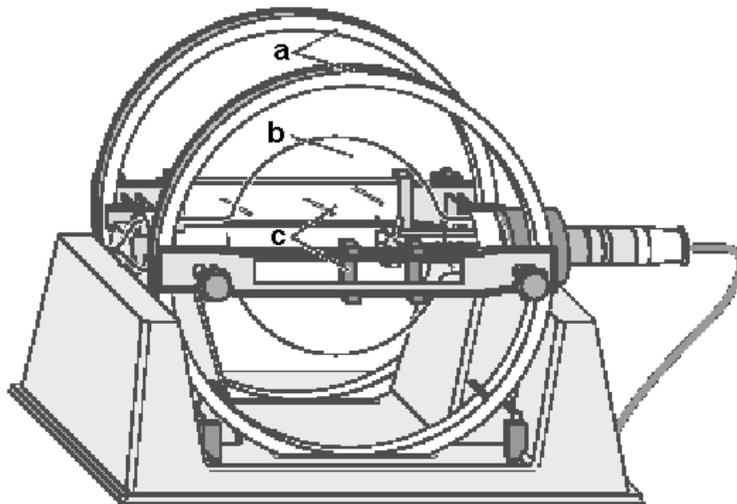


## Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

### Versuch 20:

### Spezifische Ladung eines Elektrons



a: Helmholtz-Spulen

b: Fadenstrahlrohr

c: Messvorrichtung

### 1. Versuchsziele

In dem folgenden Versuch wird die Ablenkung von Elektronen in einem Magnetfeld auf einer geschlossenen Kreisbahn untersucht. Des weiteren soll die Abhängigkeit zwischen der magnetischen Flussdichte oder magnetischen Induktion  $\vec{B}$  des Magnetfeldes und der Beschleunigungsspannung  $U_b$  der Elektronen bei konstantem Kreisbahnradius  $r$  ermittelt und abschließend die spezifische Ladung  $\varepsilon$  eines Elektrons bestimmt werden.

### 2. Theoretische Grundlagen

Die spezifische Ladung eines Elektrons ergibt sich aus der Gleichung

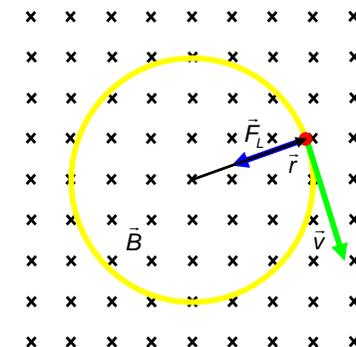
$$\varepsilon = \frac{-e}{m_e} \quad (1)$$

wobei  $e$  die Elementarladung und  $m_e$  die Masse eines Elektrons bezeichnet.  
 ( $e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ).

Auf ein freies Elektron, welches sich senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld  $\vec{B}$  mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  bewegt, wirkt die Lorentz-Kraft

$$\vec{F}_L = -e(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

Die Lorentz-Kraft wirkt stets senkrecht zur momentanen Bewegungsrichtung des Ladungsträgers und senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes.



Ein senkrecht zum Magnetfeld fliegendes Elektron unterliegt der Kraft

$$F_L = e v B \quad \text{mit} \quad F_L = |\vec{F}_L|, v = |\vec{v}|, B = |\vec{B}| \quad (3)$$

die senkrecht auf der Bewegungsrichtung steht. Das Elektron beschreibt daher eine Kreisbahn, dessen Radius  $r = |\vec{r}|$  sich aus dem Gleichgewicht zwischen der Lorentz-Kraft (Zentripetalkraft) und der Zentrifugalkraft

$$F_{zf} = m_e \omega^2 r = m_e \frac{v^2}{r} \quad \text{mit} \quad F_{zf} = |\vec{F}_{zf}|, r = |\vec{r}| \quad \text{und} \quad \vec{F}_{zf} = m_e \omega^2 \vec{r}$$

ergibt. Gleichsetzen der beiden Kräfte

$$F_L = e v B = m_e \frac{v^2}{r} = F_{zf}$$

liefert

$$r = \frac{m_e v}{e B} \quad (4)$$

Aus dieser Beziehung ist ersichtlich, dass bei Erhöhung der magnetischen Flussdichte  $B$  der Radius  $r$  abnimmt. Die magnetische Flussdichte ist wiederum zu dem Strom  $I$ , welcher die beiden Helmholtz-Spulen durchfließt, proportional, d.h.

$$B = k \cdot I \quad (5)$$

Der Proportionalitätsfaktor  $k$  kann mit Hilfe des Spulenradius  $R = 150 \text{ mm}$  und der Windungszahl  $n = 130$  je Spule gemäß

$$k = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{n}{R} \quad \text{mit} \quad \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

berechnet werden.

