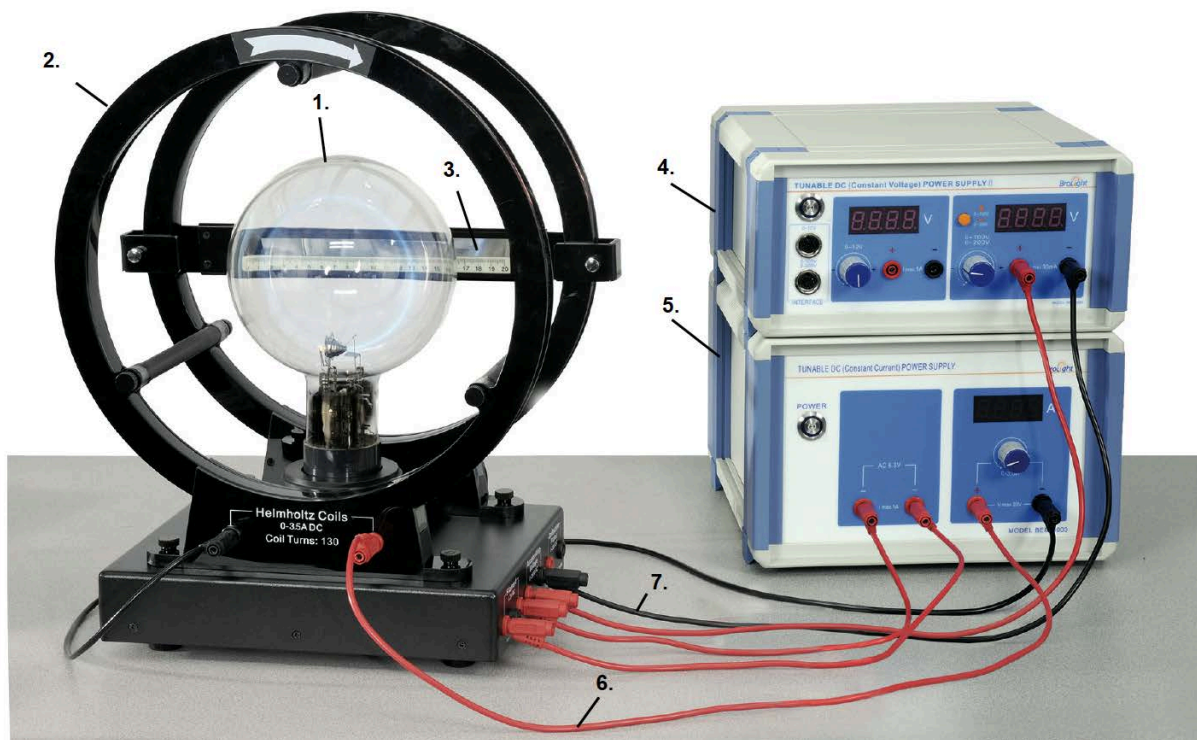


# e/m-Komplettversuch

[ BAD\_1142074.docx ]



## Übersicht

Der e/m Komplettversuch enthält alle notwendigen Komponenten zur Durchführung des Versuches. Die Komponenten sind auch einzeln erhältlich.

<b>Pos.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Bestell-Nr.</b>	<b>Anzahl</b>
1	e/m Röhre	114.2076	1
2	Röhrenfassung mit Helmholtz-Spulen	114.2075	1
3	Spiegelskala (Teil von 114.2076)		1
4	Stromversorgungsgerät II	114.2080	1
5	Konstantstromquelle 0-3,5 A	114.2081	1
6	Verbindungskabel, rot (850 mm)		5
7	Verbindungskabel, schwarz (850 mm)		5
	<i>ohne Abb.</i> Verbindungskabel für 850-Universalinterface		2
	<i>ohne Abb.</i> Netzkabel		2

### Empfohlenes Zubehör zur Datenerfassung















850 Universal Interface	Best.-Nr. 112.4080
CAPSTONE-Software (Einzellizenz)	Best.-Nr. 112.4079
PASPORT Hochstrom-Sensor (10 A)	Best.-Nr. 108.6000

### Sicherheitshinweise

Zur Vermeidung von Schäden und Verletzung durch Stromschlag sind nachfolgende Hinweise unbedingt zu beachten:

