

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 mm ³
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 .

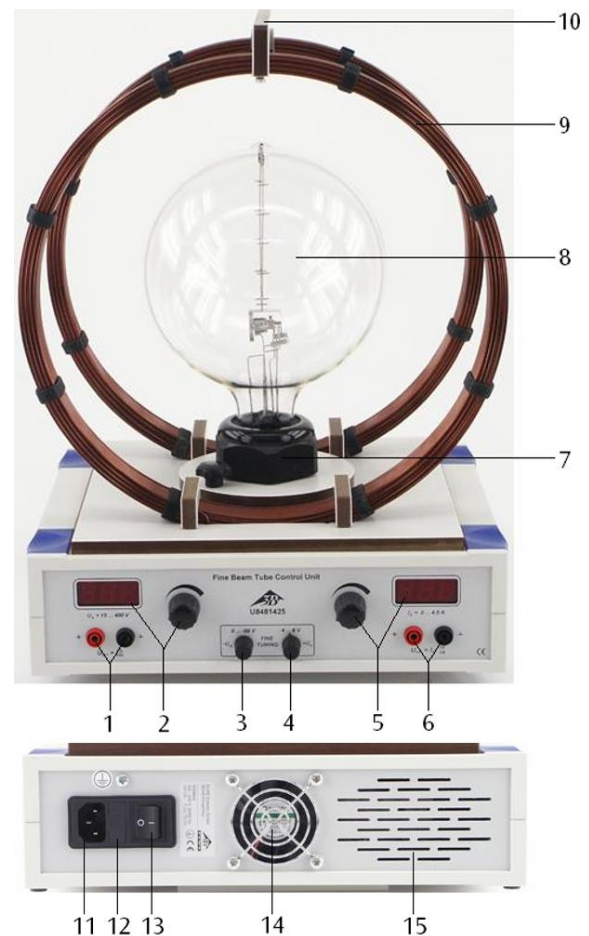
Das Magnetfeld B wird in einem Helmholtz-Spulenpaar erzeugt und ist proportional zum Strom I_H durch eine einzelne Spule. Der Proportionalitätsfaktor k kann aus dem Spulenradius $R = 147,5$ mm und der Windungszahl $N = 124$ je Spule berechnet werden:

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

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

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).

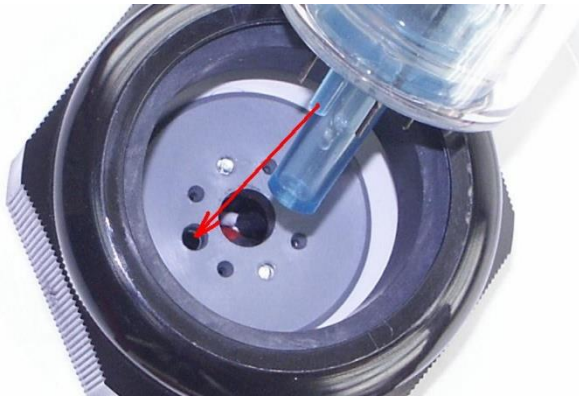


Fig. 1: Einsetzen der Röhre

- 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.

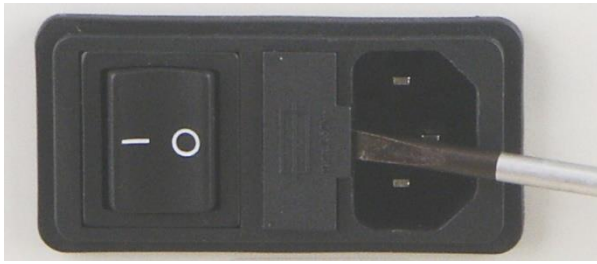


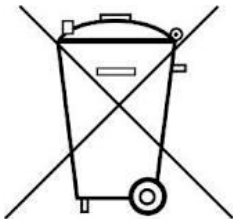
Fig. 3: Sicherungswechsel

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 .

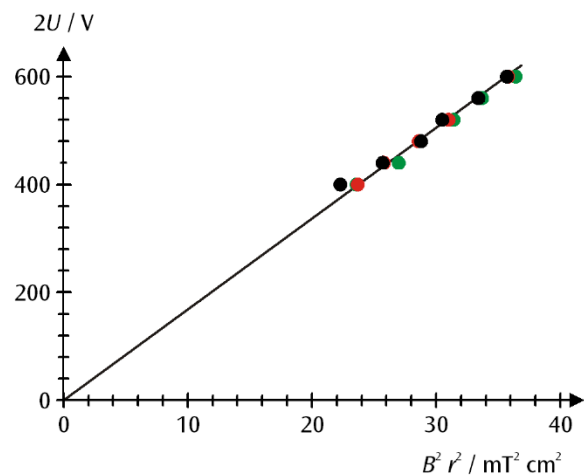


Fig. 4 $r^2 B^2$ - $2U$ -Diagramm der Messwerte (schwarz: $r = 5$ cm, rot: $r = 4$ cm, grün: $r = 3$ cm)

Compact e/m Apparatus with Fine Beam Tube... 8001324

04/26 HJB



1. Safety instructions

The operating unit for fine-beam tube conforms to the safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use of DIN EN 61010 part 1 and is classified as belonging to protection class I. It is intended for operation in dry rooms that are suitable for electrical equipment or installations.

Safe operation of the apparatus is guaranteed with correct handling. However, safety is not guaranteed if the apparatus is handled improperly or carelessly.

If it is to be expected that safe operation is impossible (e.g., in case of visible damage), the apparatus is to be rendered inoperative immediately and to be safe-guarded from unintentional use.

In schools and training institutions, operation of the apparatus is to be responsibly supervised by trained personnel.

While the equipment is in operation, voltages may be present at the tube socket which are unsafe to touch.

- Never operate the device without a tube inserted.
- Never remove or insert tubes while the equipment is turned on.
- The instrument may only be connected to the mains via a socket that has an earth connection.
- Replace a faulty fuse only with one matching the specifications stated at the rear of the housing.
- Disconnect the equipment from the mains before replacing a fuse.
- Never short the fuse or the fuse holder.
- Never cover the air vents in the housing. This is necessary in order to ensure sufficient circulation of air required for cooling the internal components of the equipment.

Hot cathode tubes are thin-walled, highly evacuated glass tubes. Treat them carefully as there is a risk of implosion.

- Do not subject the tube to mechanical stresses.
- Before switching on the anode voltage wait about 1 minute for the heater temperature to stabilise.

When the tube is in operation, the stock of the tube may get hot.

- Allow the tube to cool before putting away the apparatus.

2. Description

Operating Unit for Fine-Beam Tube

The operating unit for the fine beam tube is to be used with the fine beam tube T (1024632) in order to determine the specific charge of an electron and for investigating the deflection of electron beams in a uniform magnetic field.

The Helmholtz coils are permanently attached to the apparatus while the removable fine beam tube is placed on a socket that can be rotated by up to

270°. The tube and coil pair are both connected internally to the operating unit without a need for external wiring. All supply voltages for the tube and the current through the Helmholtz coils are adjustable. The anode voltage and coil current are displayed digitally and can be tapped additionally as equivalent voltage values.

Fine-Beam Tube T

Inside the fine beam tube, a sharply delimited electron beam is generated by a system comprising an indirectly heated oxide cathode, perforated anode and Wehnelt cylinder in a residual helium atmosphere with accurately known gas pressure. Impact ionisation of helium atoms creates a very bright, also sharply delimited trace of the electron path in the tube. If the tube is aligned optimally and an appropriate current flows through the Helmholtz coils, the electrons are deflected into a circular orbit, whose diameter can be easily determined when the electrons strike one of the equidistant measurement marks, causing its end to light up.

The operating unit for the fine beam tube is designed for operating the fine beam tube (1009948).

3. Contents

a) Operating Unit for Fine-Beam Tube

- 1 Operating unit
- 1 Set of power supply cables EU, UK, US
- 1 Instruction sheet

b) Fine-Beam Tube T

- 1 Fine-beam tube
- 1 Instruction sheet

4. Technical data

a) Operating Unit for Fine-Beam Tube

Helmholtz coil pair:

Coil diameter:	approx. 300 mm
Winding count:	124
Magnetic field:	0 – 3.4 mT (0.75 mT/A)

Operating unit:

Coil current:	0 – 4.5 A
Measurement output:	$U_{\text{OUT}} = I_{\text{H}} \cdot \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$
Anode voltage:	15 – 300 V, 10 mA max.
Measurement output:	$U_{\text{OUT}} = \frac{U_{\text{A}}}{100}$
Heating voltage:	5 – 7 V DC, 1 A max.
Wehnelt voltage:	0 – -50 V
Display:	3-digit digital LED display for coil current and anode voltage

Precision

Display:	1% + 2 digits
Measurement outputs:	1%

Output connections:	4 mm safety sockets
---------------------	---------------------

General data:

Tube's rotary angle:	-10° – 270°
Supply voltage:	100 – 240 V, 50/60 Hz
Power supply cable:	EU, UK and US
Dimensions:	approx. 310x275x410 mm ³
Weight:	approx. 7.5 kg

b) Fine-Beam Tube T

Gas filling:	Helium
Gas pressure:	0.13 hPa
Bulb diameter:	165 mm
Orbit diameter:	20 – 120 mm
Measurement mark spacing:	20 mm

5. Basic principles

An electron moving with velocity v in a direction perpendicular to a uniform magnetic field B experiences a Lorentz force in a direction perpendicular to both the velocity and the magnetic field

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

e : elementary charge

This gives rise to a centripetal force on the electron in a circular path with radius r , where

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

and m is the mass of an electron.