Mit (1) ergibt sich durch Umstellen von (4) die spezifische Elektronenladung zu

$$\varepsilon = \frac{-e}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B} \quad (6)$$

Im Fadenstrahlrohr erzeugt man die sich mit einheitlicher Geschwindigkeit senkrecht zum Magnetfeld bewegenden Elektronen wie folgt. Die aus einer Glühkathode austretenden Elektronen werden durch eine an die Anode angelegte Spannung  $U_b$  so beschleunigt, dass sie sich nach dem Durchlaufen eines Loches in der Anode senkrecht zum Magnetfeld bewegen. Aus dem Energieerhaltungssatz

$$e U_b = \frac{m_e}{2} v^2 \quad (7)$$

folgt nach Umstellen

$$v = \sqrt{\frac{2 e U_b}{m_e}}$$

und Einsetzen in (4)

$$r = \sqrt{\frac{2 m_e U_b}{e}} \frac{1}{B}$$

sowie Quadrieren und Auflösen nach der spezifischen Elektronenladung schließlich

$$\varepsilon = \frac{-e}{m_e} = -\frac{2 \cdot U_b}{r^2 \cdot B^2} = -\frac{U_b}{I^2} \cdot \frac{2}{r^2 \cdot k^2} = -\alpha \frac{2}{r^2 \cdot k^2} \quad (8)$$

Um den Elektronenstrahl sichtbar zu machen, enthält das Fadenstrahlrohr bei Unterdruck Wasserstoffmoleküle, die durch Stöße der Elektronen zum Leuchten angeregt werden. Die Kreisbahn der Elektronen wird dadurch indirekt sichtbar, und ihr Bahnradius  $r$  kann unmittelbar mit einem Maßstab gemessen werden.

### 3. Versuchsaufbau

#### Geräteliste

1	Fadenstrahlrohr	555 571
1	Helmholtz-Spulen mit Ständer und Messvorrichtung	555 581
1	Röhren-Netzgerät 0 ... 500 V	521 65
1	DC-Netzgerät 0 ... 20 V	521 54
1	Voltmeter, DC, $U_{-}$ 300 V	531 100
1	Amperemeter, DC, $I_{-}$ 3 A	531 100
1	Rollbandmaß, 2 m	311 77

- Die Heizspannung  $U_h$  von 6,3 V des Fadenstrahlrohres an den 6,3 V- Ausgang des Röhren-Netzgeräts (Buchsen ganz links) anschließen.
- Die „-“ Buchse des Fadenstrahlrohres (Kathode) mit dem Minuspol des 500 V Ausgangs verbinden. Dieser wird gleichzeitig mit dem Pluspol des 50 V Ausgangs am Röhren-Netzgerät verbunden.
- Die „+“ Buchse des Fadenstrahlrohres (Anode) mit Pluspol des 500 V Ausgangs verbinden.
- Die Buchse W (Wehnelt-Zylinder) mit dem Minuspol des 50 V Ausgangs verbinden.
- Zur Messung der Beschleunigungsspannung  $U_b$  wird das Voltmeter (Messbereich 300V-) parallel zum 500 V Ausgang angeschlossen.

- Die Ablenkplatten des Fadenstrahlrohres auf Anodenpotential legen, d.h. mit Brücken verbunden.
- Das DC-Netzgerät mit den Anschlüssen der Helmholtz-Spulen verbinden. (Das zusätzliche Amperemeter ist nicht notwendig, da das Netzgerät über eine Digitalanzeige für den Ausgangsstrom verfügt.)