- Reinigen Sie die Geräte nicht mit einem feuchten Tuch.
- Benutzen Sie das Gerät nicht, wenn es feucht geworden ist.
- Überprüfen Sie vor Gebrauch die Geräte und Kabel auf Beschädigung
- Ersetzen Sie beschädigte Teile umgehend.
- Betreiben Sie die Geräte an einer geerdeten Schutzkontakt-Steckdose.
- Verwenden Sie keine Teile und Zubehör, die nicht ausdrücklich vom Hersteller zur Verwendung freigegeben sind.
- Führen Sie keine Modifikationen an den Geräten durch.
- Verwenden Sie ausschließlich vom Hersteller freigegebene Ersatzteile.
- Sollten Sicherungen auszutauschen sein, ersetzen Sie diese nur durch Sicherungen desselben Typs.
- Trennen der Geräte vom Netz : Schalten Sie die Geräte aus und trennen das Netzkabel von der Steckdose. Entfernen Sie anschließend alle Kabel.
- Nur qualifiziertes oder autorisiertes Personal darf die Geräte öffnen. Auch nach Trennen vom Netz können Teile der Apparatur durch geladene Kondensatoren unter Spannung stehen.
- Verwenden Sie das Gerät nicht in explosionsgefährdeter Umgebung (gas- und staubbelasteter Umgebung).
- Verwenden Sie das Gerät nicht bei kondensierender Luftfeuchtigkeit.

**Verwendete Symbole**

	Wechselspannung
	Gleichspannung
	Mögliche Gefahr. Wichtiger Hinweis.
	Achtung, Gefahr durch elektrischen Strom
	Erdpotential
	Schutzleiter
	Gehäuseerdung
	Konformität gemäß CE-Richtlinien
	Nicht mit dem Hausmüll entsorgen
	Sicherung
	Ein (Geräte Hauptschalter)
	Aus (Geräte Hauptschalter)
	Tastschalter (rastend - gedrückt)
	Tastschalter (rastend - nicht gedrückt)

## Einführung

Der e/m-Komplettversuch stellt ein einfaches Verfahren vor, um das Verhältnis der Elektronenladung zur Masse des Elektrons (spezifische Ladung) zu bestimmen. Das Verfahren ist ähnlich zu dem von J.J. Thomson 1898 durchgeführten Experiment. Ein Elektronenstrahl wird durch ein bekanntes Potential beschleunigt. Die Geschwindigkeit ist dadurch bekannt. Mit einem Spulenpaar (Helmholtzspulen), dessen homogenes Magnetfeld senkrecht zum Elektronenstrahl steht, wird der Elektronenstrahl auf eine Kreisbahn gezwungen. Die Röhre enthält auch Ablenkplatten, um die Wirkung eines elektrischen Feldes auf die Elektronenstrahlen zu demonstrieren. Damit lässt sich die negative Ladung eines Elektrons nachweisen. Gleichzeitig kann das Funktionsprinzip einer Oszilloskopröhre (Braunsche Röhre) gezeigt werden.

Ein Feature der verwendeten e/m-Röhre ist die Möglichkeit, den Röhrensockel um  $\pm 30^\circ$  gegenüber dem Magnetfeld der Helmholtzspulen zu drehen. Hierdurch lässt sich sehr gut die Vektornatur der durch das Magnetfeld hervorgerufenen Kräfte auf den Elektronenstrahl veranschaulichen.

## Hintergrundinformationen

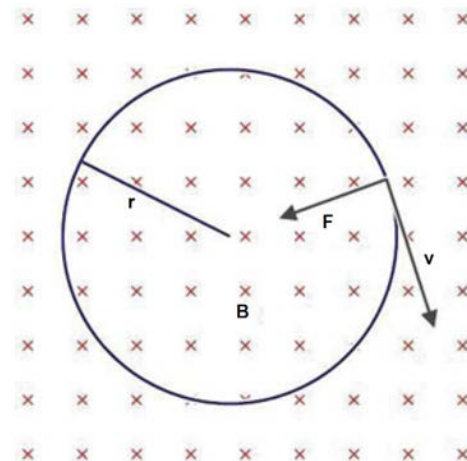
Im Jahr 1887 zeigte J.J. Thomson, dass es sich bei Kathodenstrahlen tatsächlich um negativ geladene Teilchen handelt. Mit dieser Erkenntnis hatte er das Elektron entdeckt. Im selben Jahr konnte er die spezifische Ladung (e/m) der Kathodenstrahl-Teilchen bestimmen. Er bestimmte damit als erster eine der fundamentalen Konstanten.

Die spezifische Ladung wird als Ladung pro Masseinheit des Partikels definiert. Thomson entdeckte, dass der Wert von e/m unabhängig vom Gas und auch unabhängig vom Elektrodenmaterial ist.

## Versuchsprinzip

In der e/m Röhre bewegen sich Elektronen entlang einer Kreisbahn in einem homogenen Magnetfeld. Die Röhre ist mit Helium unter einem definierten Druck gefüllt. Die Gasatome werden entlang der Länge der Kreisbahn aufgrund der Kollisionen ionisiert. Als Ergebnis werden sie angeregt und emittieren Licht, was die Kreisbahn des Elektronenstrahles sichtbar macht. Der Radius der Kreisbahn lässt sich mit einem Lineal messen. Da die Beschleunigungsspannung  $U$  der Elektronenkanone und die Stärke des Magnetfeldes  $B$  bekannt sind, ist es möglich die spezielle Ladung des Elektrons e/m aufgrund des gemessenen Radius  $r$  zu berechnen.

