

Demonstrations-Doppelstrahlröhre

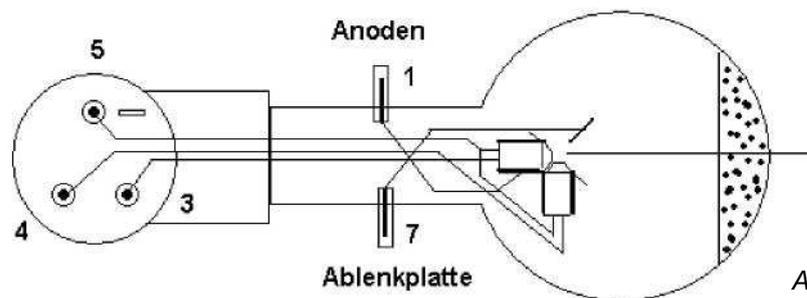


Abb. 1

- 5 Anschluss Heizung
- 4 Anschluss Heizung axial
- 3 Anschluss Heizung tangential
- 1 Anschluss Anode
- 7 Anschluss Ablenkplatte

Die Demonstrations-Doppelstrahlröhre dient zur Bestimmung der spezifischen Ladung e/m aus dem Bahndurchmesser der Elektronen bei tangentialem Einschuss und senkrecht angelegtem Magnetfeld sowie zur Beobachtung der Spiralbahnen von Elektronen bei axialem Einschuss und koaxialem Magnetfeld.

1. Sicherheitshinweise

- Maximale Heizspannung von 7 V nicht überschreiten.
- Anodenstrom von 30 mA bzw. Anodenspannung von 300 V nicht überschreiten.
- Vor Veränderung der Schaltung an der Heizwendel Anodenspannung auf Null stellen.
- Zur Beschaltung der Anode und der Ablenkplatte Experimentierkabel

Stecker/Buchse verwenden.

- Mechanische Belastungen der Steckerstifte am Glaskörper der Röhre vermeiden. Deshalb nur mit einem Experimentierkabel beschalten.
- Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.

2. Beschreibung, technische Daten

Die Demonstrations-Doppelstrahlröhre ist ein mit Helium gefüllter Glaskörper mit tangentialer und axialer Elektronenkanone. Die senkrecht zu einander angeordneten Elektronenstrahlen erlauben eine gemeinsame Ablenkplatte für beide Elektronenkanonen, verbunden mit Anschluss (7). Die Quelle der Elektronenstrahlen ist je eine Oxid-Katode, indirekt beheizt durch eine Heizwendel. Beide Heizwendeln und Katodenkörpern haben einen gemeinsamen Anschluss über Buchse (5), während der zweite Anschluss der Heizung der axialen Elektronenkanone auf Buchse (3) und der der senkrechten Elektronenkanone auf Buchse (4) liegt. Die konischen Anoden sind zusammengeschweißt und mit Stecker (1) verbunden. Die Elektronenbahnen werden durch Stoßanregung der Heliumatome als feiner, schwach grüner Leuchtstrahl sichtbar. Die Raumbeleuchtung sollte bei Versuchen abgedunkelt werden.

Gasfüllung:	Helium mit einem Druck von 0,01 Torr
Heizung:	5 - 7 V AC/DC
Anodenspannung:	0 - 300 V DC
Anodenstrom:	typ. 30 mA
Ablenkspannung:	0 - 25 V DC
Glaskolben:	ca. 130 mm Ø
Gesamtlänge:	ca. 260 mm

3. Bedienung

Zum Betrieb der Demonstrations-Doppelstrahlröhre sind folgende Geräte zusätzlich erforderlich:

CL95000	Demonstrations-Röhrenhalter
CL95001	Demonstrations-Helmholtzspulen
CL01061	Netzgerät, 500 V DC
CL10201	DC-Netzgerät 0-16 V, 0-5 A Satz Experimentierkabel