Thus,

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

The velocity v depends on the accelerating voltage of the electron gun:

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

Therefore, the specific charge of an electron is given by:

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

If we measure the radius of the circular orbit in each case for different accelerating voltages U and different magnetic fields B , then, according to equation 5, the measured values can be plotted in a graph of $r^2 B^2$ against $2U$ as a straight line through the origin with slope e/m .

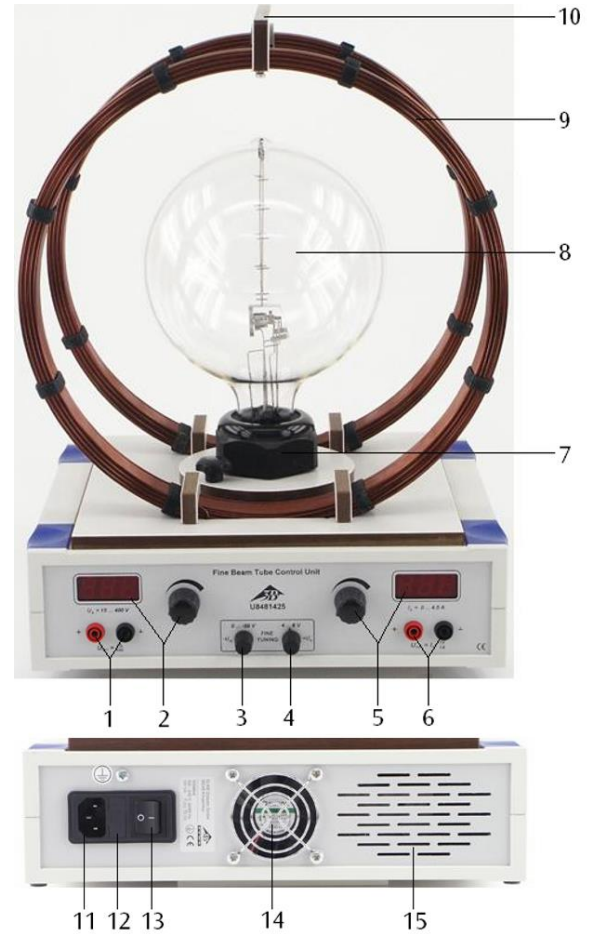
The magnetic field B generated in a pair of Helmholtz coils is proportional to the current I_H passing through a single coil. The constant of proportionality k can be determined from the coil radius $R = 147.5 \text{ mm}$ and the number of turns $N = 124$ per coil:

$$B = k \cdot I_H, \text{ where} \quad (6)$$

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

Thus, all parameters for the specific charge are known.

6. Operating unit controls



- 1 Measurement output for accelerating voltage
- 2 Adjustment knob and display for accelerating voltage
- 3 Adjustment knob for Wehnelt-voltage
- 4 Adjustment knob for heater voltage
- 5 Adjustment knob and display for coil current
- 6 Measurement output for coil current
- 7 Rotating socket
- 8 T-model fine beam tube (1024632)
- 9 Helmholtz coils
- 10 Carrying handle
- 11 Mains socket
- 12 Fuse holder
- 13 Mains switch
- 14 Fan
- 15 Ventilation slits

7. Operation

7.1 Installation of fine beam tube

- Screw on the cap nut by turning it anti-clockwise.
- Check the fine beam tube to ensure that none of its contacts are bent.
- Insert the tube vertically downward, making sure that the contact pins and the coding pin are correctly aligned (see Fig 1).

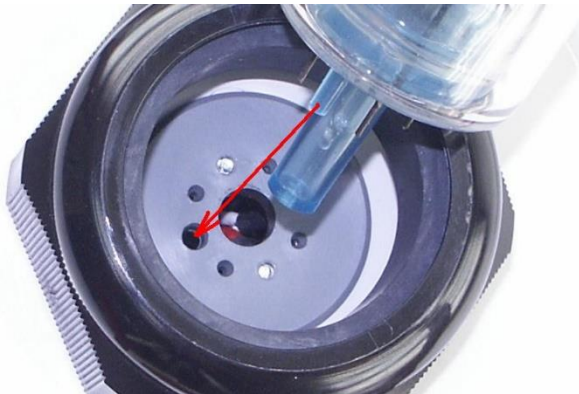


Fig. 1: Insertion of tube

- Press the tube down with gentle pressure until it sits firmly on the socket.
- **Note:** Measure the height of the socket up to the top of the cap nut and compare this with the height of the tube. This will enable you to see whether the tube is sitting correctly in the socket.
- Tighten the cap nut manually by turning it to the right, making sure that the tube remains vertical.

Caution: as long as the knurled screw is not tightened, the tube is not secured and could fall out when being transported.



Fig. 2: Inserted tube

7.2 Adjusting the electron beam

- Set up the fine beam apparatus in a darkened room.
- Align the tube as illustrated above (with the cathode ray gun perpendicular to the magnetic field of the Helmholtz coils). For instructions on how to rotate the tube, see section 7.3.
- Set the adjustment knob for the heater voltage to a position in the middle (6 V approx.).
- Turn the knob for the coil current all the way to the left, i.e. 0 A.
- Wait about 1 minute for the heater temperature to stabilise.
- Slowly increase the anode voltage to 300 V (the electron beam is initially horizontal and is visible as a weak, bluish ray).
- Select the Wehnelt voltage so that a very clear and narrow electron beam is visible.
- Optimise the focus and brightness of the electron beam by varying the heater voltage.
- Increase the current I_H passing through the Helmholtz coils and check that the electron beam curves upwards.
- If the beam is deflected downwards, the tube should be rotated by 180° .
- Turn the coil current back up and check whether the electron beam follows a closed circular path. You may need to rotate the tube slightly.
- Carry out the experiment as described below.

7.3 Rotating the tube

The tube is mounted on a socket which can rotate from -10° to 270° .

- In order to rotate the tube, you must loosen the knurled screw, **but do not screw it all the way out**
- Do **not** turn the tube itself, instead rotate the turntable or the cap nut.
- Tighten up the knurled screw again.

Caution: if the knurled screw is screwed out all the way, the tube is not secured and could fall out when being transported.

7.4 Changing the fuse

- Turn off the power switch and unplug the mains plug.
- Pull out the fuse holder using a flat end screwdriver (see Fig. 3).
- Use the screwdriver as a lever from the side of the mains socket.
- Replace the fuse and reinsert the holder in its socket.



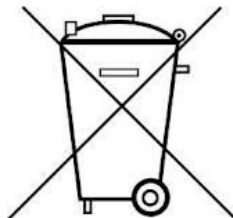
Fig. 3: Changing the fuse

8. Care and maintenance

- Before cleaning the equipment, disconnect it from its power supply.
- Use a soft, damp cloth to clean it.

9. Disposal

- The packaging should be disposed of at local recycling points.
- Should you need to dispose of the equipment itself, never throw it away in normal domestic waste. Local regulations for the disposal of electrical equipment will apply.



10. Sample experiment

Determination of the specific charge of an electron e/m

- Select the current passing through the coils so that the radius of the circular path is for example 5 cm. Note the set current value.
- Decrease the anode voltage in steps of 20 V to 200 V. In each case, set the coil current I_H so that the radius remains constant. Take down these values.
- Record other series of measured values for radii of 4 cm and 3 cm.
- For further evaluation, plot the measured values in a graph of $r^2 B^2$ against $2U$.

The slope of the line through the origin corresponds to e/m .

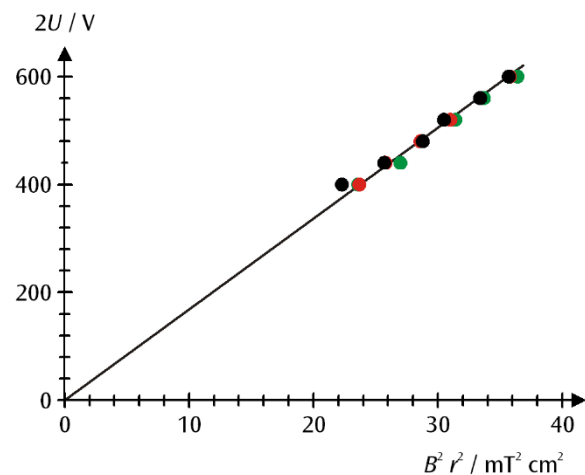


Fig. 4 Graph of $r^2 B^2$ against $2U$ for values as measured (black: $r = 5$ cm, red: $r = 4$ cm, green: $r = 3$ cm)

Sistema completo compacto para la determinación de la carga específica del electrón e/m con tubo de haz fino 8001324

Instrucciones de uso

04/26 HJB



1. Advertencias de seguridad

La unidad de control para el tubo de haz fino es conforme con las determinaciones de seguridad para aparatos eléctricos de medida, control, regulación y de laboratorios indicadas en la normativa DIN EN 61010, Parte 1 y está diseñado según la clase de protección 1. El aparato está previsto para su trabajo en recintos secos, los cuales sea apropiados para componentes o instalaciones eléctricas.

Se garantiza el trabajo seguro del aparato si se le aplica según su uso específico. La seguridad no se puede garantizar en caso de que se maneje fuera de sus especificaciones o sin el correspondiente cuidado.

Si es de suponer que no se puede garantizar un trabajo sin peligro se debe poner inmediatamente fuera de servicio (p.ej. en caso de daños plenamente visibles) y se debe asegurar contra funcionamiento no voluntario.

