

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0  
Fax +49 (0) 551 604-107  
E-mail info@phywe.de

### Betriebsanleitung

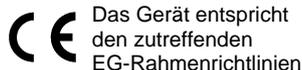


Abb. 1: 06959-00 Fadenstrahlrohr und Helmholtz-Spulenpaar 06960-06

## INHALTSVERZEICHNIS

- 1 SICHERHEITSHINWEISE
  - 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN
  - 3 THEORIE
  - 4 HANDHABUNG
  - 5 TECHNISCHE DATEN
  - 6 GERÄTELISTE
  - 7 GARANTIEHINWEIS
  - 8 ENTSORGUNG
- 1 SICHERHEITSHINWEISE



### Achtung!

- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Das Gerät nicht in Betrieb nehmen, wenn Beschädigungen am Gerät sichtbar sind.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den dafür vorgesehenen Zweck.
- Es sollte unbedingt vermieden werden, den Versuchsaufbau in der Nähe eines Magnetfeldes zu platzieren.

## 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Mit Hilfe des Fadenstrahlrohres 06959-00 kann in Verbindung mit dem Helmholtz-Spulenpaar 06960-00 das Verhalten eines Elektronenstrahls in einem senkrecht zur Elektronenbahn orientierten Magnetfeld untersucht werden. Die Elektronenbahn ist durch die Fluoreszenz der Edelgasfüllung in der Röhre sichtbar. In der Röhrenachse befindet sich ein Maßstab in Form von mit Leuchtfarbe bestrichenen Metallstegen, der ein genaues Ausmessen des Durchmessers der Elektronenbahn zur Bestimmung der spezifischen Elektronenladung  $e/m$  ermöglicht. Die Röhre ist nach dem Evakuieren mit Neon auf einen Druck von ca.  $4 \times 10^{-3}$  mbar gefüllt worden. Dieser Edelgas-Restdruck spielt eine wichtige Rolle bei der Bündelung des Elektronenstrahls. Die Elektronen stoßen längs ihrer Bahn mit Gasmolekülen zusammen und ionisieren diese, so dass der Strahl durch das Neon-Rekombinationsleuchten sichtbar wird. Da andererseits bei den Ionisationsvorgängen nur die entstandenen Sekundärelektronen aus dem Strahl herausfliegen, bilden die trägen positiven Neonionen einen Faden längs der Bahn des Elektronenstrahls, der auf Grund der elektrostatischen Anziehungskräfte wesentlich zur guten Bündelung des Strahls, auch über große Wegstrecken, beiträgt. Die Helmholtzspulen bestehen aus zwei gleichartigen, freitragenden Spulen auf je einem Kunststofffuß. Die Spulen sind durch drei Abstandsschienen so positioniert, dass ihr axialer Abstand gleich dem mittleren Spulenradius ist. (Nach Lösen von Rändelschrauben können die Abstandsschienen entfernt werden; die Spulen sind dann einzeln verwendbar.) Zwei dieser Abstandsschienen sind mit einer Vorrichtung zur Halterung des Fadenstrahlrohres im Zentrum des Helmholtz-Spulenpaares versehen. Die Anschlussbuchsen der Spulenwicklung sind in den Kunststofffuß der Spule eingegossen; die Spulen können mit Hilfe von Verbindungsleitungen wahlweise parallel oder in Reihe geschaltet werden.

Die Nummerierung der Anschlussbuchsen (1; 2) erleichtert die Beschaltung der Spulen. Der freitragende Aufbau der Spulen gestattet ein Auszählen der Windungszahl. Beim Auszählen der Windungen muss berücksichtigt werden, dass die Windungen der einzelnen Lagen etwas gegeneinander versetzt sind. Jede Spule ist aus Kupferdraht in 6 Lagen mit je 20-21 Windungen gewickelt, woraus sich die Windungszahl  $n = 124$  ergibt.