4. Versuchsbeispiele

Versuche mit der Demonstrations-Doppelstrahlröhre dienen dazu zu demonstrieren, dass die Katodenstrahlen als Strom von negativen Ladungen betrachtet werden können, die durch eine Potenzialdifferenz beschleunigt sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen und in ihrer Natur Partikel sind: Elektronen. Des Weiteren ermöglicht die Röhre die Demonstration der kontrollierten Ablenkung der Elektronenstrahlen durch elektrostatische und elektromagnetische Felder. Da die Demonstrations-Doppelstrahlröhre mit Helium gefüllt ist, kann in weiteren Versuchen die Anregung und Ionisierung von Atomen und Molekülen in Gasen verursacht durch Kollisionen beim Beschuss mit Elektronen demonstriert werden.

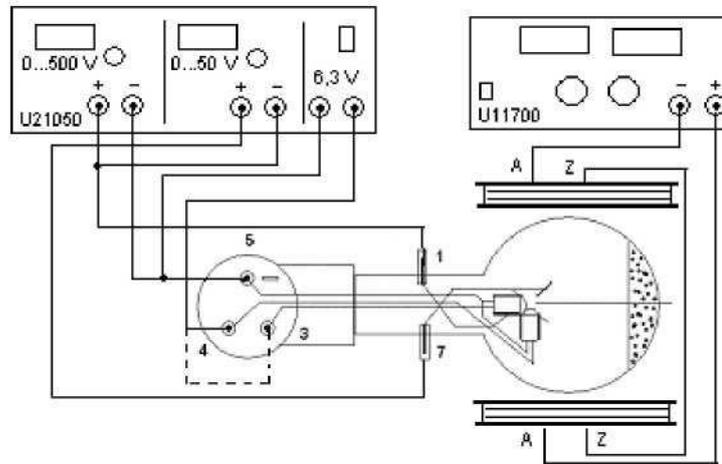


Fig. 2

4.1 Der sichtbare Elektronenstrahl

- Beschaltung der Röhre gemäß Fig. 2 (jedoch ohne Spulen) vornehmen.
- Ca. 1 Minute warten bis die Temperatur der Heizung stabilisiert ist (siehe auch unter Punkt 6 Anmerkungen).
- Raumbeleuchtung abdunkeln und Anodenspannung U_A langsam erhöhen bis ein feiner, grünlicher Strahl umgeben von einem weniger intensiven Mantel etwa 1 cm aus der Elektronenkanone austritt.
- U_A langsam weiter erhöhen bis sich der Strahl bei ca. 65 V verjüngt mit einem leicht rötlichen Ende und dabei eine Länge von einem Drittel des Röhrendurchmessers erreicht hat.
- Bei einer weiteren Erhöhung von U_A divergiert der Strahl erneut bis er spontan den Glaskörper der Röhre durchquert immer noch mit einer leicht rötlichen Spitze.
- Bei Betrachtung des Strahlendes mit einem Spektroskop sind eine orangefarbene und dicht beieinander zwei grüne Linien zu sehen. Diese Spektrallinien sind das Ergebnis der Anregung und Ionisierung der Atome des Heliumgases durch Elektronenstoß. Der Strahl ist leicht gekrümmt.

4.1.1 Krümmung des Strahls

Ein Elektron mit der Ladung e , das sich in einem homogenen Magnetfeld mit der Flussdichte B mit der Geschwindigkeit v senkrecht zum Magnetfeld B bewegt, erfährt eine Kraft F senkrecht zu B und v der Größe

$$F = evB$$

- Es handelt sich um eine Kreisbahn in einer Ebene senkrecht zu B . Die Zentripetalkraft für ein Elektron der Masse m ist

$$F = \frac{m v^2}{R} = e v B$$

und daraus folgt

$$B = \frac{v}{\frac{e}{m} R} \text{ tesla}$$

- Wird die Gleichung umgeformt, erhält man

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{BR}$$

- Wird der Strahl einem bekannten Magnetfeld B ausgesetzt und v und R berechnet, so lässt sich e/m bestimmen.
- Das Gesetz der Energieerhaltung setzt voraus, dass die Veränderung der kinetischen Energie plus die Veränderung der elektrischen potentiellen Energie einer Ladung, die sich von Punkt 1 zu Punkt 2 bewegt gleich Null ist, da keine Arbeit von externen Kräften geleistet wird.