Ein Elektron, das sich mit einer Geschwindigkeit ( $v$ ) in einer Richtung senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld ( $B$ ) bewegt, erfährt eine Lorentz-Kraft ( $F$ ) in einer Richtung senkrecht, sowohl zur Geschwindigkeit und dem Magnetfeld.



Es gilt:  $F = e \times v \times B$

$e$  ist die Ladung eines Elektrons

Hieraus ergibt sich für die Zentripetalkraft auf den Elektronenstrahl in einer Kreisbahn mit dem Radius  $r$ :

$$F = m \cdot v^2/r$$

$m$  ist die Masse eines Elektrons

Es gilt  $e \cdot B \cdot r = m \cdot v$ . Die Geschwindigkeit  $v$  hängt von der Beschleunigungsspannung  $U$  der Elektronenkanone ab:

$$v^2 = 2 \cdot U \cdot e/m$$

Hieraus ergibt sich für die spezifische Ladung  $e/m$  :

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

Misst man den Radius der Kreisbahn für verschiedene Beschleunigungsspannungen  $U$  und unterschiedliche Feldstärken  $B$  und stellt grafisch  $B^2 r^2$  vs.  $2U$  dar, erhält man eine Gerade mit der Steigung  $e/m$ .

## Installation und Wartung

### Wichtiger Hinweis

Die  $e/m$  Röhre ist sehr empfindlich. Fassen Sie die Röhre nur an den Kunststoffteilen an, **nicht** am Glaskolben.

### Montage der Röhre in den Sockel

- Die  $e/m$ -Röhre besitzt im Sockel eine Reihe von Kontaktstiften. Die Anordnung der Buchsen ist eindeutig, so dass sich die Röhre nur in einer Orientierung in die Fassung einsetzen lässt.
- Halten Sie die Röhre über den Sockel, so dass Kontaktstifte und Buchsen passend gegenüberliegen und drücken die Röhre vorsichtig in die Fassung. Überprüfen Sie anschließend den korrekten Sitz der Röhre.
- Verkanten sie die Röhre nicht beim Einsetzen, der Glaskolben ist dünnwandig und evakuiert.
- Setzen sie die Röhre niemals mechanischen Spannungen aus.



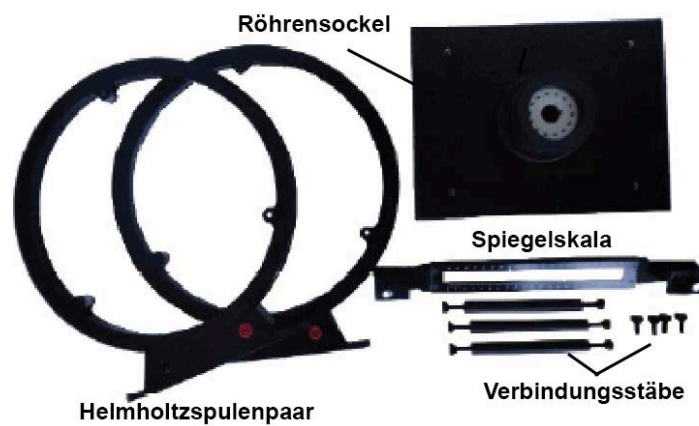
### Technische Daten der Röhre

<i>Gasfüllung</i>	Helium
<i>Druck</i>	$10^{-1}$ Pa
<i>Heizspannung</i>	6,3 V AC
<i>Beschleunigungsspannung</i>	$\leq 150$ V DC
<i>Ablenkspannung</i>	$\leq 150$ V DC

Ersetzen Sie die Röhre bei Bedarf **immer** durch eine Röhre desselben Typs (Best.-Nr. 114.2076)

### Montage der Helmholtzspulen auf dem Röhrensockel

- Schrauben Sie beide Helmholtzspulen so mit den mitgelieferten Befestigungsschrauben auf den Röhrensockel, dass die Anschlussbuchsen nach außen zeigen.
- Befestigen Sie die drei Verbindungsstäbe zwischen den beiden Spulen.



### Montage der Spiegelskala

- Lösen (nicht entfernen!) Sie die Schrauben an beiden Enden der Spiegelskala.
- Montieren Sie die Spiegelskala an einer Helmholtzspule so, dass die Spiegelskala in Richtung der e/m-Röhre zeigt.
- Ziehen Sie beide Schrauben am Ende der Skala an.

