elektronen (siehe Abb.4) Da die *Lorentzkraft*  $F_L$  ebenfalls senkrecht auf die Elektron einwirkt, wirkt diese als Radialkraft (oder *Zentripetalkraft*) zum Kreismittelpunkt und verursacht eine Kreisbewegung der Elektronen (siehe Abb.5).

Es gilt das Kräftegleichgewicht:

$$F_L = F_{\text{pet}}$$

$$m \cdot v^2 = e \cdot B \cdot v_s$$

Die Geschwindigkeit  $v$  verläuft *tangential* zu Kreisbahn (siehe Abb.4).

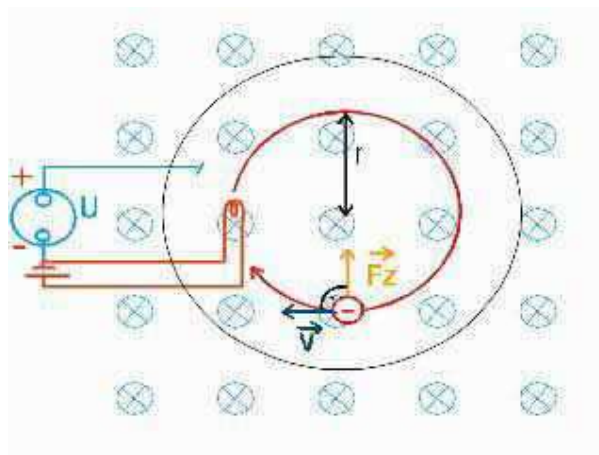


Abb.4: Skizze Fadenstrahlrohr; die Feldlinien zeigen in die Bildelebene hinein

Bewegung senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes	Bewegung schräg zu den Feldlinien des Magnetfeldes
Die Elektronen bewegen sich auf einer kreisförmigen Bahn.	Die Elektronen bewegen sich auf einer spiralförmigen Bahn.

Abb.5

Werden die Elektronen nicht senkrecht sondern schräg zu den Feldlinien im Magnetfeld ausgesendet, wirkt die Lorentzkraft mit:

$$F_L = Q \cdot v_s \cdot B$$

Die spiralförmige Kreisbewegung (*Helix*) setzt sich aus den beiden senkrecht zueinander wirkenden Geschwindigkeitskomponenten  $v_s$  und  $v_p$  zusammen.

$v_s$  steht senkrecht zu den Feldlinien und ist für die Kreisbewegung maßgeblich verantwortlich (*Abb.5*).

$v_p$  verläuft parallel zu den Feldlinien. Während der Umlaufzeit  $T$  der Radialbewegung sorgt diese Komponente für die *Ganghöhe* der Schraube

$$h = v_p \cdot T$$

damit zieht sich der Kreis um  $h$  seitwärts auseinander.

Je größer der Eintrittswinkel  $\alpha$  der Elektronen in das Feld ist, umso kleiner ist  $v_s$  (denn:

$$v_s = v \cdot \cos \alpha), \text{ umso größer ist } v_p \text{ denn } (v_p = v \cdot \sin \alpha).$$

Ist der Eintrittswinkel  $\alpha=0$ , bewegen sich die Elektronen *parallel* zur magnetischen Flussdichte, so ist die Lorentzkraft null, denn:

$$F_L = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Die Teilchen werden nicht von der Kraft nicht beeinflusst und breiten sich *linear* aus.

#### 4. Herleitung der Formel zur rechnerischen Bestimmung der spezifischen Ladung

##### Ladung

Die Zentripetalkraft ist so groß wie die

$v$  berechnet sich wie folgt:

Lorentzkraft:

$$F_{Pet} = F_L$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

$$m \cdot \frac{v}{r} = e \cdot B$$

$$W_{el} = E_{kin}$$

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}}$$

$v$  wird eingesetzt und die Gleichung wird quadriert:

$$m^2 \cdot \frac{\left( \frac{2 \cdot e \cdot U}{m} \right)}{r^2} = e^2 \cdot B^2$$

$$m \cdot \frac{2 \cdot U}{r^2} = e \cdot B^2$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot r^2}$$

Magnetische Flussdichte für Helmholtz-Spulen:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N \cdot k}{R}$$

**Die spezifische Ladung eines Elektrons beträgt:**

$$\underline{e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}}$$

$B$	magnetische Flussdichte
$v$	Geschwindigkeit der Elektronen
$U$	Beschleunigungsspannung
$r$	Radius der Kreisbahn
$e$	Elektronenmasse

$m$	Masse
$\mu_0$	Feldkonstante
$I$	Stromstärke (Spule)
$N$	Windungszahl
$R$	Radius der Spulen
$k$	Konstante/Spule ( $k=0,715$ )

## 5. Literaturverzeichnis

- „Metzler -.Physik“;S.232
- „Basiswissen Schule, Physik“; PAETEC/ Brockhaus S.234,236,CD
- [http://www.ratsgymnasium-row.de/kollegen\\_hp/konrad/index.htm](http://www.ratsgymnasium-row.de/kollegen_hp/konrad/index.htm)
- Schulaufzeichnungen
- „Dorn-Bader - Physik“ S.73