

## **AB4 – Kreisende Elektronen im Magnetfeld: Das Fadenstrahlrohr**

In einen evakuierten Kugelkolben wird etwas Gas (z. B. Wasserstoff oder Argon) gefüllt, so dass im Kolben ein niedriger Druck herrscht. Dadurch werden die Elektronen durch Zusammenstöße möglichst wenig abgebremst, jedoch genügt die Zahl der Zusammenstöße, um ein sichtbares Leuchten zu erzeugen.

Im Kolben befindet sich eine Elektronenkanone, bestehend aus einer Heizspirale, einer Kathode und einer Lochanode. Aus der Kathode treten Elektronen aus, die zur positiv geladenen Lochanode hin beschleunigt werden. Einige Elektronen verlassen durch ein Loch in der Anode das Strahlerzeugungssystem. An die Helmholtz-Spulen wird außerdem noch ein Amperemeter angeschlossen, um den Spulenstrom zu bestimmen, und an die Elektronenkanone wird ein Voltmeter angeschlossen, um die Beschleunigungsspannung zu messen.

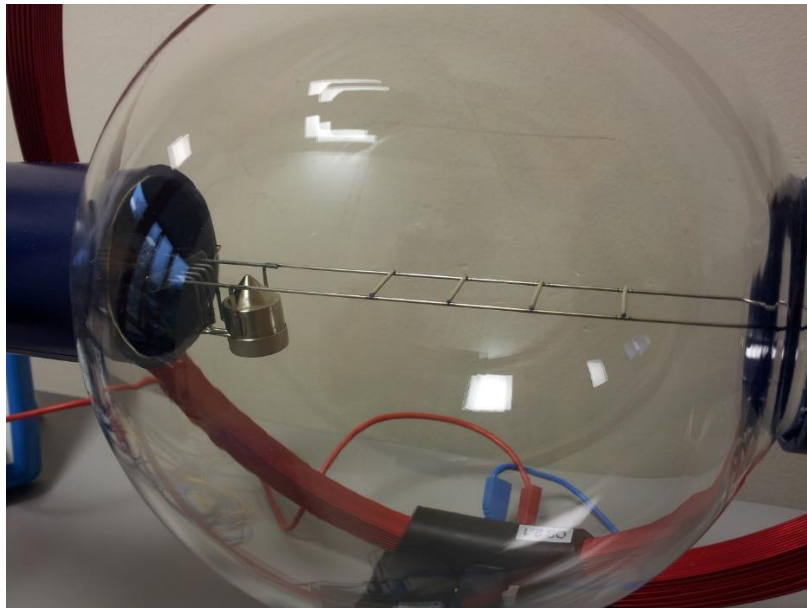


Abbildung 1: Vergrößerter Ausschnitt des Kugelkolbens.

Die magnetische Flussdichte  $B$  im Inneren eines solchen Helmholtz-Spulensystems lässt sich aus der mittleren Spulenradius  $R$ , der Windungszahl  $n$  einer Spule, der Stromstärke  $I$  und der Vakuumpermeabilität  $\mu_0$  ermitteln:

$$B = 0,75 \mu_0 \frac{n \cdot I}{R} .$$

Die spezifische Ladung  $\frac{e}{m}$  (Verhältnis aus Elektronenladung und Elektronenmasse) lässt sich mit Hilfe der Lorentzkraft  $F_L$  ermitteln, wenn die Elektronen senkrecht zur Magnetfeldrichtung aus dem Strahlerzeugungssystem austreten. Dabei ist  $B$  die magnetische Flussdichte des Feldes im Innern der Helmholtz-Spulen,  $v$  die Geschwindigkeit der Elektronen und  $e$  die Elektronenladung:

$$F_L = evB .$$

Die Elektronen beschreiben eine Kreisbahn, da die Lorentzkraft ständig zum Mittelpunkt der Kreisbahn zeigt, da sich die Bewegungsrichtung der Elektronen ständig ändert (mit der Drei-Finger-Regel zu ermitteln bei Abb. 3).