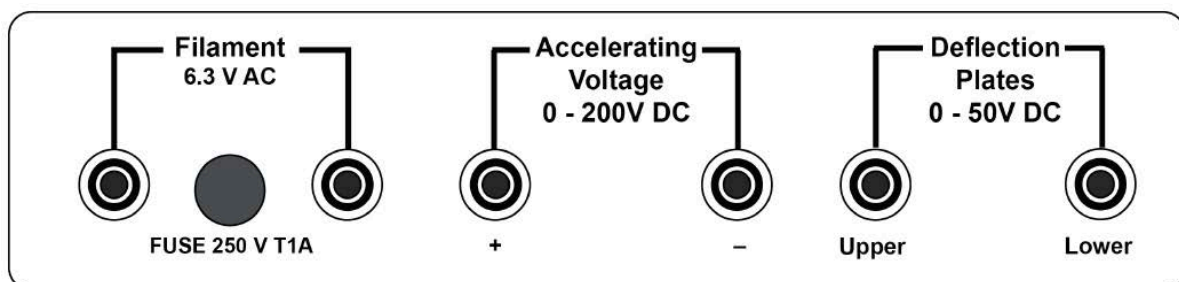




## Verdrahtung der Geräte

**Hinweis:** Stellen Sie sicher, dass alle Geräte ausgeschaltet sind bevor Sie mit der Verdrahtung der Geräte beginnen.

Stellen Sie beim Netzgerät und dem Strom-Verstärker die korrekte Netzspannung (230V) ein, bevor Sie die Geräte mit dem Netz verbinden.



1. Verbinden Sie den *Pluspol des 200 V – Ausganges* bei dem Stromversorgungsgerät II mit dem Pluspol des Einganges *Accelerating Voltage* (Beschleunigungsspannung) am Röhrensockel und den Minuspol des 200 V – Ausganges mit dem Minuspol des Einganges am Röhrensockel.
2. Verbinden Sie beide Ausgänge des 6.3 V AC - Ausganges der Konstantstromquelle mit den Eingängen *Filament* am Röhrensockel.
3. Verbinden Sie die Helmholtzspulen in Serienschaltung mit dem regelbaren Konstantstromausgang der Konstantstromquelle. Gehen Sie dabei folgendermaßen vor: Verbinden Sie den Pluspol des 3,5 A – Ausgangs der Konstantstromquelle mit der roten Buchse der vorderen Helmholtzspule. Anschließend verbinden Sie die schwarze Buchse der vorderen Helmholtzspule mit der schwarzen Buchse der hinteren Helmholtzspule. Zuletzt verbinden Sie die rote Buchse der hinteren Helmholtzspule mit dem Minuspol des 3,5 A – Ausgangs der Konstantstromquelle.

### Hinweis:

Bevor Sie die Netzkabel an die Stromversorgungsgeräte und den Gleichstromverstärker anschließen, vergewissern Sie sich, dass der Eingangsspannungsschalter (auf der Geräterückseite über der Netzbuchse) auf die in

Ihrem Land verwendete Wechselspannung (z.B. 230V) korrekt eingestellt ist (Deutschland, Österreich, Schweiz: 230V).

## VORSICHT

**An der e/m Röhre ist eine hohe Spannung angelegt.** Verhindern Sie eine direkte Berührung mit Kontakten.

- Verwenden Sie stets **Kabel mit Sicherheitssteckern**.
- Stellen Sie sicher, dass das **Stromversorgungsgerät und die Konstantstromquelle ausgeschaltet** sind, wenn Sie an der Verkabelung arbeiten.
- Wenn Sie die Röhre im Sockel austauschen, stellen Sie sicher, dass das **Stromversorgungsgerät und die Konstantstromquelle ausgeschaltet** sind.

### Kabel und Leitungen (techn. Daten)

Bezeichnung	Technische Daten
Netzkabel	Länge 1,5 m, 250 V / 16 A
Verbindungskabel, rot	Länge 0,85 m, 300 V / 10 A
Verbindungskabel, schwarz	Länge 0,85 m, 300 V / 10 A

**Hinweis:** Ersetzen Sie im Bedarfsfall immer Kabel durch solche desselben Typs.

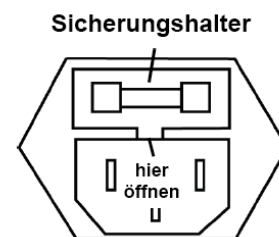
### Ersetzen von Sicherungen



**Hinweis:** Trennen Sie das Netzkabel von der Stromquelle bevor Sie Sicherungen austauschen. Ersetzen Sie immer Sicherungen durch solche mit gleichen Daten und gleicher Charakteristik.