En colegios y centros educativos, el funcionamiento del aparato debe estar siempre supervisado por personal calificado y responsable.

Durante el funcionamiento del aparato se pueden tener en el zócalo del tubo tensiones peligrosas al contacto directo.

- El aparato debe trabajar siempre con el tubo insertado.
- El tubo se monta y se desmonta sólo con el aparato de suministro energético desconectado.
- El aparato se conecta sólo en enchufes con un conductor de protección conectado a la tierra.
- Los fusibles defectuosos sólo se deben sustituir con uno correspondiente al valor original (ver lado posterior de la caja).
- Es necesario desenchufar el aparato antes de cambiar el fusible.
- Nunca se debe cortocircuitar el fusible o el portafusibles.
- Dejar siempre libres las ranuras de ventilación de la caja, con el fin de garantizar una suficiente circulación de aire, necesaria para el enfriamiento de los componentes internos.

Los tubos catódicos incandescentes son ampollas de vidrio, al vacío y de paredes finas. Manipular con cuidado: ¡riesgo de implosión!

- No someter los tubos a ningún tipo de esfuerzos físicos.
- Antes de ajustar la tensión del ánodo se espera aprox. 1 minuto hasta que la temperatura del filamento incandescente se haya estabilizado.

Durante el funcionamiento, el cuello del tubo se calienta.

- Se debe dejar enfriar el tubo antes de guardarlo.

2. Descripción

Unidad de control para el tubo de haz fino

El aparato de control para el tubo de haz fino sirve, junto con el tubo de haz fino T(1024632), para la determinación de la carga específica del electrón así como para el estudio de la desviación de haces de electrones en un campo magnético homogéneo. Las bobinas de Helmholtz se encuentran montadas fijamente sobre el aparato y el tubo de haz fino se encuentra en un zócalo que se puede girar hasta en 270°. Ambos se encuentran conectados internamente con la unidad de control sin que sea necesario un cableado externo. Todas las tensiones de alimentación así como la corriente a través de las bobinas de Helmholtz se pueden ajustar. La tensión del ánodo y la corriente de las bobinas se indican digitalmente y pueden ser tomados como valores equivalentes de tensión.

Tubo de de haz fino T

En el tubo de rayos filiformes un sistema de rayos de electrones compuesto de un cátodo de óxido de calentamiento indirecto, un ánodo con una perforación central y un cilindro de Wehnelt de focalización produce un haz de electrones focalizado nítidamente en una atmósfera de gas residual de helio, con una presión de gas ajustada con precisión. Debido a la ionización por choques con átomos de Helio se genera una traza muy clara y nítida del recorrido de los electrones en el tubo. Orientado óptimamente el tubo y con la corriente adecuada en las bobinas de Helmholtz se desvían los electrones hacia una órbita circular. Su diámetro se puede determinar fácilmente cuando los electrones chocan exactamente una de las marcas de medida equidistantes, cuyo extremo se ilumina.

Para el funcionamiento del tubo de haz fino sirve el aparato de control de tubo de haz fino (1009948).

3. Volumen de suministro

a) Unidad de control para el tubo de haz fino

1 Unidad de control
1 Juego de cables de conexión a la red EU, UK, US
1 Instrucciones de uso

b) Tubo de de haz fino T

1 Tubo de de haz fino
1 Instrucciones de uso

4. Datos técnicos

a) Unidad de control para el tubo de haz fino

Par de bobinas de Helmholtz:

Diámetro de las bobinas: aprox. 300 mm
Número de espiras: 124
Campo magnético: 0 – 3,4 mT (0,75 mT/A)

Unidad de control:

Corriente de bobinas: 0 – 4,5 A
Salida de medida: $U_{OUT} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$
Tensión del ánodo: 15 – 300 V, max. 10 mA
Salida de medida: $U_{OUT} = \frac{U_A}{100}$
Tensión de calentamiento: 5 – 7 V CC, max. 1 A
Tensión de Wehnelt: 0 – -50 V
Indicación: Display digital LED de 3 cifras para la indicación de la corriente de bobinas y de la tensión de ánodo

Exactitud
Indicación: 1% + 2 dígitos
Salidas de medida: 1%
Puntos de conexión salidas de medida: Casquillos de seguridad de 4 mm

Datos generales:

Ángulo de giro para el tubo: -10° – 270°
Tensión de conexión a la red: 100 – 240 V, 50/60 Hz
Cable de conexión a la red: EU, UK y US
Dimensiones: aprox. 310x275x410 mm³
Masa: aprox. 7,5 kg

b) Tubo de de haz fino T

Llenado de gas: Helio
Presión residual: 0,13 hPa
Diámetro del tubo: 165 mm
Diámetro de la órbita circular: 20 – 120 mm
Distancia entre las marcas: 20 mm

5. Fundamentos generales

Sobre un electrón que se mueve con una velocidad v en dirección perpendicular al campo magnético uniforme B actúa la fuerza de Lorentz en sentido perpendicular a la velocidad y al campo

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

e : carga elemental

Como fuerza centrípeta

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

m : masa del electrón

obliga al electrón a adoptar una órbita con el radio r . Por tanto

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

La velocidad v depende de la tensión de aceleración U del cañón de electrones:

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

Por tanto, para la carga específica del electrón es válido:

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

Si se mide el radio r de la órbita, con diferentes tensiones de aceleración U y diferentes campos magnéticos B , los valores de medición, registrados en un diagrama $r^2 B^2$ en función de $2U$, de acuerdo con la ecuación (5), se encuentran en una recta de origen con la pendiente e/m .

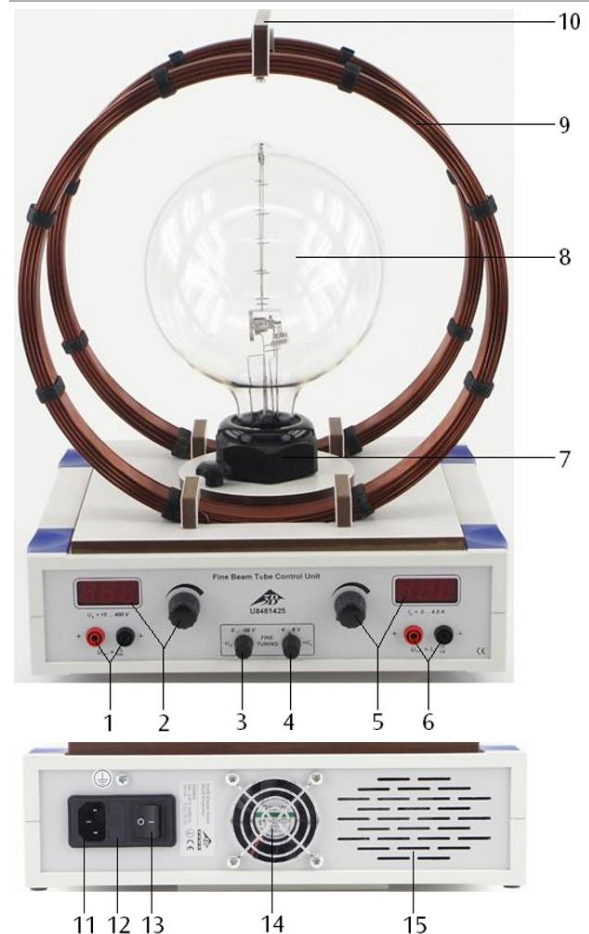
El campo magnético B se genera en el par de bobinas de Helmholtz y es proporcional a la corriente I_H que circula a través de una sola bobina. El factor de proporcionalidad k se puede calcular a partir del radio de la bobina $R = 147,5 \text{ mm}$ y el número de espiras $N = 124$ por bobina:

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

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

De esta manera se conocen todas las magnitudes necesarias para determinar la carga específica del electrón.

6. Elementos de mando del aparato de control



- 1 Salida de medida para la tensión de aceleración
- 2 Regulador de ajuste e indicación de la tensión de aceleración
- 3 Regulador de ajuste para la tensión del cilindro de Wehnelt
- 4 Regulador de ajuste de la tensión de caldeo
- 5 Regulador de ajuste e indicación de la corriente por las bobinas
- 6 Salida de medida para la corriente por las bobinas
- 7 Zócalo girable
- 8 Tubo de haz fino T (1024632)
- 9 Bobinas de Helmholtz
- 10 Asa de transporte
- 11 Conexión a la red
- 12 Portafusibles
- 13 Interruptor de la red
- 14 Ventilador
- 15 Ranura de aireamiento

7. Servicio

7.1 Montaje del tubo de haz fino

- Se atornilla la tuerca de racor, girando hacia la izquierda
- Se controla si hay un contacto deformado en el tubo de haz fino.
- ¡Se inserta el tubo perpendicularmente, teniendo necesariamente en cuenta la orientación correcta de las espigas de contacto y de la espiga de codificación! (ver Fig 1).

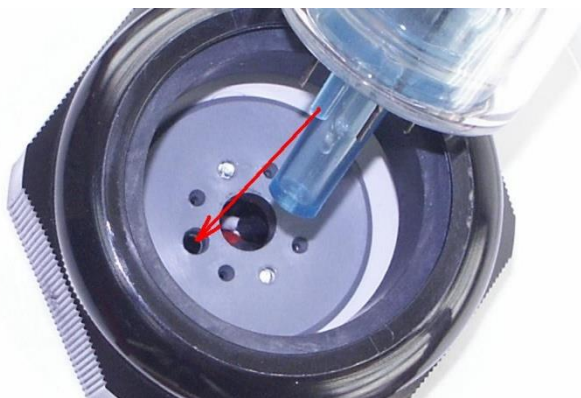


Fig. 1: Inserción del tubo

- Con una presión leve se presiona el tubo hacia abajo hasta que éste quede asentado.
- **Observación:** Se mide y se transfiere al tubo la altura desde el zócalo hasta la tuerca de racor. En esta forma se puede reconocer si el tubo descansa bien en el zócalo.
- La tuerca de racor se aprieta bien con la mano girando hacia la derecha, teniendo en cuenta la orientación perpendicular del tubo.

