

Kompaktes Komplettsystem zur e/m-Bestimmung mit Fadenstrahlröhre 8001324

Bedienungsanleitung

04/26 HJB



1. Sicherheitshinweise

Das Betriebsgerät Fadenstrahlröhre entspricht den Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte nach DIN EN 61010 Teil 1 und ist nach Schutzklasse I aufgebaut. Es ist für den Betrieb in trockenen Räumen vorgesehen, die für elektrische Betriebsmittel geeignet sind.

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ist der sichere Betrieb des Gerätes gewährleistet. Die Sicherheit ist jedoch nicht garantiert, wenn das Gerät unsachgemäß bedient oder unachtsam behandelt wird.

Wenn anzunehmen ist, dass ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist (z.B. bei sichtbaren Schäden), ist das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu setzen.

In Schulen und Ausbildungseinrichtungen ist der Betrieb des Gerätes durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.

Beim Betrieb des Gerätes können am Röhrensockel berührungsgefährliche Spannungen anliegen.

- Gerät stets mit eingesetzter Röhre betreiben.
- Röhre nur bei ausgeschaltetem Versorgungsgerät ein- und ausbauen.
- Gerät nur an Steckdosen mit geerdetem Schutzleiter anschließen.
- Defekte Sicherung nur mit einer dem Originalwert entsprechenden Sicherung (siehe Gehäuserückseite) ersetzen.
- Vor Sicherungswechsel Netzstecker ziehen.
- Sicherung oder Sicherungshalter niemals kurzschließen.
- Lüftungsschlitze an dem Gehäuse immer frei lassen, um ausreichende Luftzirkulation zur Kühlung der inneren Bauteile zu gewährleisten.

Glühkathodenröhren sind dünnwandige, evakuierte Glaskolben. Vorsichtig behandeln: Implosionsgefahr!

- Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Vor Einstellen der Anodenspannung ca. 1 min abwarten, bis sich die Temperatur der Heizwendel stabilisiert hat.

Im Betrieb erwärmt sich der Röhrenhals.

- Röhre vor dem Wegräumen abkühlen lassen.

2. Beschreibung

Betriebsgerät Fadenstrahlröhre

Das Betriebsgerät Fadenstrahlröhre dient in Verbindung mit der Fadenstrahlröhre T (1024632) zur Bestimmung der spezifischen Ladung des

Elektrons, sowie zur Untersuchung der Ablenkung von Elektronenstrahlen im homogenen Magnetfeld.

Die Helmholtzspulen sind auf dem Gerät fest montiert und die austauschbare Fadenstrahlröhre befindet sich auf einem um 270° drehbaren Sockel. Beide sind intern an das Betriebsgerät angeschlossen, ohne dass eine externe Verkabelung erforderlich ist. Alle Versorgungsspannungen der Röhre sowie der Strom durch die Helmholtz-Spulen sind einstellbar. Anodenspannung und Spulenstrom werden digital angezeigt und können zusätzlich als Spannungsäquivalentwerte abgegriffen werden.

Fadenstrahlröhre T

In der Fadenstrahlröhre erzeugt ein Elektronenstrahlssystem bestehend aus einer indirekt geheizten Oxidkathode, einer Lochanode und einem Wehnelt-Zylinder ein scharf begrenztes Elektronenbündel in einer Heliumrestgas-Atmosphäre mit präzise eingestelltem Gasdruck. Durch Stoßionisation von Heliumatomen entsteht eine sehr helle, ebenfalls scharf begrenzte Leuchtspur der Elektronenbahn in der Röhre. Bei optimaler Ausrichtung der Röhre und passendem Strom durch die Helmholtz-Spulen werden die Elektronen auf eine Kreisbahn abgelenkt. Deren Durchmesser lässt sich leicht bestimmen, wenn die Elektronen genau auf eine der äquidistanten Messmarken treffen, so dass deren Ende aufleuchtet.

Zum Betrieb der Fadenstrahlröhre dient das Betriebsgerät Fadenstrahlröhre (1009948).