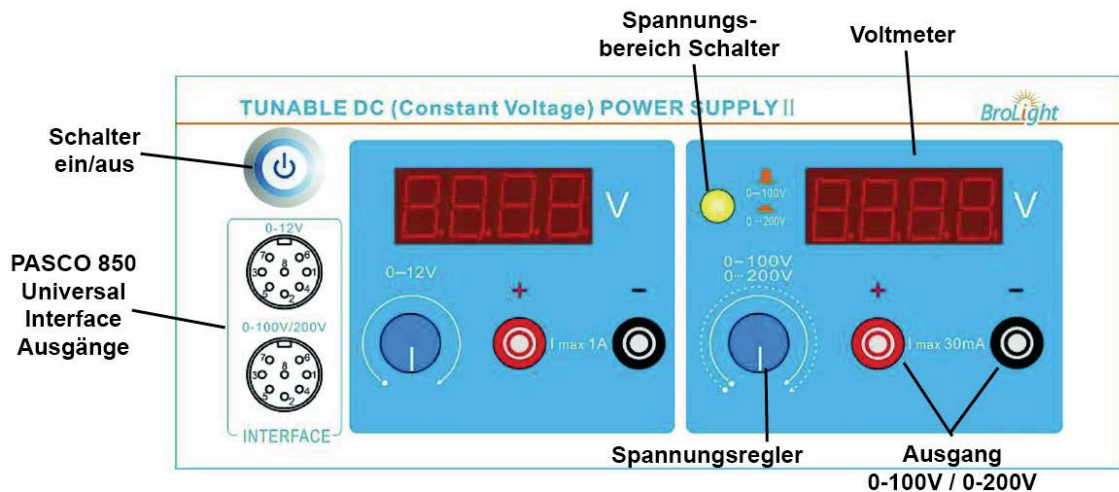
Abdeckung zum Ersetzen der Sicherung öffnen  
Sicherungstyp: 250V T 2A





- Entfernen Sie das Netzkabel.
- Öffnen Sie die Abdeckung des Sicherungshalters und ziehen dies heraus.
- Ersetzen Sie die defekte Sicherung durch eine neue gleichen Typs.
- Schließen Sie die Abdeckung.
- Schließen Sie das Netzkabel an und schalten das Gerät ein.

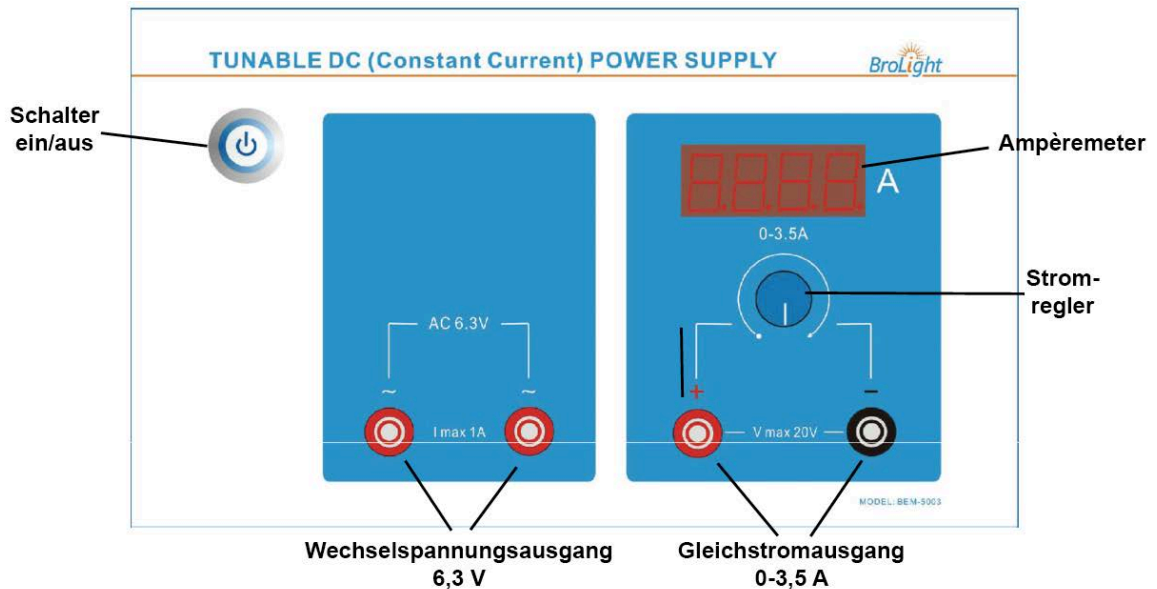


## Stromversorgungsgerät II



- Schalter ein/aus** Ein-Ausschalter für das Stromversorgungsgerät II.
- Voltmeter** Anzeige der Beschleunigungsspannung der e/m-Röhre
- Spannungsbereich Schalter** Einstellen der Ausgangsspannung auf 0 - 100 V (  ) oder 0 - 200 V. (  ) für die Beschleunigungsspannung
- Spannungsregler** Regler zur Einstellung der beiden Ausgangsspannungen
- Ausgang** Abgriffe der Ausgangsspannungen.
- Interface Ausgänge** Ausgänge zur Verbindung mit den Analogeingängen des PASCO 850 Universal Interfaces.

## Konstantstromquelle



**Schalter ein/aus**

Ein-Ausschalter für der Gleichstromquelle.