Atención: ¡Si el tornillo moleteado no se encuentra bien apretado el tubo no está asegurado y se puede salir y caer durante el transporte!



Fig. 2: Tubo insertado

7.2 Ajuste del haz de electrones

- El aparato control para el haz fino se lleva a un recinto bien oscurecido.
- Se orienta el tubo como se muestra arriba (Dirección del cañón de electrones perpendicular al campo magnético de las bobinas de Helmholtz). Advertencia sobre la rotación del tubo, véase el punto 7.3.
- El regulador de ajuste de la tensión de caldeo se lleva a una posición intermedia (aprox. 6 V).
- Regulador para la corriente por las bobinas se lleva al tope izquierdo, es decir 0 A.
- Se espera aprox. 1 minuto hasta que la temperatura del filamento incandescente se estabilice.
- Se aumenta lentamente la tensión de ánodo hasta max. 300 V. (el haz de electrones es inicialmente horizontal y se hace visible en forma de una luz azul tenue).
- Elija la tensión de Wehnelt de manera que, en lo posible, se vea un haz de rayos delgado y nítidamente limitado.
- Optime la nitidez y la claridad del haz de rayos variando la tensión de calefacción.
- Eleve la corriente I_H que circula por las bobinas de Helmholtz y compruebe si el haz de electrones se curva hacia arriba.
- Si el haz se desvía hacia abajo, se gira el tubo en 180°.
- Se sigue aumentando la corriente de bobinas y se comprueba si el haz de electrones forma una trayectoria circular cerrada. Si no es el caso, se gira un poco el tubo.
- Se realiza el experimento como se describe abajo.

7.3 Girar el tubo

El tubo se encuentra fijo en un zócalo que se puede girar en un rango de -10° hasta 270°.

- Para girar el tubo se afloja el tornillo moleteado. ¡No se desenrosca!
- Para ello **no** se gira en el tubo sino en el plato giratorio o en la tuerca de racor.
- Se vuelve a apretar el tornillo moleteado.

Atención: ¡Con el tornillo moleteado completamente desatornillado el tubo no está asegurado y se puede salir y caer durante el transporte!

7.4 Reemplazo de fusibles

- Desconecte la alimentación de corriente. Es imprescindible que también desconecte el enchufe de la red.
- Se saca el portafusibles en la parte de atrás del aparato de red utilizando un destornillador plano (ver Fig. 3).
- Se apalanca el destornillador por el lado del enchufe para aparatos en frío.
- Se reemplaza el fusible y el portafusibles se vuelve a insertar a presión.



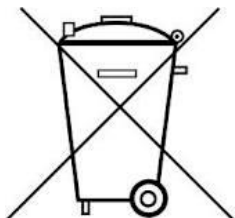
Fig. 3: Reemplazo de fusibles

8. Cuidado y mantenimiento

- Antes de la limpieza el aparato se separa del suministro de corriente.
- Para limpiarlo se utiliza un trapo suave húmedo.

9. Desecho

- El embalaje se desecha en los lugares locales para reciclaje.
- En caso de que el propio aparato se deba desechar como chatarra, no se debe deponer entre los desechos domésticos normales. Se deben cumplir las prescripciones locales para el desecho de chatarra eléctrica.



10. Ejemplo de experimento

Determinación de la carga específica e/m del electrón

- Se ajusta la corriente de bobinas hasta que el radio de la órbita quede en p.ej. 5 cm. Anote los valores de ajuste.
- Disminuya la tensión anódica, en pasos de 20 V, hasta llegar a 200 V; en cada caso, seleccione la corriente de la bobina I_H de manera que el radio se mantenga constante y anote estos valores.
- Realice más series de mediciones para los radios de órbita circular de 4 cm y 3 cm.
- Para la evaluación ulterior se llevan los valores de medida a un diagrama $r^2 B^2 - 2U$.

La pendiente de la recta que pasa por el origen de coordenadas corresponde a e/m .

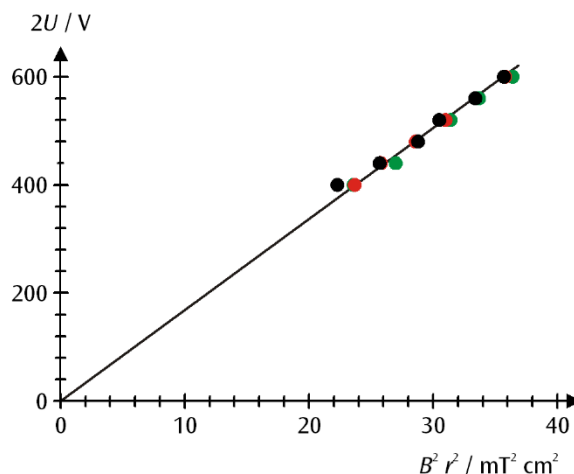


Fig. 4 Diagrama $r^2 B^2 / 2U$ de los valores de medición (negro: $r = 5$ cm, rojo: $r = 4$ cm, verde: $r = 3$ cm)

Ensemble compact pour la détermination de la charge spécifique de l'électron e/m avec tube à faisceau fin 8001324

Instructions d'utilisation

04/26 HJB



1. Consignes de sécurité

L'appareil d'exploitation de tube à pinceau étroit correspond aux dispositions de sécurité pour les appareils électriques de mesure, de commande, de réglage et de laboratoire d'après la norme DIN EN 61010, 1ère partie, et à la classe de protection 1. Il est prévu pour être exploité dans des pièces sèches convenant à des équipements ou dispositifs électriques.

En cas d'utilisation conforme, l'exploitation sûre de l'appareil est garantie. En revanche, la sécurité n'est pas garantie si l'appareil n'est pas commandé dans les règles ou manipulé sans attention.

S'il s'avère qu'une exploitation peu sûre n'est plus possible, mettez l'appareil immédiatement hors service (par ex. en présence de dommages apparents) et protégez-le contre toute remise en service.

Dans les écoles et les établissements de formation, l'utilisation de l'appareil doit être surveillée par un personnel formé.

- Des tensions dangereuses peuvent apparaître à hauteur du socle du tube à pinceau pendant l'utilisation de l'appareil.
- N'utiliser l'appareil que lorsque le tube est monté.
- Ne montez et ne démontez le tube qu'après avoir mis l'appareil d'alimentation hors tension.
- Ne branchez l'appareil qu'à des prises de courant avec mise à la terre du neutre.
- Remplacer un fusible défectueux uniquement par un fusible correspondant à l'une des valeurs d'origine (voir au dos du boîtier).
- Débrancher la prise secteur avant d'effectuer le remplacement du fusible.
- Ne jamais court-circuiter un fusible ou un porte-fusibles.
- Ne jamais obturer les grilles d'aération du boîtier afin de garantir une circulation d'air suffisante au refroidissement des composants à l'intérieur de l'appareil.

Les tubes thermoioniques sont des cônes en verre à paroi mince sous vide. Manipulez-les avec précaution : risque d'implosion !

- N'exposez pas le tube à des charges mécaniques.
- Avant de régler la tension anodique patienter pendant env. 1 minute, jusqu'à ce que la température du filament soit stabilisée.

Pendant l'utilisation du tube, son col chauffe.

- Laisser refroidir le tube avant de le ranger.

2. Description

Appareil d'exploitation de tube à pinceau étroit

L'appareil d'exploitation de tube à pinceau étroit sert, en association avec le tube à pinceau étroit T (1024632), à la détermination quantitative de la charge spécifique de l'électron et à l'étude de la déviation de faisceaux électroniques dans un champ magnétique homogène.

La paire de bobines de Helmholtz est fixée sur l'appareil et le tube à pinceau étroit interchangeable est posé sur un socle pivotant à 270°. Tous deux sont raccordés à l'appareil d'exploitation sans qu'il n'y ait besoin d'un câblage externe. Tous les courants d'alimentation du tube de même que le courant traversant les bobines Helmholtz sont réglables. La tension des anodes et le courant des bobines sont indiqués sur un cadran numérique et peuvent être prélevés comme valeurs d'équivalence de courant.

Tube à pinceau étroit T

Dans le tube à pinceau étroit, un système de rayon électronique constitué d'une cathode à oxyde chauffée indirectement, d'une anode perforée et d'un cylindre Wehnelt génère une focalisation d'électrons fortement limitée. dans une atmosphère résiduelle d'hélium avec une pression gazeuse réglée précisément. Par ionisation par choc d'atomes d'hélium, on obtient une trace lumineuse très clair et également fortement limitée de l'orbite électronique dans le tube. Lorsque le tube est idéalement orienté et que le courant passant dans les bobines Helmholtz est adapté, les électrons sont déviés sur une orbite. Leur diamètre est facile à déterminer lorsque les électrons rencontrent précisément une marque de mesure équidistante, si bien que leur extrémité brille.

L'appareil d'exploitation de tube à pinceau étroit (1009948) sert à exploiter le tube à pinceau étroit.