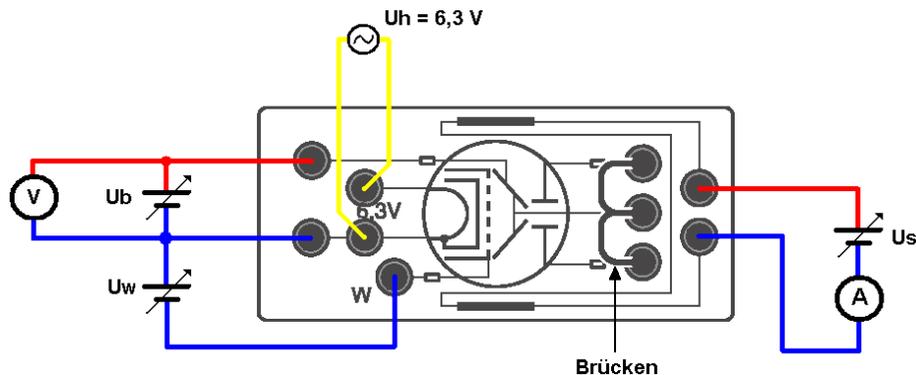


Abb. 1: Elektrischer Anschlußplan zum Fadenstrahlrohr

- Das Röhren-Netzgerät einschalten und eine Beschleunigungsspannung von  $U_b = 300\text{V}$  einstellen. Die Glühelktronen-Emission beginnt nach einer Heizdauer von wenigen Minuten.
- Die Bündelung des Elektronenstrahls durch Variieren der Spannung am Wehnelt-Zylinder zwischen  $U_w = (0 \dots 10)\text{V}$  optimieren, bis ein enges, scharf begrenztes Strahlenbündel ohne diffusen Rand entsteht.
- Das DC-Netzgerät zur Versorgung der Helmholtz-Spulen einschalten und den Strom  $I$  so einstellen, dass der Elektronenstrahl in eine geschlossene Kreisbahn abgelenkt wird. (Die Helmholtz-Spulen dürfen nur kurzzeitig über 2A belastet werden.)

**Hinweise:**

Um den Elektronenstrahl zu sehen, muss der Raum fast vollständig abgedunkelt werden.

Wenn der Elektronenstrahl nach Austritt aus der Anode zur falschen (rechten) Seite abgelenkt wird:

- Beide Netzgeräte ausschalten.
- Zur Umpolung des Magnetfelds die Anschlüsse am DC-Netzgerät vertauschen.

**4. Versuchsdurchführung**

- Verschieben sie zunächst den rechten Schieber, sodass dessen Innenkante im gegenüberliegenden Spiegel in Deckung mit dem an der Anode austretenden Elektronenstrahl liegt.
- Positionieren sie den linken Schieber mit einem inneren Abstand des einzustellenden Elektronenringdurchmessers zum rechten Schieber.
- Danach den Spulenstrom so einstellen, dass sich der Elektronenring exakt innerhalb der beiden Schieber befindet (siehe Abb. 2).

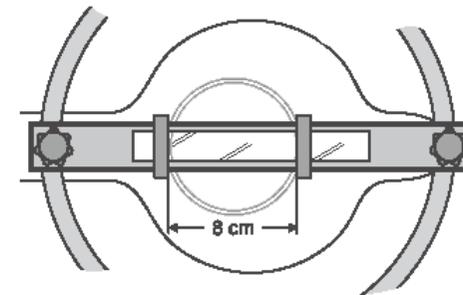


Abb. 2: Einstellung des Elektronenringdurchmessers

- Ermitteln sie jeweils den erforderlichen Spulenstrom für zwei verschiedene Elektronenstrahldurchmesser zwischen 7 cm und 10 cm für Beschleunigungsspannungen von 200 V bis 300 V in 10 V Schritten.

**Hinweis:**

Vermeiden sie Parallaxenfehler beim Einstellen des Elektronenringes und beim Ablesen der Werte vom Zeigerinstrument.

**5. Auswertung**

- Stellen sie die Messergebnisse  $U_b = f(I^2)$  grafisch dar.
- Bestimmen sie die Funktionssteigung  $\alpha$  aus obigen Messkurven.
- Berechnen sie den Proportionalitätsfaktors  $k$  aus den Spulenparametern.
- Bestimmen sie die spezifische Elektronenladung  $e$  aus ihren Messwerten.
- Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen, die die größte Beschleunigungsspannung durchlaufen haben.