**Ampèremeter**

Anzeige des Spulenstromes des Helmholtzspulenpaares

**Stromregler**

Regler zur Einstellung des Helmholtzspulenstromes

**Wechselspannungsausgang**

Abgriff der Heizspannung 6,3 V

**Gleichstromausgang**

Abgriff für den Helmholtzspulenstrom 0 – 3,5 A


## Durchführung des Versuches

### Einstellen der Betriebsspannung und des Stromes

#### Wichtiger Hinweis

Stellen Sie sicher, dass sich vor Einschalten der Geräte alle Regler zur Justierung der Ausgangsspannungen und des Stromes am linken Anschlag befinden. Drehen Sie dazu alle Spannungsregler der beiden Stromversorgungsgeräte vorsichtig bis zum Anschlag entgegen dem Uhrzeigersinn. Die Regler sind als Präzisions-Mehrgangpotentiometer ausgeführt, so dass unter Umständen mehr als eine Umdrehung notwendig sein kann.

Um den Elektronenstrahl gut zu sehen, ist es sinnvoll, den Versuchsraum etwas abzudunkeln.

1. Verbinden Sie die Geräte wie oben im Kapitel **Verdrahtung der Geräte** beschrieben.
2. Wählen Sie am Stromversorgungsgerät II durch Drücken des Tastschalters den Spannungsbereich 0 - 200 V aus (  ).
3. Schalten Sie beide Stromversorgungsgeräte durch Drücken des **Schalters ein/aus** ein.
4. Stellen Sie am Stromversorgungsgerät II die Beschleunigungsspannung durch Drehen des **Spannungsreglers** im Uhrzeigersinn auf 120 V DC.
5. Warten Sie einige Minuten als Aufwärmphase der Heizung. Hiernach sollten Sie den Elektronenstrahl der „Elektronenkanone“ sehen. Der Elektronenstrahl verläuft zunächst horizontal und ist als dunkler, bläulicher Strahl sichtbar.

**Hinweis:** Es ist wichtig, dass sowohl die e/m-Röhre, Stromversorgungsgeräte und alle Stromversorgungsgeräte einige Minuten eingeschaltet sind (Aufwärmphase), bevor Sie mit der eigentlichen Versuchsdurchführung beginnen.

6. Verstellen Sie nun die Beschleunigungsspannung, um Fokus und Helligkeit des Elektronenstrahles zu optimieren.
7. Erhöhen Sie nun den Strom durch die Helmholtzspulen vorsichtig indem Sie den Stromregler im Uhrzeigersinn drehen. Der Elektronenstrahl beginnt, aufgrund des entstehenden Magnetfeldes, nach oben abgelenkt zu werden.
  - Sollte keine Auslenkung des Elektronenstrahles zu sehen sein, ist vermutlich eine Spule verpolt verdrahtet. Vertauschen Sie bei einer Spule die Anschlusskabel, so dass der Strom durch beide Spulen in dieselbe Richtung fließt.
  - Sollte sich der Elektronenstrahl nach unten krümmen, vertauschen Sie die Anschlusskabel an dem Konstantstromquellenausgang 0 – 3,5 A (rechtes Buchsenpaar).
8. Erhöhen sie den Strom durch die Helmholtzspulen solange, bis der Elektronenstrahl einen Kreis beschreibt.

- Sollte der Elektronenstrahl keinen sauberen Kreis beschreiben, drehen Sie vorsichtig den Röhrensockel nach rechts oder links, um das von den Helmholtzspulen erzeugte Magnetfeld mit dem Erdmagnetfeld auszurichten.

**Aufzeichnen der Daten von Hand (ohne Interface)**

9. Lesen Sie auf der Anzeige der Konstantstromquelle den Strom ab, der durch die Helmholtzspulen fließt ( $I_H$ ) und tragen den Wert in Tabelle 1 ein. Tragen Sie nun den Wert für die Beschleunigungsspannung ( $U$ ) - Anzeigewert am Stromversorgungsgerät II - in Tabelle 1 ein.
10. Messen Sie nun den genauen Radius  $r$  des Elektronenstrahles. Bedienen Sie sich hierbei der Spiegelskala, um Parallaxenfehler zu vermeiden. Bewegen Sie hierzu Ihren Kopf solange, bis der Strahl in der Röhre mit seinem Spiegelbild auf der Skala zusammenfällt. Lesen Sie nun die Positionswerte des Elektronenstrahles rechts und links an der Spiegelskala ab und bilden den Mittelwert. Notieren sie diesen Wert – den mittleren Radius – ebenfalls in Tabelle 1.
11. Führen Sie die Messung für unterschiedliche Beschleunigungsspannungen ( $U$ ) und Helmholtzspulenströme ( $I_H$ ) durch und tragen die Werte in Tabelle 1 ein.

**Tabelle 1: Daten**

Versuch	U (V)	$I_H$ (A)	r (mm)	e/m (C/kg)	prozentualer Fehler
1					
2					
3					
4					
5					

**Aufzeichnen der Daten mit dem 850 Universalinterface und CAPSTONE**

Alternativ lässt sich der Versuch komfortabel mit dem PASPORT 850 Universalinterface (Best.-Nr. 112.4080) einem Hochstromsensor (Best.-Nr. 108.6000) und der CAPSTONE-Software (Best.-Nr. 112.4079) durchgeführt werden.