3. Contenu du colis

a) Appareil d'exploitation de tube à pinceau étroit

- 1 Appareil d'exploitation
- 1 Jeu de câbles de raccordement secteur EU, UK, US
- 1 Instructions d'utilisation

b) Tube à pinceau étroit T

- 1 Tube à pinceau étroit
- 1 Instructions d'utilisation

4. Caractéristiques techniques

a) Appareil d'exploitation de tube à pinceau étroit

Couple de bobines Helmholtz :

- Diamètre des bobines : env. 300 mm
- Nombre de spires : 124
- Champ magnétique : 0 – 3,4 mT (0,75 mT/A)

Appareil d'exploitation :

- Courant de la bobine : 0 – 4,5 A
- Sortie de mesure : $U_{OUT} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$
- Tension d. anodes : 15 – 300 V, 10 mA max.

- Sortie de mesure : $U_{OUT} = \frac{U_A}{100}$

Tension de chauffage : 5 – 7 V CC, 1 A max.

Tension Wehnelt : 0 – -50 V

Affichage : Affichage numérique LED à 3 chiffres du courant des bobines et de la tension des anodes

Précision

Affichage : 1% + 2 chiffres

Sorties de mesure : 1%

Connexions

Sorties de mesure : Douilles de sécurité 4 mm

Informations générales :

Angle de rotation

du tube : -10° – 270°

Tension de

raccordement : 100 – 240 V, 50/60 Hz

Câble de

raccordement : EU, UK et US

Dimensions : env. 310 x 275 x 410 mm³

Poids : env. 7,5 kg

b) Tube à pinceau étroit T

Remplissage de gaz : hélium

Pression du gaz : 0,13 hPa

Diamètre du piston : 165 mm

Diamètre de l'orbite : 20 – 120 mm

Distance entre les

marques de mesure : 20 mm

5. Notions de base generales

Sur un électron se déplaçant à une vitesse v perpendiculairement par rapport à un champ magnétique uniforme B , la force de Lorentz agit perpendiculairement par rapport à la vitesse et au champ magnétique.

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

e : charge élémentaire

Elle soumet en tant que force centripète l'électron

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

m : masse de l'électron

sur une trajectoire circulaire au rayon r . D'où en dé-coule

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

La vitesse v dépend de la tension d'accélération U du canon à électrons :

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

Pour la charge spécifique de l'électron, l'équation susmentionnée s'applique alors :

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

Si, étant donnés différentes tensions d'accélération U et différents champs magnétiques B , nous mesurons les rayons respectifs r d'une trajectoire circulaire, les valeurs mesurées s'inscrivent alors dans un diagramme $r^2 B^2 - 2U$ conformément à l'équation (5) sur une droite d'origine dont la pente est e / m .

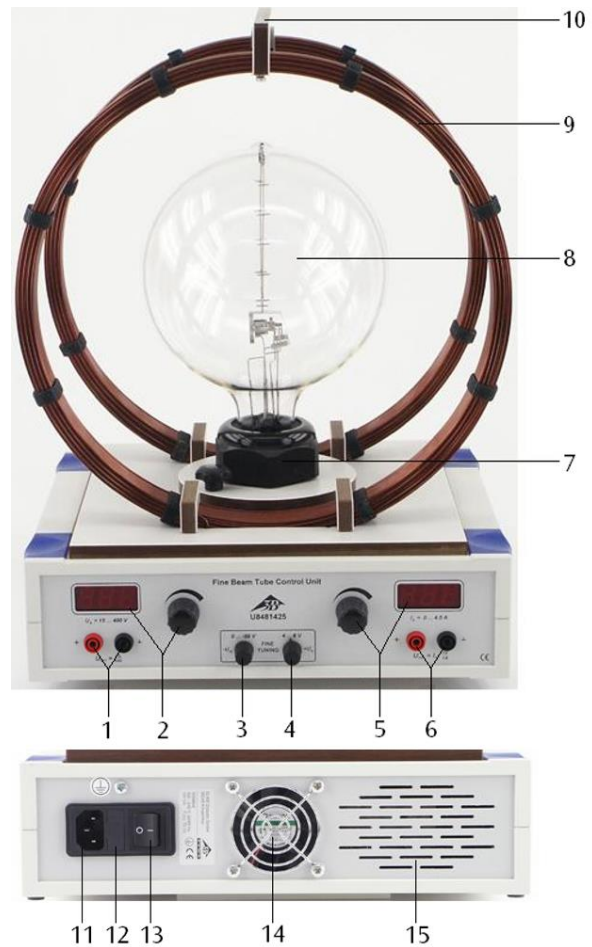
Le champ magnétique B est généré dans une paire de bobines de Helmholtz ; sa valeur est proportionnelle au courant I_H parcourant une seule bobine. Il sera possible de calculer le facteur de proportionnalité k à partir du rayon de la bobine $R = 147,5 \text{ mm}$ et du nombre de spires $N = 124$ par bobine :

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

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

L'ensemble des grandeurs déterminantes étant par là connues pour cette charge élémentaire spécifique.

6. Éléments de commande de l'appareil d'exploitation



- 1 Sortie de mesure de la tension d'accélération
- 2 Régulateur et affichage de la tension d'accélération
- 3 Régulateur de tension Wehnelt
- 4 Régulateur de la tension de chauffage
- 5 Régulateur et affichage du courant de la bobine
- 6 Sortie de mesure du courant de la bobine
- 7 Socle pivotant
- 8 Tube à pinceau étroit T (1024632)
- 9 Bobines Helmholtz
- 10 Poignée de transport
- 11 Alimentation de secteur
- 12 Porte-fusibles
- 13 Interrupteur secteur
- 14 Ventilateur
- 15 Fentes d'aération

7. Manipulation

7.1 Montage du tube à pinceau étroit

- Visser l'écrou-raccord en le tournant vers la gauche.
- Vérifier que le tube à pinceau étroit ne présente pas de mauvais contact
- Positionner le tube à la verticale, tout en vérifiant l'orientation des broches et de la broche de codage ! (cf. fig. 1).

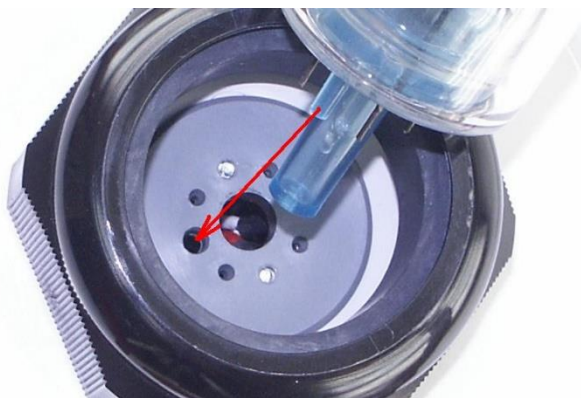


Fig. 1: Positionnement du tube

- effectuer une légère pression vers le bas sur le tube jusqu'à ce qu'il soit bien en place.
- **Précision** : Mesurer la hauteur entre le socle et le bord supérieur de l'écrou-raccord et la reporter sur le tube. Ceci permet de vérifier si le tube est bien posé sur le socle.
- Bien serrer l'écrou raccord en le tournant vers la droite, tout en s'assurant que le tube reste à la verticale.

Attention : Si la vis moletée n'est pas serrée, le tube n'est pas fixé et risque de tomber lors du transport !



Fig. 2: Tube mis en place

7.2 Calibrage du faisceau d'électrons

- Placer l'appareil d'exploitation du tube à pinceau étroit dans une pièce très obscurcie.
- Orienter le tube comme sur la figure ci-dessus (les canons électroniques doivent être perpendiculaires au champ magnétique des bobines Helmholtz). Pour avoir des informations sur la rotation du tube, se reporter au point 7.3.
- Placer le régulateur de la tension de chauffage en position centrale (env. 6 V).
- Placer le régulateur du courant de la bobine contre la butée gauche, donc sur 0 A.
- Attendre environ 1 minute jusqu'à la stabilisation de la température de la spirale chauffante.
- Augmenter lentement la tension anodique jusqu'à max. 300 V (le rayon d'électrons se présentant d'abord verticalement sera visualisé par une faible lumière bleutée).
- La tension Wehnelt devra être choisie de manière à pouvoir visualiser un faisceau de rayons aussi mince et aussi nettement limité que possible.
- Optimisez la définition et la luminosité du faisceau de rayons en variant la tension de chauffage.
- Augmentez l'intensité du courant I_H de la bobine qui parcourt les bobines de Helmholtz et vérifiez si le rayon d'électrons présente une courbure vers le haut.
- Si le rayon est dévié vers le bas, faire pivoter le tube de 180°.
- Continuer à augmenter l'intensité du courant dans la bobine et vérifier si le rayon d'électrons forme une trajectoire circulaire fermée sur elle-même. Le cas échéant, faire légèrement pivoter le tube.
- Réaliser l'expérience en suivant les instructions ci-dessous.

7.3 Faire pivoter le tube

Le tube est fixé sur un socle pivotant de -10° à 270°.

- Pour faire pivoter le tube, desserrer la vis moletée. **Ne pas la dévisser !**
- Ne **pas** tourner au niveau du tube, mais au niveau du socle pivotant ou de l'écrou raccord.
- Resserrer la vis moletée.

Attention : Lorsque la vis moletée est entièrement enlevée, le tube n'est pas fixé et risque de tomber lors du transport !

