

## Demonstrations-Elektronenstrahl-Ablenkröhre



Die Demonstrations-Elektronenstrahl-Ablenkröhre dient zur Untersuchung von Elektronenstrahlen in elektrischen und magnetischen Feldern. Sie ermöglicht sowohl die Bestimmung der spezifischen Ladung  $e/m$  als auch eine Abschätzung der Geschwindigkeit der Elektronen  $v$ .

### 1. Sicherheitshinweise

- Maximale Heizspannung von 7,5 V nicht überschreiten.
- Zur Beschaltung der Steckerstifte Experimentierkabel Stecker/Buchse verwenden.
- Röhre bei glühender Heizwendel nicht bewegen.
- Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Mechanische Belastungen der Steckerstifte vermeiden. Deshalb nur mit einem Experimentierkabel beschalten.

### 2. Beschreibung, technische Daten

Die Elektronenstrahl-Ablenkröhre besitzt eine Elektronenkanone in einem evakuierten Glaskolben mitfokussierendem Elektrodensystem, direkt geheizter Wolfram-Glühkatode und einer zylinderförmigen Anode. Die Heizwendel ist verbunden mit 4-mm-Buchsen in einer Plastikfassung am Ende des Kolbenhalses. Der Anschluss der Anode erfolgt über einen 4-mm-Stecker an der Seite des Kolbenhalses. Über einen eingebauten Plattenkondensator kann der Elektronenstrahl elektrostatisch und durch Verwendung der Demonstrations-Helmholtzspulen (CL95001) magnetisch abgelenkt werden. Die Ablenkplatten halten einen Fluoreszenzschirm mit cm-Raster,  $15^\circ$  gegen die Strahlachse geneigt, auf dem der Elektronenstrahlverlauf sichtbar gemacht wird. Angeschlossen werden sie über 4-mm-Steckerstifte in Plastikgehäusen, die zur Halterung der Röhre im Demonstrations-Röhrenhalter CL95000 dienen.

Heizung:	<7,5VAC/DC
Anodenspannung:	1000 V bis 5000 V
Anodenstrom:	typ. 1 mA
Kondensatorspannung:	max. 5000 V
Abstand zwischen den Kondensatorplatten:	ca. 54 mm
Fluoreszenzschirm:	90 mm x 60 mm
Glaskolben:	ca. 130 mm Ø
Gesamtlänge:	ca. 260 mm

### 3. Bedienung

Zum Betrieb der Demonstrations-Elektronenstrahl-Ablenkröhre sind folgende Geräte zusätzlich erforderlich:

1 Demonstrations-Röhrenhalter CL95000 zum Aufbau der Röhre, 1 Hochspannungs-Netzgerät, 6 kV CL01045 zum Betrieb der Heizung mit der erforderlichen Heizspannung (6,5 V) sowie zur Versorgung der Anode und der Kondensatorplatten mit einer Spannung von 1 kV bis 5 kV, 1 Paar Demonstrations-Helmholtzspulen CL95001 zur Anlegung eines (nahezu) homogenen Magnetfelds, 1 DC-Netzgerät 0-16 V, 0-5 A CL10201 zum Betrieb der Helmholtzspulen, Experimentierkabel.

## 4. Versuchsbeispiele

### 4.1 Elektromagnetische Ablenkung

- Elektronenröhre im Röhrenhalter CL95000 einsetzen.
  - Beschaltung der Röhre gemäß Fig. 1 herstellen. Die Spulen werden hintereinander geschaltet, so dass sie gleichsinnig vom Strom durchflossen werden. Dazu Anschlussstellen A mit dem Netzgerät und Z mit Z verbinden.
  - Hochspannungs-Netzgerät einschalten und Strahlverlauf beobachten.
  - Spannung an die Helmholtz-Spulen anlegen:
1. Bei konstanter Anodenspannung verringert sich der Radius der Ablenkung mit Erhöhung des Spulenstroms.
  2. Bei konstantem Spulenstrom vergrößert sich der Radius mit Erhöhung der Anodenspannung, was auf eine höhere Geschwindigkeit hinweist.
  3. Der Elektronenstrahlverlauf ist kreisförmig, die Ablenkung erfolgt in einer Ebene senkrecht zum elektromagnetischen Feld.
- Ein Elektron der Masse  $m$  und der Ladung  $e$ , das sich senkrecht zu einem magnetischen Feld  $B$  bewegt, wird durch die Zentralkraft  $Bev$  in eine Kreisbahn gezwungen:

$$Bev = \frac{MV^2}{r}$$

(1)

mit  $v$  = Geschwindigkeit des Elektrons und  $r$  = Krümmungsradius.

