

Betriebsanleitung



Abb. 1: Fadenstrahlrohr 06959.00 in Helmholtz-Spulenpaar 06960.00

1. ZWECK UND BESCHREIBUNG

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 Argon auf einen Druck von ca. 10^{-1} Pa (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 Argon-Rekombinationsleuchten sichtbar wird. Da andererseits bei den Ionisationsvorgängen nur die entstandenen Sekundärelektronen aus dem Strahl herausfliegen, bilden die trägen positiven Argonionen 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 Numerierung der Anschlußbuchsen

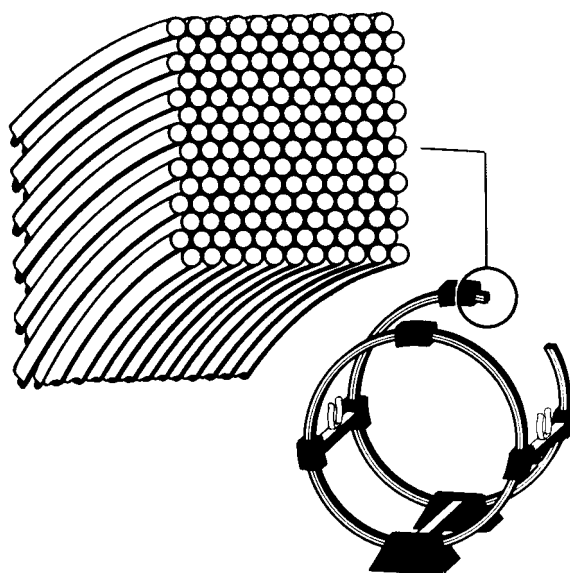


Abb. 2: Wicklungsschema der Helmholtz-Spulen.

(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 (vgl. Abb. 2). Jede Spule ist aus Kupferdraht in 14 Lagen mit je 11 Windungen gewickelt, woraus sich die Windungszahl $n = 154$ ergibt.

2. THEORIE

2.1 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 der Elektronen wirkende Kraft F muß dann gleich

der Zentrifugalkraft $\frac{mv^2}{r}$ 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 $\frac{1}{2} mv^2 = e U$ 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

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

Da alle Größen auf der rechten Seite von Gl. (4) durch Messung bestimmt werden können, läßt sich die spezifische Ladung des Elektrons durch Rechnung ermitteln.

2.2 Die Bestimmung der magnetischen Flußdichte im Zentrum der Helmholtz-Spulen

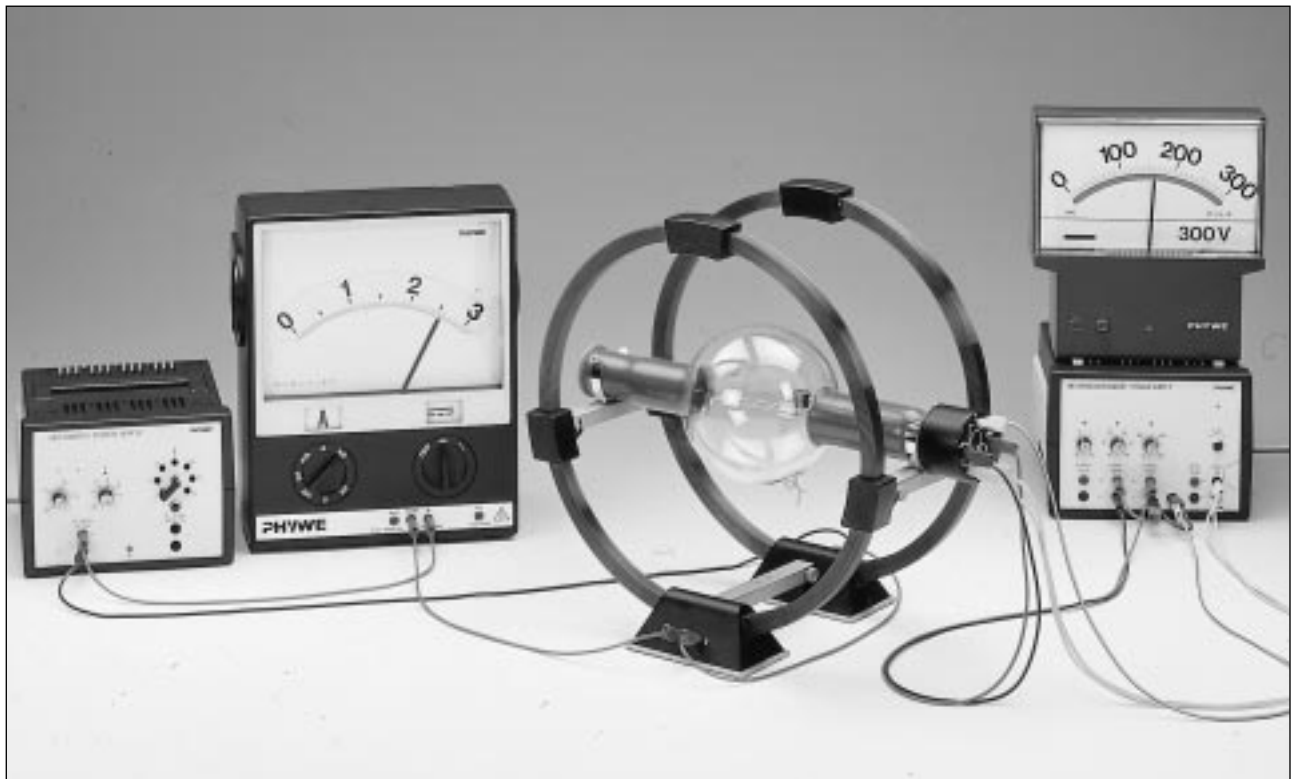
Die Anordnung nach Helmholtz-Gauguin zur Erzeugung homogener Magnetfelder ist dadurch gekennzeichnet, daß zwei einzelne kreisförmige Leiter mit gleichen Radien, deren Mittelpunkte auf der gemeinsamen Achse im Abstand ihrer Radien liegen, von demselben Strom durchflossen werden. Verwendet man statt einzelner, 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-Spulensystems 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 μ_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.