7.4 Remplacement de fusible

- Couper l'alimentation électrique et retirer impérativement la fiche secteur.
- Retirer le porte-fusibles situé à l'arrière de l'appareil secteur, à l'aide d'un tournevis plat (cf. fig. 3).
- Passer le tournevis du côté de la prise secteur avec terre.
- Remplacer le fusible et remettre le porte-fusibles en place.



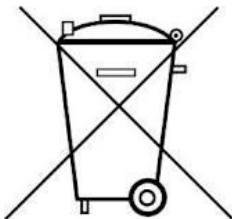
Fig. 3: Remplacement de fusible

8. Entretien et maintenance

- Débrancher l'appareil avant le nettoyage.
- Utiliser un chiffon doux et humide.

9. Traitement des déchets

- L'emballage doit être déposé aux centres de recyclage locaux.
- Si l'appareil doit être jeté, ne pas le jeter dans les ordures ménagères. Il est important de respecter les consignes locales relatives au traitement des déchets électriques.



10. Exemple d'expérience

Détermination de la charge spécifique e/m de l'électron

- Choisir le courant de bobine de sorte que le rayon du chemin circulaire soit par exemple de 5 cm, puis notez la valeur réglée.
- Réduisez (en incréments de 20 V) la tension de l'anode à 200 V, en choisissant chaque fois l'intensité du courant I_H de la bobine afin que le rayon reste constant, puis notez ces valeurs.
- Enregistrez d'autres séries de mesure pour des rayons d'une trajectoire circulaire aux valeurs de 4 cm et de 3 cm.
- Pour évaluer les mesures, reportez les valeurs dans un diagramme $r^2 B^2 - 2U$.

La rampe de la droite d'origine correspond à e/m .

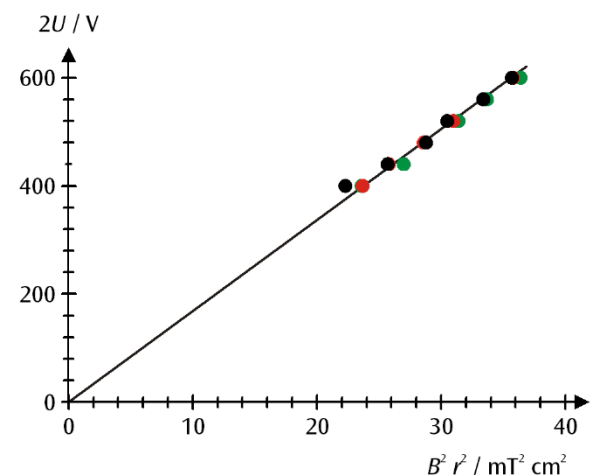


Fig. 4 Diagramme $r^2 B^2 - 2U$ des valeurs mesurées
(noir : $r = 5$ cm, rouge : $r = 4$ cm, vert : $r = 3$ cm)

Sistema completo compatto per la determinazione della carica specifica dell'elettrone e/m con tubo a fascio filiforme 8001324

Istruzioni per l'uso

09/26 HJB



1. Norme di sicurezza

L'apparecchio tubo a fascio elettronico risponde alle disposizioni di sicurezza per apparecchi elettrici di misura, di comando, di regolazione e da laboratorio della norma DIN EN 61010 parte 1 ed è realizzato in base alla classe di protezione I. L'apparecchio è pensato per l'utilizzo in ambienti asciutti, adatti per strumenti o dispositivi elettrici.

Un utilizzo conforme garantisce il funzionamento sicuro dell'apparecchio. La sicurezza non è tuttavia garantita se l'apparecchio non viene utilizzato in modo appropriato o non viene trattato con cura.

Se si ritiene che non sia più possibile un funzionamento privo di pericoli, l'apparecchio deve essere messo immediatamente fuori servizio (ad es. in caso di danni visibili) e al sicuro da ogni funzionamento involontario.

Nelle scuole e negli istituti di formazione l'utilizzo dell'apparecchio deve essere controllato responsabilmente da personale addestrato.

Durante il funzionamento dell'apparecchio, sullo zoccolo del tubo possono essere presenti tensioni che rendono pericoloso il contatto.

- Utilizzare sempre l'apparecchio solo se il tubo è inserito.
- Montare e smontare il tubo soltanto con l'alimentatore disinserito.
- Collegare l'apparecchio solo a prese con conduttore di protezione collegato a terra.
- Sostituire il fusibile difettoso solo con un fusibile corrispondente al valore originale (v. retro dell'alloggiamento).
- Prima di sostituire i fusibili, scollegare la spina di rete.
- Non mettere mai in cortocircuito il fusibile o il portafusibili.
- Lasciare sempre libere le fessure di ventilazione sul retro dell'alloggiamento, per assicurare una sufficiente circolazione dell'aria per il raffreddamento dei componenti interni.

I tubi catodici incandescenti sono bulbi in vetro a pareti sottili, sotto vuoto. Maneggiare con cura: rischio di implosione!

- Non esporre i tubi a sollecitazioni meccaniche.
- Attendere ca. 1 minuto prima di impostare la tensione anodica, finché si stabilizza la temperatura della spirale di riscaldamento.

Durante il funzionamento il collo del tubo si riscalda.

- Lasciare raffreddare il tubo prima di rimuoverlo.

2. Descrizione

Apparecchio tubo a fascio elettronico

L'apparecchio tubo a fascio elettronico viene utilizzato, in abbinamento al tubo a fascio elettronico T (1024632), per determinare la carica specifica dell'elettrone e per analizzare la deflessione di fasci elettronici in un campo magnetico omogeneo.

Le bobine di Helmholtz sono fissate sull'apparecchio e il tubo a fascio elettronico intercambiabile si trova su uno zoccolo ruotabile di 270°. Entrambi sono collegati internamente all'apparecchio, non è necessario alcun cablaggio esterno. Tutte le tensioni di comando del tubo e la corrente che attraversa le bobine di Helmholtz sono regolabili. La tensione anodica e la corrente delle bobine vengono visualizzate in maniera digitale e possono inoltre essere rilevate come valori equivalenti.

Tubo a fascio elettronico T

Nel tubo a fascio elettronico, un sistema di fasci di elettroni composto da un catodo degli ossidi riscaldato indirettamente, un anodo vuoto e un cilindro di Wehnelt genera un fascio elettronico dai contorni nitidi in atmosfera con gas residuo all'elio e pressione del gas regolata in modo preciso. La ionizzazione d'urto di atomi di elio forma una traccia chiarissima e dai contorni precisi dell'orbita degli elettroni nel tubo. In condizioni di inclinazione ottimale del tubo e corrente adeguata attraverso le bobine di Helmholtz, gli elettroni vengono deviati su una guida circolare. Il rispettivo diametro è facilmente individuabile se gli elettroni si incontrano esattamente su una delle tacche equidistanti di misurazione, illuminandone l'estremità.

Per il funzionamento del tubo a fascio elettronico occorre un apparecchio tubo a fascio elettronico (1009948).

3. Dotazione

a) Apparecchio tubo a fascio elettronico

- 1 Apparecchio
- 1 Kit di cavi di allacciamento EU, UK, US
- 1 Istruzioni per l'uso

b) Tubo a fascio elettronico T

- 1 Tubo a fascio elettronico
- 1 Istruzioni per l'uso

4. Dati tecnici

a) Apparecchio tubo a fascio elettronico

Coppia di bobine di Helmholtz:

- Diametro bobina: circa 300 mm
- Numero di spire: 124
- Campo magnetico: da 0 a 3,4 mT (0,75 mT/A)

Apparecchio:

- Corrente della bobina: da 0 a 4,5 A
- Uscita di misura: $U_{OUT} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$
- Tensione anodo: da 15 a 300 V, 10 mA max.
- Uscita di misura: $U_{OUT} = \frac{U_A}{100}$
- Tensione di accensione: da 5 a 7 V CC, 1 A max.
- Tensione di Wehnelt: da 0 a -50 V
- Display: display LED digitale a 3 cifre per corrente di bobina e tensione anodica
- Precisione display: 1% + 2 digit
- uscite di misura: 1%
- Attacchi
- uscite di misura: jack di sicurezza da 4 mm

Dati generali:

- Angolo di rotazione per tubo: da -10° a +270°
- Tensione di alimentazione: 100 – 240 V, 50/60 Hz
- Cavo di allacciamento alla rete: EU, UK e US
- Dimensioni: ca. 310x275x410 mm³
- Peso: ca. 7,5 kg

b) Tubo a fascio elettronico T

- Gas: elio
- Pressione gas: 0,13 hPa
- Diametro pistone: 165 mm
- Diametro guida circolare: da 20 a 120 mm
- Distanza tra le tacche di misurazione: 20 mm

5. Basi generali

Su un elettrone che si sposta verticalmente rispetto ad un campo magnetico omogeneo B alla velocità v , ortogonalmente rispetto alla velocità e al campo magnetico agisce la forza di Lorentz

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

e : carica fondamentale

Spinge l'elettrone come forza centripeta

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

m : massa elettronica

su una guida circolare con il raggio r . Pertanto, si ha

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

La velocità v dipende dalla tensione di accelerazione U del cannone elettronico:

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

Per la carica specifica dell'elettrone vale quindi:

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

Se per tensioni di accelerazione diverse U e per campi magnetici diversi B si misura rispettivamente il raggio della guida circolare r , i valori di misura in un diagramma $r^2 B^2 - 2U$ secondo l'equazione (5) si trovano su una retta di origine con incremento e/m .