1. Lage: 21 Windungen
2. Lage: 21 Windungen
3. Lage: 20 Windungen
4. Lage: 20 Windungen
5. Lage: 21 Windungen
6. Lage: 21 Windungen

### 3 THEORIE

#### 3.1 Bestimmung der spezifischen Ladung $e/m$

Auf bewegte Elektronen wirkt im magnetischen Feld eine Kraft senkrecht zur Feld- und senkrecht zur Bewegungsrichtung. Die Größe der Kraft ist der Ladung  $e$  und der Geschwindigkeit  $v$  der Elektronen sowie der magnetischen Flussdichte  $B$  proportional. Ordnet man das Fadenstrahlrohr im Magnetfeld der Helmholtz-Spulen so an, dass der Fadenstrahl das Strahlerzeugungssystem senkrecht zur Feldrichtung verlässt, dann ist die auf die Elektronen wirkende Kraft  $F$  gegeben durch:

$$F = e v B.$$

Unter der Einwirkung dieser Kraft wird der Fadenstrahl zu einem Kreisbogen verformt und bei hinreichend starkem Magnetfeld zu einem Vollkreis mit dem Radius  $r$  gebogen. Die auf die Elektronen wirkende Kraft  $F$  muss dann gleich der Zentrifugalkraft

$$\frac{mv^2}{r} \quad \text{sein:}$$

$$evB = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

Durch Umformung dieser Gleichung erhält man für die Geschwindigkeit  $v$  der Elektronen die Beziehung:

$$v = \frac{e}{m} Br \quad (2)$$

Aus dem Energiesatz  $1/2 mv^2 = e U$  ergibt sich unmittelbar, dass die Geschwindigkeit der Elektronen von der Größe der Beschleunigungsspannung  $U$  abhängt:

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

Fügt man Gl. (3) in Gl. (2) ein, so ergibt sich für die spezifische Ladung des Elektrons

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad (4)$$

#### 3.2 Die Bestimmung der magnetischen Flussdichte im Zentrum der Helmholtz-Spulen

Die Anordnung nach Helmholtz-Gaugain zur Erzeugung homogener Magnetfelder ist dadurch gekennzeichnet, dass zwei einzelne kreisförmige Leiter mit gleichen Radien, deren Mittelpunkte auf der gemeinsamen Achse im Abstand ihrer Radien liegen, von demselben Strom durchflossen werden. Verwendet man statt einzelner, kreisförmiger Leiter Spulen mit größerem Querschnitt, so sind die Abweichungen von der Homogenität klein, wenn man gewisse Bedingungen hinsichtlich des Querschnittes der Spulen beachtet und den Abstand von Spulenmitte zu Spulenmitte gleich dem mittleren Spulenradius wählt. Die magnetische Flussdichte  $B$  im inneren Bereich eines solchen Helmholtz-Spulen Systems lässt sich aus dem mittleren Spulenradius  $R$ , der Windungszahl  $n$  einer Spule und der Stromstärke  $I$  in den Spulen errechnen:

$$B = 0,715 \mu_0 \frac{n \cdot I}{R} \quad (5)$$

Hierbei ist Voraussetzung, dass die Stromstärke  $I$  in beiden Spulen gleich ist. Für  $\mu_0$  ist der Wert  $1,256 \cdot 10^{-6} \text{ T m/A}$  einzusetzen.



Abb. 3 Versuchsanordnung zur Bestimmung von  $e/m$  mit dem Fadenstrahlrohr P2510200.

## 4 HANDHABUNG

Zunächst werden die beiden Helmholtzspulen mit Hilfe der zugehörigen Abstandsschienen verbunden. Durch Festziehen der Rändelschrauben werden die Abstandsschienen gesichert; es entsteht so eine stabile Anordnung, die das Fadenstrahlrohr gemäß Abb. 3 aufnimmt.

### 4.1 Elektrischer Anschluss des Fadenstrahlrohres

Sämtliche elektrische Versorgungsspannungen für das Fadenstrahlrohr entnimmt man dem Netzgerät 0...600 V DC, geregelt (13672-93). Die Anschlussbuchsen auf der Stirnseite des Fadenstrahlrohres sind so beschriftet, dass die korrekte Verbindung mit dem Netzgerät keine Probleme bereiten dürfte. Abb. 4 zeigt die der Anordnung gemäß Abb. 3 entsprechende Schaltung. Durch die oben beschriebene Beschaltung des Fadenstrahlrohres wird eine feste Heizspannung von 6,3 V gewählt, während die an das Strahlerzeugungssystem angelegte Gitterspannung und die Anodenspannung mit Hilfe der im Netzgerät eingebauten Potentiometer »-50...0 V« bzw. »0...+300 V« eingestellt werden können. Die Geschwindigkeit und damit die Energie der Elektronen des Fadenstrahls ist durch die insgesamt zwischen Kathode und Anode wirksame Beschleunigungsspannung  $U$  gegeben. Sie wird mit einem Drehspulinstrument 300 V- gemessen.