### Auswertung

Das Magnetfeld  $B$ , dass von den beiden Helmholtzspulen erzeugt wird ist proportional zum spulenstrom  $I_H$ , der durch eine einzelne Spule fließt. Die Proportionalitätskonstante  $k$  ist durch den Spulenradius  $R$  und der Windungszahl  $N$  bestimmt:

$$B = \frac{\left(\frac{4}{5}\right)^2 \mu_0 N I_H}{R}$$

Aus obiger Formel und der Formel für  $e/m$

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

Ergibt sich:

$$\frac{e}{m} = 2U \frac{\left(\frac{5}{4}\right)^3 R^2}{(N \mu_0 I_H r)^2}$$

$R$	= 158 mm (Radius der Helmholtzspulen)
$N$	= 130 Windungen pro Spule
$U$	= Beschleunigungsspannung
$\mu_0$	= Permeabilitätskonstante ( $4\pi \times 10^{-7}$ )
$I_H$	= Strom durch die Helmholtzspulen
$r$	= Radius des geschlossenen Elektronenstrahl-Kreises

Akzeptable Werte für die spezifische Ladung  $e/m$  ist  $1,76 \times 10^{11}$  C/kg.

### Wichtiger Hinweis

**Lassen Sie den Elektronenstrahl nicht länger als zur Messung notwendig aktiv. Die Röhre verschleißt während der Einschaltdauer.**

### Der Elektronenstrahl im Elektrischen Feld

Die Ablenkplatten können auch benutzt werden, um das Verhalten eines Elektronenstrahles im elektrischen Feld zu demonstrieren.

1. Bauen Sie den Versuch wie zur Bestimmung der spezifischen Ladung  $e/m$  jedoch ohne die Helmholtzspulen auf.
2. Legen Sie eine Heizspannung in Höhe von 6,3 V AC an die Klemmen **Filament** und eine Beschleunigungsspannung zwischen 120 und 200 V DC an die Klemmen

**Accelerating Voltage** an. Warten Sie nun einige Minuten zum Aufwärmen der Kathode.

3. Wenn der Elektronenstrahl sichtbar wird, schließen Sie eine Gleichspannungsversorgung (0-100V) an die Buchsen mit der Bezeichnung **Deflection Plates upper** und **Deflection Plates lower** an. Erhöhen sie langsam die Spannung. Die Obergrenze sollte 100 V nicht überschreiten.

Beschreiben Sie, was passiert und in welche Richtung der Strahl abgelenkt wird.

## Weitere Versuche

1. Anstelle der Helmholtzspulen können Sie auch einen Permanentmagneten verwenden, um die Wirkung eines Magnetfeldes auf den Elektronenstrahl zu demonstrieren.

Wählen Sie hierzu folgende Parametrierung

**Heizspannung:** 6,3 V AC  
**Beschleunigungsspannung:** 120 – 200 V DC

Wenn der Elektronenstrahl sichtbar wird, nähern Sie sich mit einem Permanentmagneten der Röhre um den Strahl abzulenken.

2. Der Röhrensockel ist so gestaltet, dass sich die Röhre im Sockel drehen lässt. Die Röhre lässt sich so in einem bestimmten Winkel in Bezug auf das von den Helmholtzspulen erzeugten Magnetfeld ausrichten. Wenn Der Versuch zur Bestimmung von  $e/m$  aufgebaut ist, drehen Sie die Röhre vorsichtig und beobachten den Einfluss von  $B$  auf die Veränderung der Strahlage.

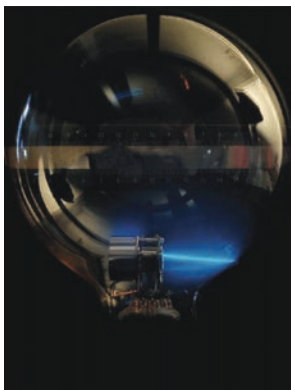


Abb. 1



Abb. 2

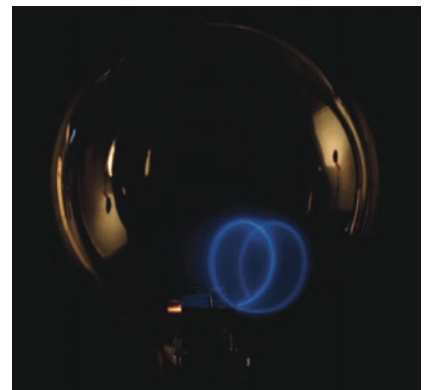


Abb. 3

- Abb. 1* Der Elektronenstrahl ist horizontal und dunkel bläulich.  
*Abb. 2* Nimmt der Spulenstrom zu, krümmt sich der Elektronenstrahl, bis er kreisförmig ist.  
*Abb. 3* Dreht man die  $e/m$ -Röhre, so wird der Elektronenstrahl auf eine spiralförmige Bahn gezwungen.