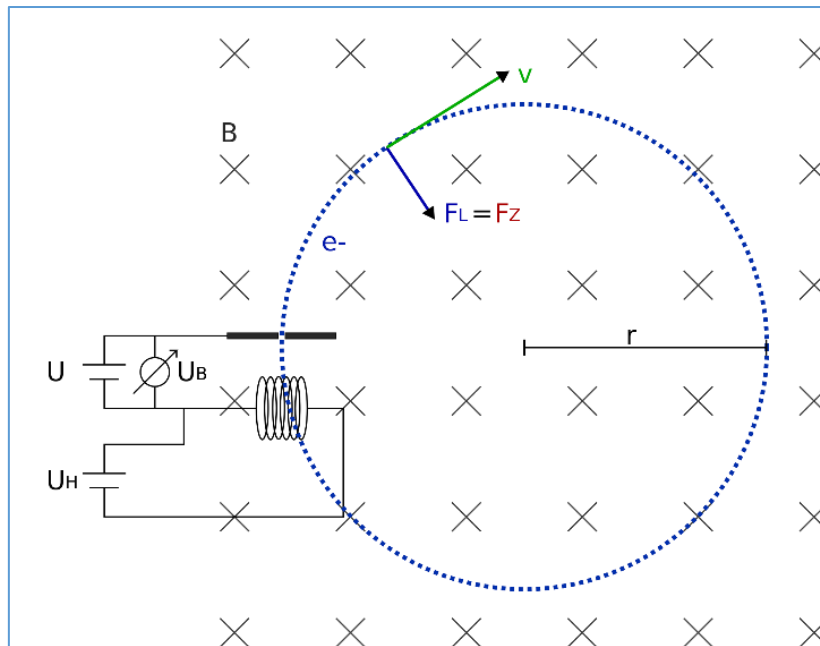


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Kreisbahn der Elektronen im Magnetfeld der Helmholtz-Spulen mit eingezeichneter Lorentzkraft.

URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/31/Teltron\\_tube.svg/2000px-Teltron\\_tube.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/31/Teltron_tube.svg/2000px-Teltron_tube.svg.png), Stand: 11.12.19

Da die Lorentzkraft die Elektronen auf eine Kreisbahn zwingt, wirkt diese als Zentripetalkraft  $F_Z$ , dabei ist  $m$  die Masse des Elektrons,  $v$  die Geschwindigkeit des Elektrons und  $r$  der Bahnradius der Elektronen:

$$F_Z = \frac{mv^2}{r}.$$

Daher kann man beide Kräfte gleichsetzen:

$$\begin{aligned} F_L &= F_Z \\ evB &= \frac{mv^2}{r} \\ \frac{e}{m} &= \frac{v}{Br}. \quad (1) \end{aligned}$$

Aus dem Energieerhaltungssatz folgt, dass die vom elektrischen Feld an den Elektronen verrichtete Arbeit  $W_{el}$  gleich der kinetischen Energie  $E_{kin}$  ist, die die Elektronen am Ende besitzen, wenn sie in das Magnetfeld eintreten:

$$\begin{aligned} W_{el} &= E_{kin} \\ eU &= \frac{1}{2}mv^2 \\ v &= \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \end{aligned}$$

Setzt man diese Beziehung für die Geschwindigkeit der Elektronen in die Gleichung (1) für die spezifische Ladung ein, so ergibt sich:

$$\frac{e^2}{m^2} = \frac{2eU}{mB^2r^2}$$

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

- 1) **Bestimmen** Sie mithilfe der experimentell gewonnen Daten alle offenen Größen und füllen Sie die Tabelle aus!

Daten:

Messung	1.	2.	3.	4.
Beschleunigungsspannung U [Volt]				
Stromstärke I [A]				
Bahnradius r [cm]	5	4	3	2
Windungszahl n	154	154	154	154
Radius der Spulen R [cm]	20	20	20	20
Magnetische Flussdichte B [T]				
$\frac{e}{m} \left[ \frac{\text{As}}{\text{kg}} \right]$				

- 2) **Berechnen** Sie nun den Mittelwert für  $\frac{e}{m}$ .
- 3) **Bestimmen** Sie die prozentuale Abweichung vom Literaturwert von  $\frac{e}{m}$ !

Prozentuale Abweichung vom Sollwert:

$$\Delta p\% = \frac{|Sollwert - Istwert|}{Sollwert}$$

- 4) **Benennen** und **erläutern** Sie mögliche Gründe für die Abweichungen vom Literaturwert.