3. Lieferumfang

a) Betriebsgerät Fadenstrahlröhre

- 1 Betriebsgerät
- 1 Satz Netzanschlussleitungen EU, UK, US
- 1 Bedienungsanleitung

b) Fadenstrahlröhre T

- 1 Fadenstrahlröhre
- 1 Bedienungsanleitung

4. Technische Daten

a) Betriebsgerät Fadenstrahlröhre

Helmholtz-Spulenpaar:

Spulendurchmesser:	ca. 300 mm
Windungszahl:	124
Magnetfeld:	0 bis 3,4 mT (0,75 mT/A)

Betriebsgerät:

Spulenstrom:	0 bis 4,5 A
Messausgang:	$U_{\text{OUT}} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$
Anodenspannung:	15 bis 300 V, max. 10 mA
Messausgang:	$U_{\text{OUT}} = \frac{U_A}{100}$
Heizspannung:	5 bis 7 V DC, max. 1 A
Wehneltspannung:	0 bis -50 V
Anzeige:	3 stellige LED Digitalanzeige für Spulenstrom und Anodenspannung

Genauigkeit

Anzeige:	1% + 2 Digits
Messausgänge:	1%
Anschlüsse	4 mm Sicherheitsbuchsen
Messausgänge:	

Allgemeine Daten:

Drehwinkel der Röhre:	-10° bis 270°
Netzanschluss:	100 bis 240 V, 50 / 60 Hz
Netzanschlusskabel:	EU, UK und US
Abmessungen:	310 x 275 x 410 mm³
Masse:	ca. 7,5 kg

b) Fadenstrahlröhre T

Gasfüllung:	Helium
Gasdruck:	0,13 hPa
Kolbendurchmesser:	165 mm
Kreisbahndurchmesser:	20 bis 120 mm
Messmarkenabstand:	20 mm

5. Allgemeine Grundlagen

Auf ein Elektron, das sich mit der Geschwindigkeit v senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld B bewegt, wirkt senkrecht zur Geschwindigkeit und zum Magnetfeld die Lorentz-Kraft

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (1)$$

e : Elementarladung

Sie zwingt das Elektron als Zentripetalkraft

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (2)$$

m : Elektronenmasse

auf eine Kreisbahn mit dem Radius r . Daher ist

$$e \cdot B = \frac{m \cdot v}{r} \quad (3)$$

Die Geschwindigkeit v hängt von der Beschleunigungsspannung U der Elektronenkanone ab:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U} \quad (4)$$

Für die spezifische Ladung des Elektrons gilt somit:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \quad (5)$$

Misst man für verschiedene Beschleunigungsspannungen U und verschiedene Magnetfelder B jeweils den Kreisbahnradius r , so liegen die Messwerte in einem $r^2 B^2 - 2U$ -Diagramm gemäß Gl. (5) auf einer Ursprungsgeraden mit der Steigung e/m .

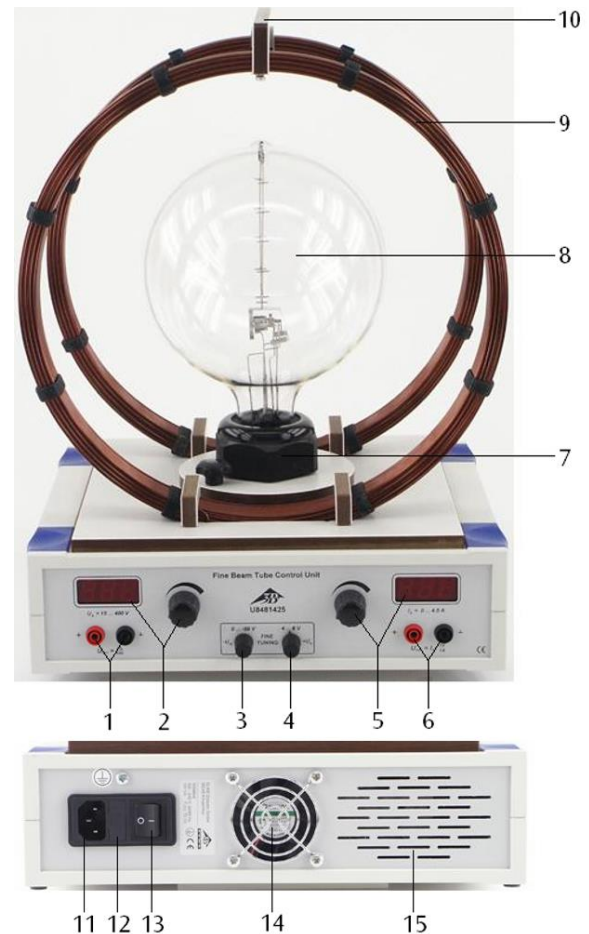
Das Magnetfeld B wird in einem Helmholtz-Spulenpaar erzeugt und ist proportional zum Strom I_H durch eine einzelne Spule. Der Proportionalitätsfaktor k kann aus dem Spulenradius $R = 147,5$ mm und der Windungszahl $N = 124$ je Spule berechnet werden:

$$B = k \cdot I_H \quad (6)$$

$$\text{mit } k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R} = 0,756 \frac{\text{mT}}{\text{A}}$$

Damit sind sämtliche Bestimmungsgrößen für die spezifische Elektronenladung bekannt.

6. Bedienelemente Betriebsgerät



- 1 Messausgang für Beschleunigungsspannung
- 2 Einstellregler und Anzeige der Beschleunigungsspannung
- 3 Einstellregler Wehnelt-Spannung
- 4 Einstellregler Heizspannung
- 5 Einstellregler und Anzeige des Spulenstromes
- 6 Messausgang für Spulenstrom
- 7 drehbarer Sockel
- 8 Fadenstrahlröhre T (1024632)
- 9 Helmholtz Spulen
- 10 Tragegriff
- 11 Netzanschluss
- 12 Sicherungshalter
- 13 Netzschalter
- 14 Lüfter
- 15 Lüftungsschlitze

7. Bedienung

7.1 Einbau der Fadenstrahlröhre

- Überwurfmutter linksdrehend aufschrauben.
- Fadenstrahlröhre auf verbogene Kontakte hin kontrollieren.
- Röhre senkrecht einsetzen, dabei unbedingt auf die richtige Orientierung der Kontaktstifte und des Codierstiftes achten! (Siehe Fig 1).

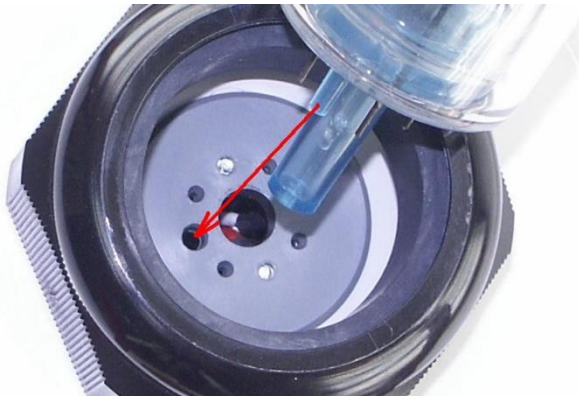


Fig. 1: Einsetzen der Röhre

- Röhre mit leichtem Druck nach unten drücken, bis diese aufsitzt.
- **Hinweis:** Höhe vom Sockel bis zur Oberkante der Überwurfmutter ausmessen und auf die Röhre übertragen. Somit ist erkennbar, ob die Röhre richtig im Sockel sitzt.
- Überwurfmutter rechtsdrehend handfest anziehen, dabei auf senkrechte Ausrichtung der Röhre achten.

Achtung: Bei nicht angezogener Rändelschraube ist die Röhre nicht gesichert und kann beim Transport herausfallen!



Fig. 2: Eingesetzte Röhre

7.2 Justierung des Elektronenbündels

- Fadenstrahlbetriebsgerät in einen stark abgedunkelten Raum bringen.
- Röhre wie oben abgebildet ausrichten (Richtung der Elektronenkanone senkrecht zum magnetischen Feld der Helmholtz-Spulen). Hinweis zum Drehung der Röhre siehe Punkt 7.3.
- Einstellregler Heizspannung in Mittelposition bringen (ca. 6 V).
- Regler für Spulenstrom auf Linksanschlag stellen, also 0 A.
- Ca. 1 Minute abwarten bis sich die Temperatur der Heizwendel stabilisiert hat.
- Anodenspannung langsam bis auf max. 300 V erhöhen (der zunächst waagerechte Elektronenstrahl wird durch ein schwaches, bläuliches Licht sichtbar).
- Wehnelt-Spannung so wählen, dass ein möglichst dünnes, scharf begrenztes Strahlenbündel zu sehen ist.
- Schärfe und Helligkeit des Strahlenbündels durch Variieren der Heizspannung optimieren.
- Spulenstrom I_H durch die Helmholtz-Spulen erhöhen und überprüfen, ob der Elektronenstrahl nach oben gekrümmt wird.
- Wird der Strahl nach unten abgelenkt, so ist die Röhre um 180° zu drehen.
- Spulenstrom weiter erhöhen und überprüfen, ob der Elektronenstrahl eine in sich geschlossene Kreisbahn bildet. Gegebenenfalls die Röhre leicht drehen.
- Experiment wie unten beschrieben durchführen.