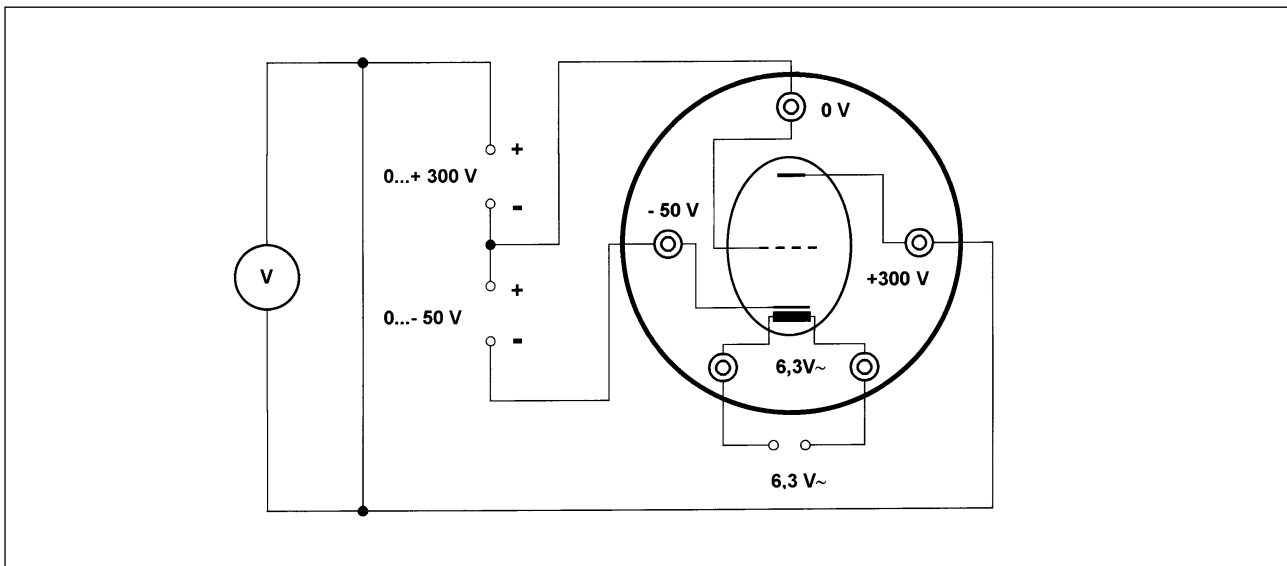


Abb. 4: Elektrische Beschaltung des Fadenstrahlrohres.

3. 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.

3.1 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...+250 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.

3.2 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 zuführt. Die Stromstärke wird mit einem Drehspulinstrument (3 A~) gemessen und erlaubt die Berechnung der magnetischen Flußdichte gemäß Abschnitt 2.

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!

3.3 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...250 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...250 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 vorgehen:

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: $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ As/kg}$).

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.

4. TECHNISCHE DATEN

Fadenstrahlrohr	
Gasfüllung	Argon
Gasdruck	10^{-1} Pa
Heizspannung der Kathode	6,3 V
Kathodenspannung	max. -50 V
Gitterspannung	0 V
Anodenspannung	max. $+ 250 \text{ V}$
Durchmesser des Glaskolbens	ca. 170 mm
Gesamtlänge	47 cm

Helmholtz-Spulenpaar	
Spulendurchmesser	400 mm
Windungszahl	je 154
Spulenwiderstand	2,1
max. Strom je Spule (Dauerbelastung)	5 A
max. Flußdichte bei $I = 5 \text{ A}$ in Helmholtz-Anordnung	3,5 mT

5. GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir eine Garantie von 6 Monaten; sie umfaßt nicht den natürlichen Verschleiß sowie Mängel, die durch unsachgemäße Behandlung entstehen.

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.

6. GERÄTELISTE

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

Fadenstrahlrohr	06959.00
Helmholtz-Spulenpaar	06960.00
Netzgerät, universal	13500.93
Geregeltes Netzgerät 0...600 V–	13672.93

Meßgeräte für die demonstrative Anzeige:

Analog-Demo-Multimeter ADM 2	(2x) 13820.00
oder	
Drehspulmeßinstrument	(2x) 11100.00
Meßbereich 3A–	11102.33
Meßbereich 300 V–	11104.53
Verbindungsleitungen	