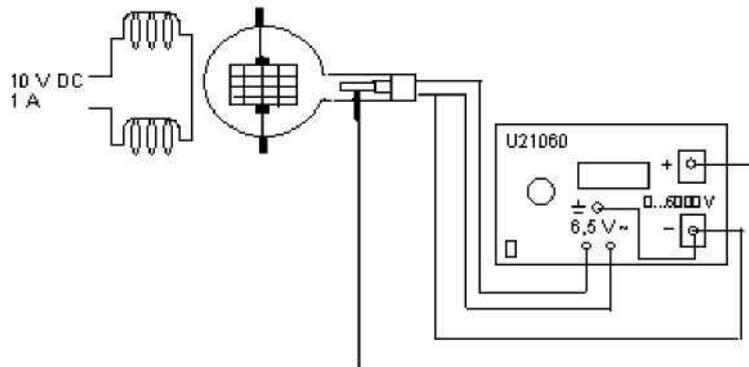


Fig. 1

## 4.2 Elektrostatische Ablenkung

- Beschaltung der Röhre gemäß Fig. 2 vornehmen.
- Hochspannungs-Netzgerät einschalten und Strahlverlauf beobachten.
- Ein Elektron, das mit der Geschwindigkeit  $v$  das elektrische Feld  $E$  eines Plattenkondensators mit der Kondensatorspannung  $U_P$  und dem Plattenabstand  $d$  durchfliegt, wird auf eine Parabelbahn abgelenkt:

$$y = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{E}{v^2} x^2 \quad \text{mit} \quad E = \frac{U_P}{d}$$

wobei  $y$  die lineare Ablenkung über die lineare Distanz  $x$  ist. (2)

- Die beiden Gleichungen 1 und 2 enthalten die drei Unbekannten  $e$ ,  $m$  und  $v$ , die zur Bestimmung der spezifischen Ladung  $e/m$  und  $v$  gelöst werden können.

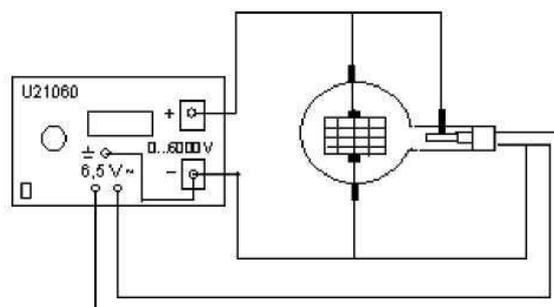


Abb. 2

## 4.3 Bestimmung von $e/m$ und $v$

- Versuchsaufbau gemäß Fig. 1.
- Für die von der Anodenspannung  $U_A$  abhängige Geschwindigkeit der

Elektronen  $v$  gilt:

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U_A} \quad (3)$$

- Aus den Gleichungen 1 und 3 folgt für die spezifische Ladung  $e/m$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{(E r)^2} \quad (4)$$

- $U_A$  kann unmittelbar abgelesen werden,  $B$  und  $r$  lassen sich experimentell bestimmen.

#### 4.3.1 Bestimmung von $r$

- Für den Krümmungsradius  $r$  des abgelenkten Elektronenstrahls gilt wie aus Fig. 3 ersichtlich: daraus folgt:

$$r^2 = x^2 + (r - y)^2$$

$$r = \frac{x^2 + y^2}{2y} \quad (5)$$

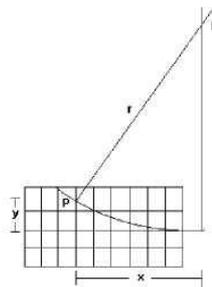


Fig. 3

#### 4.3.2 Bestimmung von $B = \mu_0 H$

- Die magnetische Flussdichte  $B$  des Magnetfeldes der Helmholtz-Spulen lässt sich nach dem Biot-Savartschen Gesetz berechnen. Für die Feldstärke  $H$  gilt:

$$H = \frac{n R^2 I}{(R^2 + a^2)^{3/2}}$$

wobei  $n$  die Windungszahl je Spule,  $R$  der Spulenradius,  $a$  der halbe mittlere Spulenabstand und  $I$  die Stromstärke je Spule ist.

### 5. Berechnungsbeispiel

- Es wird  $B$  jeweils so eingestellt, dass der Elektronenstrahl durch die Punkte  $(10 / \pm 2)$  geht. Für den Radius  $r$  gilt dann nach Gleichung 5:  
 $r = 0,26 \text{ m}$
- Die Bestimmung der Feldstärke  $H$  erfolgt gemäß Gleichung 6 mit:  
 $n = 320$   
 $R = 0,068 \text{ m}$

$$a = 0,034 \text{ m}$$

$$\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ VsA}^{-1} \text{m}^{-1}$$

- Die Berechnung von  $e/m$  wird mit Gleichung 4 durchgeführt. Bauartbedingt liefert die Röhre nur einen Annäherungswert für  $e/m$ .
- Der gemittelte Wert für  $e/m = 2,0928 \cdot 10^{11} \text{ Askg}^{-1}$  bei einem Literaturwert von  $1,7589 \cdot 10^{11} \text{ Askg}^{-1}$
- Durch Einsetzen der Werte von  $e/m$  und  $U_A$  in Gleichung 3 lässt sich die Geschwindigkeit der Elektronen  $v$  bestimmen.
- Folgende Werte wurden gemessen bzw. errechnet:

$U_A$ (V)	$I_+$ (A)	$I_-$ (A)	$I_{\text{gemittelt}}$ (A)	$H$ (Am <sup>-1</sup> )	$e/m$ (Askg <sup>-1</sup> )	$v$ (ms <sup>-1</sup> )
3000	0,135	0,175	0,155	521,963	$2,0849 \cdot 10^{11}$	$3,537 \cdot 10^7$
4000	0,157	0,2	0,1785	601,099	$2,0961 \cdot 10^{11}$	$4,0949 \cdot 10^7$
5000	0,176	0,223	0,1995	671,816	$2,0976 \cdot 10^{11}$	$4,5799 \cdot 10^7$