7.3 Röhre drehen

Die Röhre ist auf einem um -10° bis 270° drehbaren Sockel befestigt.

- Um die Röhre zu drehen, die Rändelschraube lösen. **Nicht herausschrauben!**
- Dazu **nicht** an der Röhre, sondern an dem Drehteller oder der Überwurfmutter drehen.
- Rändelschraube wieder festziehen.

Achtung: Bei komplett entfernter Rändelschraube ist die Röhre nicht mehr gesichert und kann beim Transport herausfallen!

7.4 Sicherungswechsel

- Netzgerät ausschalten und unbedingt Netzstecker ziehen.
- Sicherungshalter an der Rückseite des Netzgeräts mit einem flachen Schraubendreher herausziehen (siehe Fig. 3).
- Schraubendreher von der Kaltgerätestecker-Seite aus ansetzen.

- Sicherung ersetzen und Halter wieder hineindrücken.

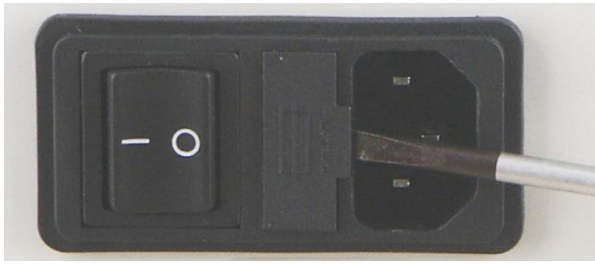


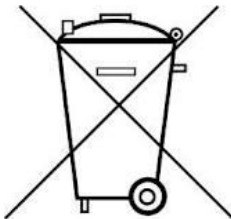
Fig. 3: Sicherungswechsel

8. Pflege und Wartung

- Vor der Reinigung Netzstecker ziehen.
- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.

9. Entsorgung

- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.



10. Experimentierbeispiel

Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons e/m

- Spulenstrom so wählen, dass der Kreisbahnradius z. B. 5 cm beträgt. Eingestellten Wert notieren.
- Anodenspannung in 20-V-Schritten auf 200 V verkleinern, jeweils den Spulenstrom I_H so wählen, dass der Radius konstant bleibt. Diese Werte notieren.
- Weitere Messreihen für die Kreisbahnradien 4 cm und 3 cm aufnehmen.
- Zur weiteren Auswertung die Messwerte in einem $r^2 B^2$ - $2U$ -Diagramm auftragen (siehe Fig. 4).

Die Steigung der Ursprungsgeraden entspricht e/m .

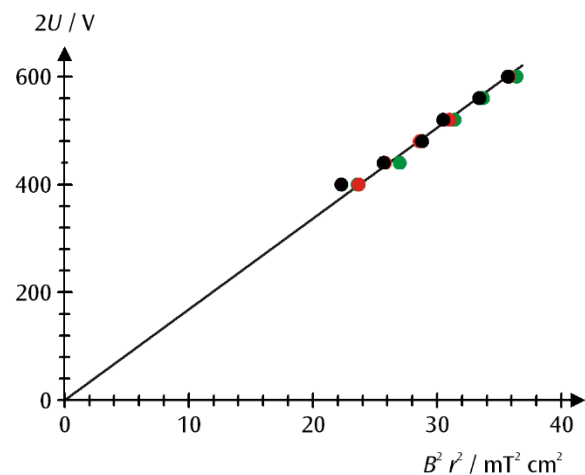


Fig. 4 $r^2 B^2$ - $2U$ -Diagramm der Messwerte (schwarz: $r = 5$ cm, rot: $r = 4$ cm, grün: $r = 3$ cm)