$$\left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) + \left(e U_2 - e U_1 \right) = 0$$

Für die Energie eines Elektrons in der Demonstrations-Doppelstrahlröhre gilt:

$$e U_A = \frac{1}{2} m v^2$$

- Nach Auflösung nach v und Ersetzen von v in der Formel

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{BR}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{B^2 R^2}$$

- Der Ausdruck e/m ist die spezifische Ladung eines Elektrons and hat den Wert von $(1,75888 \pm 0,0004) \times 10^{11} \text{ C/kg}$.

4.2 Bestimmung von e/m

- Die Helmholtzspulen haben einen Durchmesser von 138 mm und in der Helmholtz-Anordnung eine Flussdichte B von

$$B = \mu_0 H \text{ tesla}$$

$$= (4,17 \times 10^{-3}) I_H$$

Und

$$B^2 = 17,39 \times 10^{-6} I_H^2$$

wobei I_H der Strom in den Helmholtzspulen ist.

- Weiter gilt

$$\frac{e}{m} = \frac{U_A}{I_H^2 R^2} \times 1,15 \times 10^5$$

und

$$I_H^2 = k \frac{U_A}{R^2}$$

- Der Strahl tritt bei C aus der Elektronenkanone auf der Achse der Röhre, die dann eine Tangente zu jeder kreisförmigen Ablenkung bildet. Der Mittelpunkt des Kreises ist B und liegt in der Ebene DCD' ungefähr 2 mm entfernt von der Ebene EE'.

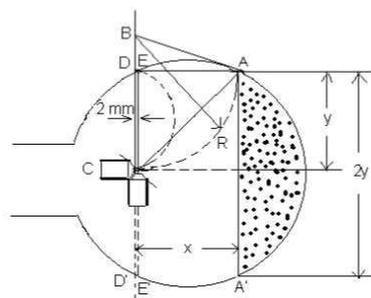


Fig. 3 Bestimmung von R^2

$$AB^2 = BC^2 + AC^2 - 2 BC \cdot DC$$

$$R = BC = AB = \frac{AC^2}{2 DC} = \frac{x^2 + y^2}{2y}$$

$$R^2 = \left[\frac{x^2 + y^2}{2y} \right]^2$$

- Beschaltung der Röhre siehe Fig. 2 mit Heizung an Buchse (3).
- Raumbeleuchtung abdunkeln.
- Ca. 1 Minute warten bis die Temperatur der Heizung stabilisiert ist.
- Anodenspannung U_A auf 90 V einstellen (Plattenspannung $U_P = 0$ V).
- Spulenstrom I_H so einstellen, dass der abgelenkte Strahl durch Punkt A am Rand des Leuchtschirms geht. Gleichzeitig mittels einer maximalen Plattenspannung U_P von 6 V den Strahl fokussieren.
- U_A erhöhen und I_H so einstellen, dass der abgelenkte Strahl immer durch Punkt A geht. Werte in einer Tabelle zusammenstellen.

U_A in Volt	I_H in Ampere	I_H^2
90		
100		
110		
120		

- I_H so erhöhen, dass der abgelenkte Strahl immer durch Punkt E geht und Werte in einer Tabelle zusammenstellen.
- Werte aus beiden Tabellen grafisch darstellen.

- Mit einem Messschieber die Durchmesser AA' , EE' und den Abstand AE bestimmen.
- Tabelle komplettieren und R^2 errechnen.