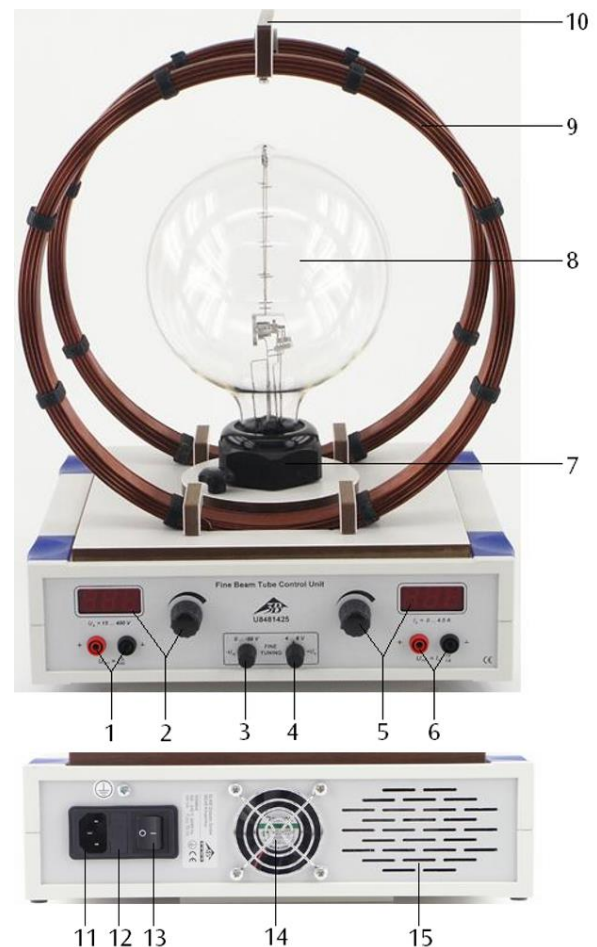
Il campo magnetico B viene generato in una coppia di bobine di Helmholtz ed è proporzionale alla corrente I_H attraverso una singola bobina. Il fattore di proporzionalità k può essere calcolato sulla base del raggio della bobina $R = 147,5$ mm e del numero di spire $N = 124$ per bobina:

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

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

Pertanto, tutte le grandezze di determinazione per la carica elettronica specifica sono note.

6. Elementi di comando dell'apparecchio



- 1 Uscita di misura per tensione di accelerazione
- 2 Regolatore e display tensione di accelerazione
- 3 Regolatore tensione di Wehnelt
- 4 Regolatore tensione di riscaldamento
- 5 Regolatore e display corrente di bobina
- 6 Uscita di misura per corrente di bobina
- 7 Zoccolo ruotabile
- 8 Tubo a fascio elettronico T (1024632)
- 9 Bobine di Helmholtz
- 10 Maniglia di trasporto
- 11 Collegamento alla rete
- 12 Portafusibili
- 13 Interruttore di rete
- 14 Ventola
- 15 Fessure di ventilazione

7. Comandi

7.1 Montaggio del tubo a fascio elettronico

- Avvitare il dado a risvolto ruotando verso sinistra.
- Controllare che il tubo a fascio elettronico non presenti contatti piegati.
- Inserire il tubo perpendicolarmente rispettando il corretto orientamento degli spinotti di contatto e prestando attenzione al pin di codifica! (vedere la fig. 1).

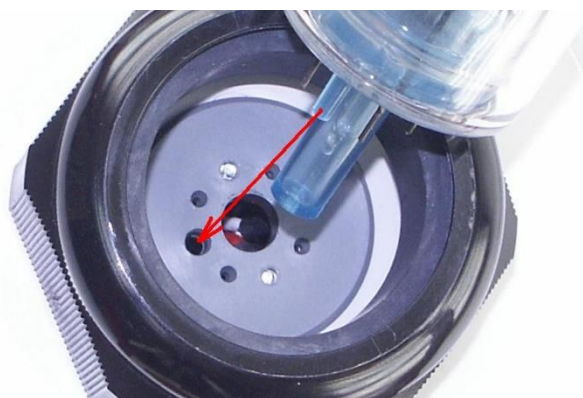


Fig. 1: Inserimento del tubo

- Premendo leggermente, spingere il tubo verso il basso fino all'appoggio.
- **Nota:** Misurare l'altezza dallo zoccolo fino al bordo superiore del dado a risvolto e riportare al tubo. In questo modo sarà possibile riconoscere se il tubo è ben inserito nello zoccolo.
- Serrare con robustezza il dado a risvolto ruotando verso destra, facendo attenzione a rispettare l'allineamento verticale del tubo.

Attenzione: Se la vite a testa zigrinata non è ben serrata, il tubo non è bloccato in modo sicuro e durante il trasporto potrebbe cadere!



Fig. 2: Tubo inserito

7.2 Regolazione del fascio elettronico

- Portare l'apparecchio tubo a fascio elettronico in una stanza oscurata.
- Posizionare il tubo come sopra raffigurato (direzione del tubo d'urto di elettroni perpendicolare al campo magnetico delle bobine di Helmholtz). Nota sulla rotazione del tubo vedere punto 7.3.
- Portare il regolatore della tensione di riscaldamento in posizione intermedia (circa 6 V).
- Posizionare il regolatore della corrente di bobina sulla battuta sinistra, quindi su 0 A.
- Attendere ca. 1 minuto finché si stabilizza la temperatura della spirale di riscaldamento.
- Aumentare lentamente la tensione anodica fino a massimo 300 V (il fascio elettronico inizialmente orizzontale viene reso visibile da una debole luce blu).
- Selezionare la tensione di Wehnelt in modo che si possa vedere un sottilissimo fascio di raggi dai contorni nitidi.
- Ottimizzare la nitidezza e la luminosità del fascio di raggi modificando la tensione di riscaldamento.
- Aumentare la corrente di bobina IH agendo sulle bobine di Helmholtz e controllare se il fascio elettronico si incurva verso l'alto.
- Se il fascio viene deviato verso il basso, ruotare il tubo di 180°.
- Aumentare ulteriormente la corrente di bobina e controllare se il fascio elettronico genera una guida circolare chiusa in se stessa. Eventualmente ruotare leggermente il tubo.
- Eseguire l'esperimento come sotto descritto.

7.3 Rotazione del tubo

Il tubo è fissato su uno zoccolo ruotabile da -10° fino a 270°.

- Per ruotare il tubo, allentare la vite a testa zigrinata. **Non svitare!**
- A tale scopo, **non** ruotare il tubo, bensì il piatto girevole o il dado a risvolto.
- Serrare nuovamente la vite a testa zigrinata.

Attenzione: se la vite a testa zigrinata non è del tutto serrata, il tubo non è bloccato in modo sicuro e durante il trasporto potrebbe cadere!

7.4 Sostituzione dei fusibili

- Disconnettere l'alimentazione elettrica ed estrarre assolutamente la spina.
- Estrarre il portafusibili sul retro dell'alimentatore utilizzando un cacciavite piatto (vedere fig. 3).
- Applicare il cacciavite dal lato del connettore a freddo.
- Sostituire il fusibile e reinserire il supporto.



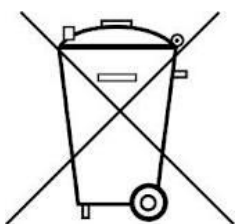
Fig. 3: Sostituzione dei fusibili

8. Cura e manutenzione

- Prima della pulizia, scollegare l'apparecchio dall'alimentazione.
- Per la pulizia utilizzare un panno morbido e umido.

9. Smaltimento

- Smaltire l'imballo presso i centri di raccolta e riciclaggio locali.
- Non gettare l'apparecchio nei rifiuti domestici. Per lo smaltimento delle apparecchiature elettriche, rispettare le disposizioni vigenti a livello locale.



10. Esempi di esperimenti

Determinazione della carica specifica e/m dell'elettrone

- Impostare la corrente di bobina in modo che il raggio della guida circolare sia di 5 cm e annotare il valore impostato.
- Ridurre la tensione anodica in fasi da 20 V fino a 200 V, quindi impostare la corrente di bobina I_H in modo che il raggio rimanga costante e annotare questi valori.
- Registrare ulteriori serie di misurazioni per i raggi da 4 cm e 3 cm della guida circolare.
- Per un'ulteriore analisi, riportare i valori di misura in un diagramma $r^2 B^2 - 2U$.

L'incremento delle rette di origine corrisponde a e/m .

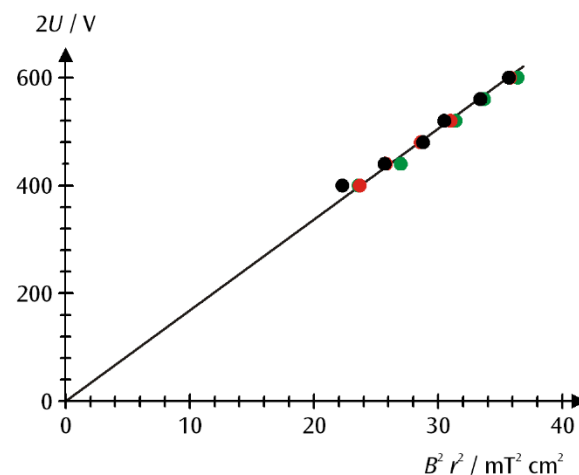


Fig. 4 Diagramma $r^2 B^2 - 2U$ dei valori di misura (nero: $r = 5$ cm, rosso: $r = 4$ cm, verde: $r = 3$ cm)

Sistema completo compacto para a determinação da carga específica do elétron e/m com tubo de raios de feixe estreito 8001324

Instruções de operação

09/26 HJB



1. Indicações de segurança

O aparelho de operação do tubo de raios de feixe estreito cumpre as normas de segurança para aparelhos elétricos de medição, controle, regulação e de laboratório da DIN EN 61010 parte 1 e é construído conforme a classe de segurança I. Ele está previsto para a operação em espaços secos, que estejam preparados para aparelhagem ou instalação elétrica.