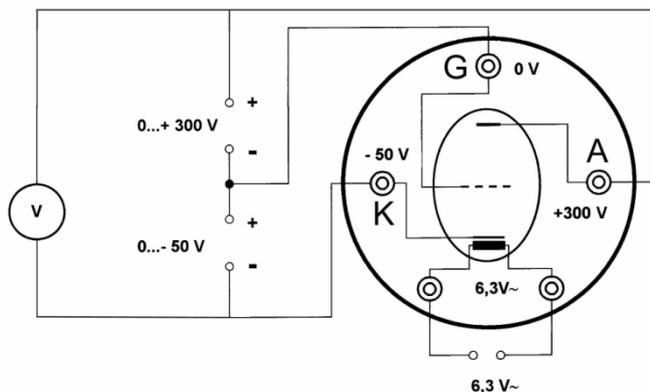


Abb. 4 Elektrische Beschaltung des Fadenstrahlrohres

### 4.2 Elektrische Versorgung der Helmholtzspulen

Die beiden Helmholtzspulen werden in Reihe geschaltet, wobei die Polung so zu wählen ist, dass sich die Felder beider Helmholtzspulen addieren. Dies erreicht man z.B. indem man die mit »1« bezeichneten Buchsen beider Spulen miteinander verbindet und über die beiden mit »2« beschrifteten Buchsen den Strom zu führt. Die Stromstärke wird mit einem Drehspulinstrument (3 A-) gemessen und erlaubt die Berechnung der magnetischen Flussdichte gemäß Abschnitt 2.

Bitte achten Sie darauf, die Helmholtzspulen mit einem spannungsgeregelten Netzgerät zu betreiben, welches eine geglättete Ausgangsspannung liefert.

Zur Versorgung der Helmholtzspulen eignet sich das Universal-Netzgerät 13500-93.

Steht dagegen nur eine Gleichspannungsquelle mit geringerer Spannung zur Verfügung, so kann es zweckmäßig sein, die Spulen parallel zu schalten. Um annähernd gleiche Stromstärken in beiden Spulen sicherzustellen, sollte man den Strommesser in die gemeinsame Zuleitung zu den Spulen legen. Zur Feldberechnung ist dabei der halbe Wert der angezeigten Stromstärke zu verwenden.

#### Hinweis:

Tritt bei eingeschaltetem Strom in den Helmholtzspulen keine oder nur eine unwesentliche Ablenkung des Fadenstrahles auf, so wirken die Felder der beiden Spulen gegeneinander. Abhilfe: Stromzuführungen an einer Spule vertauschen!

### 4.3 Inbetriebnahme des Fadenstrahlrohres und Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons

Vor der Inbetriebnahme des Fadenstrahlrohres überzeugt man sich davon, dass die beiden Potentiometer »-50...0 V« und »0...300 V« des Netzanschlussgerätes auf null stehen. Durch diese Maßnahme vermeidet man, dass beim Einschalten der Heizspannung an Gitter oder Anode des Strahlerzeugungssystems Spannung liegt. Man schließt auf diese Weise mit Sicherheit eine evtl. Beschädigung der Kathodenschicht während des Anheizvorganges aus.

Erst nach einer Anheizzeit von ca. einer Minute betätigt man die beiden Potentiometer und beobachtet nun im gut abgedunkelten Raum das Auftreten des Fadenstrahles. Während man mit dem Potentiometer »0...300 V« die Höhe der Anodenspannung wählt, lässt sich mit Hilfe des Potentiometers »-50...0 V« die Gitterspannung geeignet einstellen und damit Schärfe und Helligkeit des Fadenstrahles. Die volle Intensität des Fadenstrahles wird in der Regel erst nach einer Heizdauer von 2 bis 3 Minuten erreicht. Bei längeren Messpausen empfiehlt es sich, beide Potentiometer wieder auf null zu drehen. Durch diese Maßnahme wird die Lebensdauer des Fadenstrahlrohres erheblich verlängert.