	AE	x	x^2	EE'	y	y^2	R^2
	-	$AE + 2$	-	$2y$	$EE'/2$	-	-
	mm	mm	$\times 10^{-6}$	mm	mm	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$
A							
E	-	2	4				

- Durch Einsetzen der Werte in die Gleichung

4.3 Die kreisförmige Ablenkung und Bestimmung von e/m

- Beschaltung der Röhre siehe Fig. 2 mit Heizung an Buchse (4).
- Die senkrechte angeordnete Elektronenkanone emittiert Elektronen im rechten Winkel zur Achse der Röhre in der Ebene EE' , die eine Tangente zum abgelenkten Strahl bildet. Mit einem Filzstift Punkt E auf der Röhre markieren.
- Raumbelichtung abdunkeln.
- Anodenspannung U_A auf 100 V einstellen (Plattenspannung $U_P = 0$ V).
- Spulenstrom I_H so einstellen, dass der abgelenkte Strahl einen Kreis bildet und die Ebene AA' eine Tangente dazu. Zweckmäßig ist es dabei den Strahl von oben zu betrachten, der dann als gerade Linie erscheint. Gleichzeitig mittels einer maximalen Plattenspannung U_P von 6 V den Strahl fokussieren (siehe auch unter Punkt 6 Anmerkungen).
- Anmerkung: Die im Versuch 4.1 beobachtbare axiale Nicht-Linearität des Strahls bewirkt, dass der Strahl aus der Ebene der Elektronenkanone verschoben ist. Um genauere Resultate zu erreichen sollte die Röhre mittels der Halterungsgabel so gedreht werden, dass der Kreis in der Ebene der Röhre liegt. Gleichzeitig I_H so angepasst werden, dass die Ebene AA' eine gute Tangente bildet. Ein leichter Winkelversatz zur Röhrenachse ist tolerierbar. Der Strahl bildet auch eine leichte Spirale statt einer Kreisbahn zu folgen.
- U_A erhöhen und I_H so einstellen, dass die Ebene AA' immer eine Tangente zum abgelenkten Strahl bildet. Werte in einer Tabelle zusammenstellen und grafisch darstellen.
- $R = AE/2$ und $R^2 = AE^2/4$ wie im Versuch 4.2 bestimmen.
- Durch Einsetzen der Werte in die Gleichung

$$\frac{e}{m} = \frac{U_A}{I_H^2 R^2} \times 1,15 \times 10^5$$

lässt sich ein Näherungswert für e/m errechnen.

4.4 Der Effekt eines axialen Magnetfelds

- Röhre so im Halter platzieren, dass der Leuchtschirm von einer Spule

umschlossen ist. Der Röhrenhals steht dabei senkrecht zur Halterungsgabel und ist nicht unterstützt.

- Heizungsanschluss an Buchse (3) vornehmen.
- Raumbeleuchtung abdunkeln.
- Anodenspannung U_A auf max. 60 V einstellen (Plattenspannung $U_P = 0$ V). Spulenstrom I_H langsam erhöhen. Mit nur einem axialen Vektor der Geschwindigkeit v_a wird die axiale Nicht-Linearität des Strahls korrigiert und fällt mit der der wahren Achse des Felds zusammen. Mit einem Filzstift die Lage des Strahls markieren.
- I_H auf 1,5 A einstellen, U_P langsam erhöhen, so dass ein zweiter Geschwindigkeitsvektor v_p auf den Strahl wirkt. Der Strahlengang wird dadurch in eine Helix umgeformt. Der Strahl geht dabei nicht um die Feldachse, sondern kehrt jeweils nach jeder Schleife dorthin zurück.