3. Ohne magnetische Einflüsse (unbestromte Helmholtzspulen, kein Permanentmagnet in der Nähe des Versuchsaufbaues) kann die Auswirkung des Erdmagnetfeldes auf den Elektronenstrahl beobachtet werden.

**Frage:** Verhält sich die Ablenkung des Elektronenstrahles wie erwartet?

## Anhang A : Allgemeine Spezifikationen

<b>Bezeichnung</b>	<b>Beschreibung</b>
<i>Eingangsspannung</i>	110-120 V oder 220-240 V
<i>Eingangsspannungstoleranz</i>	±10%
<i>Sicherungen</i>	Feinsicherung 20 x 5 mm 250V T2A bzw. 315 mA
<i>Anzeige</i>	3-1/2 stellige Digitalanzeige
<i>Umgebungsbedingungen</i>	Benutzung in trockenen Räumen
<i>Temperaturbereich</i>	Betrieb: 0°C bis 40°C , Lagerung: -20°C bis 50°C
<i>Rel. Luftfeuchtigkeit</i>	Nichtkondensierend < 10°C 90% von 10°C bis 30°C 75% von 30°C bis 40°C
<i>Verschmutzungsgrad</i>	2
<i>Konformität</i>	gemäß CE
<i>Sicherheitsklasse</i>	IEC/EN 61010-1
<i>Überspannungsklasse</i>	II
<i>Schutzart</i>	IP20
<i>Energiefestigkeit</i>	5J
<i>Stromversorgungsgerät II</i>	0 – 12 V DC, I ≤ 1A (Restwelligkeit < 1%), Anzeige 3-1/2 stellig. 0 – 100 V DC / 0 – 200 V DC in zwei Bereichen (Restwelligkeit < 1%), I ≤ 30 mA, Anzeige 3-1/2 stellig.
<i>Konstantstromquelle</i>	Ausgangsstrom: 0 – 3,5 A, Ausgangsspannung ≤ 24 V (Restwelligkeit < 1%) für Helmholtzspulen, Anzeige 3-1/2stellig. 6,3 V AC, I ≤ 1A, 50 / 60 Hz für die Heizung der Röhre
<i>e/m-Röhre</i>	Füllung: Helium unter 10 <sup>-1</sup> Pa Druck Heizspannung: 6,3 V AC Beschleunigungsspannung: ≤ 150 V DC Ablenkspannung: ≤ 150 V DC
<i>Helmholtz-Spulen</i>	effektiver Radius : 158 mm Anzahl der Windungen: 130 Max. Eingangsstrom: ≤ 3,5 A DC

**Anhang B : Zusätzliche Informationen für die Lehrkraft**

**Beispiel-Daten für eine Messwertaufnahme**

**Tabelle 1 : Messung und Berechnung von e/m**

Versuch	U (V)	I <sub>H</sub> (A)	r (mm)	e/m (C/kg)	prozentualer Fehler
1	100	1.0	45.0	1.80	2.5
2	105	1.1	42.5	1.76	-0.3
3	110	1.2	40.0	1.74	-0.9
4	115	1.3	38.0	1.72	-2.2
5	120	1.4	35.5	1.78	0.9

**Analyse**

Das Magnetfeld **B**, dass von den beiden Helmholtzspulen erzeugt wird ist proportional zum spulenstrom **I<sub>H</sub>**, der durch eine einzelne Spule fließt. Die Proportionalitätskonstante **k** ist durch den Spulenradius **R** und der Windungszahl **N** bestimmt:

$$B = \frac{\left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 N I_H}{R}$$

Aus obiger Formel und der Formel für e/m

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

Ergibt sich:

$$\frac{e}{m} = 2U \frac{\left(\frac{5}{4}\right)^3 R^2}{(N \mu_0 I_H r)^2}$$

- R** = 158 mm (Radius der Helmholtzspulen)
- N** = 130 Windungen pro Spule
- U** = Beschleunigungsspannung
- μ<sub>0</sub>** = Permeabilitätskonstante (4π x 10<sup>-7</sup>)
- I<sub>H</sub>** = Strom durch die Helmholtzspulen
- r** = Radius des geschlossenen Elektronenstrahl-Kreises

Akzeptable Werte für die spezifische Ladung **e/m** ist 1,76 x 10<sup>11</sup> C/kg.

Hinweis:

Das vorliegende Dokument ist aus dem Englischen übersetzt (CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH 2014). Das Original stammt von PASCO scientific, 10101 Foothills Blvd., Roseville, California, 95747-7100 USA.

---

CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH – Im Forstgarten 1 - D-66459 Kirkel  
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6849 - 99 269 -0  
[www.conatex.com](http://www.conatex.com) - email: [didactic@conatex.com](mailto:didactic@conatex.com)

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch die Conatex Didactic Lehrmittel GmbH nicht gestattet.