Zur experimentellen Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons kann man wie folgt verfahren:

1. Nach der Anheizzeit stellt man den Fadenstrahl geeignet ein und wählt dabei eine bestimmte Beschleunigungsspannung  $U$ .

2. Sodann schaltet man den Strom durch die Helmholtzspulen ein und beobachtet, wie der Fadenstrahl unter der Wirkung des homogenen Magnetfeldes eine Kreisbahn beschreibt (max. zul. Dauerstromstärke 5 A).

3. Durch entsprechendes Drehen des Fadenstrahlrohres in der Halterung sorgt man dafür, dass der Fadenstrahl das Strahlerzeugungssystem genau senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes verlässt und bei geeigneter Größe des Magnetfeldes einen Vollkreis beschreibt.

4. Man stellt den Spulenstrom so ein, dass der Fadenstrahl einen der vier Messstege trifft. Man kann auf diese Weise Vollkreise mit den Radien 2, 3, 4 und 5 cm einstellen.

5. Man liest nun den bei der vom Voltmeter angezeigten Beschleunigungsspannung  $U$  zur Erzeugung eines Vollkreises mit dem Radius  $r$  erforderlichen Spulenstrom  $I$  am Amperemeter ab und berechnet aus diesen Messwerten unter Benutzung der Gl. (4) und (5) die spezifische Ladung  $e/m$  des Elektrons (Literaturwert:  $e/m = 1,759 \cdot 10^{11}$  As/kg).

Die Genauigkeit, mit der die spezifische Ladung  $e/m$  des Elektrons bestimmt wird, ergibt sich weitgehend aus der Messgenauigkeit für die quadratischen Glieder der Gl. (4), d. h. für Radius  $r$  und magnetische Flussdichte  $B$ . Der Radius  $r$  lässt sich mit Hilfe der im Fadenstrahlrohr eingebauten Messeinrichtung für den Strahlkreisdurchmesser recht genau bestimmen, so dass der bei dieser Messung aufgetretene Fehler klein gehalten werden kann ( $> 1\%$ ).

Die magnetische Flussdichte  $B$  wird gem. Gl. (5) aus der Spulenstromstärke  $I$  berechnet; von der Genauigkeit dieser Strommessung hängt also in hohem Maße die Genauigkeit des ermittelten Wertes für  $e/m$  ab. Für hohe Genauigkeitsansprüche empfiehlt es sich deshalb, die Helmholtzspulen unbedingt in Reihe zu schalten, so dass beide Spulen exakt vom gleichen Strom durchflossen werden

## 5 TECHNISCHE DATEN

Fadenstrahlrohr	
Gasfüllung	Neon
Gasdruck	$4 \times 10^{-3}$ mbar
Heizspannung der Kathode	6,3 V
Kathodenspannung	max. -50 V
Gitterspannung	0 V
Anodenspannung	max. + 300 V
Durchmesser des Glaskolbens	ca. 170 mm
Gesamtlänge	47 cm
Helmholtz-Spulenpaar	
Spulendurchmesser	300 mm
Windungszahl	je 124
Spulenwiderstand	2 $\Omega$ (4 $\Omega$ in Serie)
max. Strom je Spule (Dauerbelastung)	5 A
max. Flussdichte bei $I = 5$ A in Helmholtz-Anordnung	3,7 mT

## 6 GERÄTELISTE

Für den in Abb. 3 wiedergegebenen Versuchsaufbau werden folgende Geräte benötigt:

Fadenstrahlrohr	06959-00
Helmholtz-Spulenpaar	06960-06
Netzgerät, universal	13503-93
Geregeltes Netzgerät 0...600 V-	13672-93
Halter für Fadenstrahlrohr (2x)	06962-01
e/m – Beobachtungskammer	06959-01

Messgeräte:

Analog-Demo-Multimeter ADM 3 (2x) oder Digitalmultimeter (2x)	13840-00 07122-00
Verbindungsleitungen	

## 7 GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten. Von der Garantie ausgenommen sind: Schäden, die auf Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, unsachgemäße Behandlung oder natürlichen Verschleiß zurückzuführen sind.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich hierfür ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

## 8 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll). Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an die unten stehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Abteilung Kundendienst  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0  
Fax +49 (0) 551 604-107