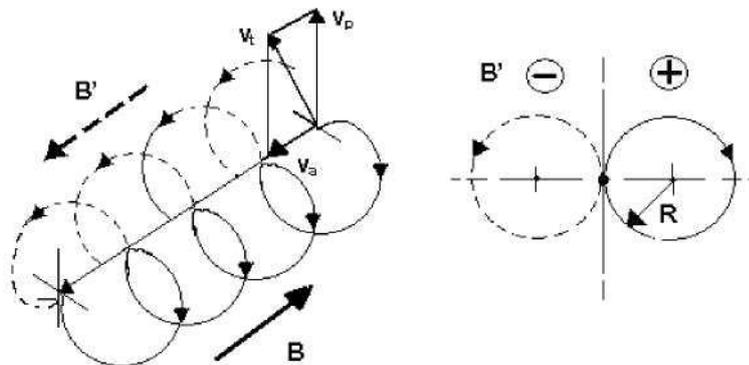


Fig. 4 Helix des abgelenkten Strahls

- Feld B durch Umpolung der Helmholtzspule umkehren und den Strahl beobachten.
- Anodenspannung verändern und Auswirkung auf die Helix beobachten, wieder auf 60 V zurückkehren.
- Die Auswirkung eines verdoppelten Felds beobachten, dazu die zweite Spule gegen die erste platzieren.

5. Fehlerquote der Ergebnisse

- Der kreisförmige Strahl in Versuch 4.3 ist sichtbar durch Photonenemission. Diese Energie geht verloren und wird nicht ersetzt. Aus diesem Grund tendiert der Strahl zu einem spiralförmigen Verlauf statt einer Kreisbahn zu folgen. Bei einem festen Radius R und einer wirklichen Kreisbahn ist $I\omega/H^2$ größer als gemessen und deshalb ist der Fehler bei der Bestimmung von e/m immer negativ. Trotzdem lassen sich Ergebnisse mit einer Fehlerquote von bis zu 20% erreichen.
- Bei Versuchen mit halbkreisförmig abgelenkten Strahlen wie in Versuch 4.2 werden Ergebnisse erzielt, die größer sind als der Literaturwert. Die Punkte A und E, zu denen der Strahl abgelenkt wird, liegen außerhalb der homogenen

Region der Helmholtzspulen. Dort nimmt die Flussdichte ab. Bei einem bestimmten Radius R und einem homogenen Feld ist IW/H^2 kleiner als gemessen und deshalb ist der Fehler bei der Bestimmung von e/m immer positiv. Es lassen sich Ergebnisse mit einer Fehlerquote von 20% erreichen.

6. Anmerkungen

- **Begrenzung des Anodenstroms:** Zur Vermeidung von zu starkem Beschuss mit positiven Ionen auf die Elektronen emittierenden Chemikalien der Katode sollte der Anodenstrom wann immer möglich auf 30 mA begrenzt sein. Höhere Ströme sind für kurze Zeit tolerierbar, über längere Zeit jedoch verkürzen sie jedoch die normale Lebenszeit der Röhre.
- **Thermische Stabilität der Katode:** Aus dem gleichen Grund sollte der Beschuss einer kalten, sich gerade aufheizenden Katode vermieden werden.
- **Fokussierung des Strahls:** Mittels kleiner Spannungen U_p an der Ablenkplatte lässt sich der Strahl fokussieren. Spannungen über 6 V führen zu einer Verschlechterung der Ergebnisse.
- **Genauigkeit der Bestimmung von e/m :** Die Demonstrations-Doppelstrahlröhre erlaubt die Bestimmung von e/m mit einem akzeptierbaren Grad an Genauigkeit. Nötigenfalls kann die Bestimmung von e/m im Versuch 4.3 auch mit einem zum Punkt A' abgelenkten Strahl durchgeführt werden. Für exaktere Messungen steht die Demonstrations-Elektronenstrahl-Ablenkröhre U19155 zur Verfügung.
- **Richtung der Ablenkung:** Vereinbarungsgemäß fließt Strom vom positiven zum negativen Pol und nach Flemings Linker-Hand-Regel fließt der Strom in entgegengesetzter Richtung als die Elektronen im Strahl.
- **Kleine mittlere freie Weglänge:** Bei einem 60 V Beschleunigungspotenzial ist die **mittlere freie Weglänge** zu gering, als dass bei diesem Druck im Heliumgas eine Vervielfachung stattfindet. Nötigenfalls die Energie im Strahl über 60 V erhöhen.