Se a operação do aparelho ocorre conforme as instruções de uso, a segurança está então garantida. A segurança, porém, não estará garantida se o aparelho for utilizado de forma errônea ou se for manipulado sem a devida atenção.

Se houver razões para considerar que a operação segura não é mais possível, deve-se desligar imediatamente o aparelho (por exemplo, no caso de danos visíveis) e protegê-lo contra uma utilização indevida.

Em escolas e institutos de formação a operação do aparelho deve ser monitorada por pessoal qualificado.

Durante a operação do aparelho no soquete do tubo podem encontrar-se tensões perigosas ao toque.

- Operar o aparelho sempre com o tubo inserido.
- Montar e desmontar o tubo somente com a fonte de alimentação desligada.
- Só conectar o aparelho em tomada com condutor de proteção aterrado.
- Substituir os fusíveis defeituosos só com um fusível correspondente ao valor do fusível original (ver parte posterior do aparelho).
- Desconectar da tomada antes de trocar o fusível.
- Nunca provocar curto-circuito com o fusível ou com o suporte do fusível.
- Deixar livres as fendas de ventilação na armação do aparelho de modo a garantir a circulação do ar necessária para o esfriamento dos componentes internos.

Tubos catódicos incandescentes são ampolas de vidro evacuadas de paredes finas, manusear com cuidado: risco de implosão!

- Não sujeitar os tubos a qualquer tipo de esforço físico.
- Esperar aprox. 1 minuto antes de ligar, até que a temperatura da espiral de aquecimento se estabilize.

Durante o funcionamento, o gargalo do tubo se aquece.

- Deixar esfriar o tubo antes guardá-lo.

2. Descrição

Aparelho de operação do tubo de raios de feixe estreito

O aparelho de operação de tubo de raios de feixe estreito serve em conexão com o tubo de raios de feixe estreito T (1024632) para a determinação da carga específica do elétron, assim como para

a análise do desvio de raios de elétrons no campo magnético homogêneo.

As bobinas de Helmholtz estão montadas firmemente sobre o aparelho e o tubo de raios de feixe estreito intercambiável encontra-se sobre um soquete rotativo em 270°. Ambos estão conectados internamente ao aparelho de operação, sem que seja necessária uma conexão de cabos externos. Todas as tensões de alimentação do tubo assim como a corrente através das bobinas de Helmholtz podem ser ajustadas. A tensão de anodo e corrente das bobinas é indicada digitalmente e podem ser coletadas adicionalmente como valores equivalentes de tensão.

Tubo de raios de feixe estreito T

No tubo de raio de feixe estreito um sistema de raios de elétron, que é composto de um cátodo de óxido aquecido indiretamente, de um anodo de colimador e de um cilindro de Wehnelt, produz um feixe luminoso de elétrons de contornos nítidos numa atmosfera de gás Hélio residual com pressão de gás ajustada com precisão. Através de ionização de choque de átomos de hélio se produz um rasto igualmente altamente luminoso e de contornos nítidos da pista de elétrons no tubo. No arranjo otimizado do tubo e corrente adequada através das bobinas de Helmholtz os elétrons são desviados para uma órbita circular. Seu diâmetro pode-se determinar facilmente se os elétrons colidam exatamente sobre as marcas de medição equidistantes, de maneira que os seus terminais se iluminam.

Para a operação do tubo de raios de feixe estreito serve o aparelho de operação de raios de feixe estreito (1009948).

3. Fornecimento

a) Aparelho de operação do tubo de raios de feixe estreito

- 1 Aparelho de operação
- 1 Conjunto de cabos para fontes de alimentação EU, UK, US
- 1 Instruções para o uso

b) Tubo de raios catódicos de feixe estreito T

- 1 Tubo de raios de feixe estreito
- 1 Instruções para o uso

4. Dados técnicos

a) Aparelho de operação do tubo de raios de feixe estreito

Par de bobinas de Helmholtz:

- Diâmetro das bobinas: aprox. 300 mm
- Número de espiras: 124
- Campo magnético: 0 – 3,4 mT (0,75 mT/A)

Aparelho de operação:

- Corrente das bobinas: 0 – 4,5 A
- Saída de medição: $U_{OUT} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$
- Tensão dos anodos: 15 – 300 V, 10 mA máx.
- Saída de medição: $U_{OUT} = \frac{U_A}{100}$
- Tensão de aquecimento: 5 – 7 V DC, 1 A máx.
- Tensão de Wehnelt: 0 – -50 V
- Display: Display LED digital de 3 dígitos para a corrente de bobinas e a tensão de anodos
- Precisão do display: 1% + 2 dígitos
- saídas de medição: 1%
- Conexões de saídas de medição: Tomadas de segurança de 4 mm

Dados gerais:

- Ângulo de rotação do tubo: -10° – 270°
- Fonte de alimentação: 100 – 240 V, 50/60 Hz
- Cabos da fonte de alimentação: EU, UK e US
- Dimensões: aprox. 310x275x410 mm³
- Massa: aprox. 7,5 kg

b) Tubo de raios catódicos de feixe estreito T

- Preenchimento gasoso: Hélio
- Pressão do gás: 0,13 hPa
- Diâmetro do êmbolo: 165 mm
- Diâmetro da órbita: 20 – 120 mm
- Afastamento das marcas de medição: 20 mm

5. Fundamentos gerais

Sobre um elétron que se move com velocidade v perpendicularmente a um campo magnético B , age a força de Lorentz perpendicularmente à velocidade do campo magnético

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

e : carga elementar

Ele impele o elétron como força centrípeta

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

m : massa de elétrons

numa órbita de raio r . Por isso é

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

A velocidade v depende da tensão de aceleração U do canhão de elétrons:

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

Para a carga específica do elétron é válido:

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

Se for medido a cada vez o raio de órbita r para diversas tensões de aceleração U e diferentes campos magnéticos B , assim os valores medidos se encontram num diagrama $r^2 B^2 - 2U$ conforme Gl. (5) numa reta de origem com a inclinação e/m .

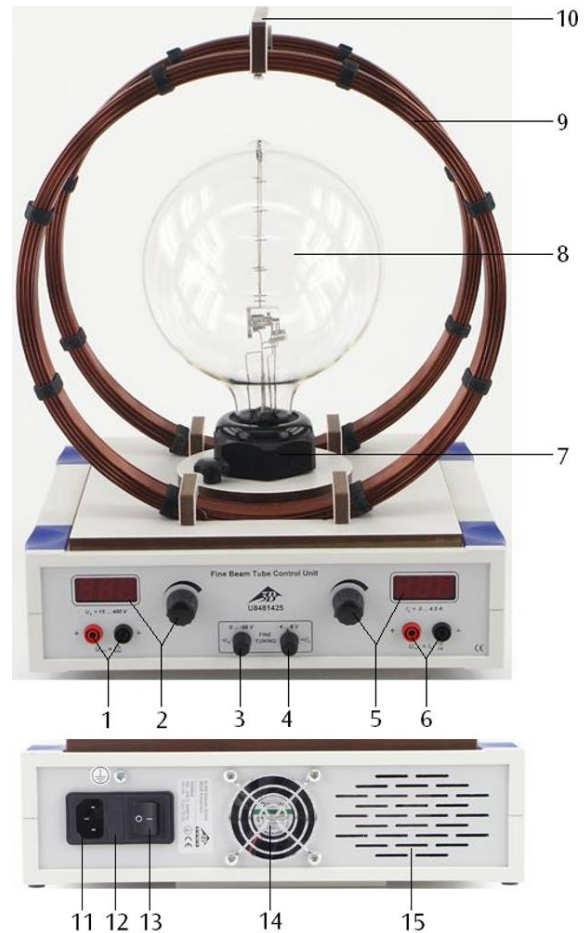
O campo magnético B é criado num par de bobinas de Helmholtz e é proporcional à corrente I_H através de uma só bobina. O fator de proporcionalidade k pode ser calculado a partir do raio de bobina $R = 147,5 \text{ mm}$ e do número de espiras $N = 124$ por bobina:

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

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

Com isto, todas as grandezas determinantes para a carga específica do elétron são conhecidas.

6. Elementos de comando do aparelho de operação



- 1 Saída de medição para a tensão de aceleração
- 2 Comando de ajuste e display da tensão de aceleração
- 3 Comando de ajuste da tensão de Wehnelt
- 4 Comando de ajuste da tensão de aquecimento
- 5 Comando de ajuste e display da corrente de bobinas
- 6 Saída de medição para a corrente de bobinas
- 7 Soquete rotativo
- 8 Tubo de raios de feixe estreito T (1024632)
- 9 Bobinas de Helmholtz
- 10 Alça para transporte
- 11 Conexão de rede elétrica
- 12 Suporte de fusíveis
- 13 Comutador de rede
- 14 Ventilador
- 15 Fendas de ventilação

7. Utilização

7.1 Montagem do tubo de raios de feixe estreito

- Parafusar a porca de capa girando-a para a esquerda.
- Checar o tubo de raios de feixe estreito por contatos curvados.
- Inserir o tubo verticalmente, nisto cuidar da necessidade absoluta da orientação correta dos pinos de contato e do pino de codificação! (Ver Fig. 1).

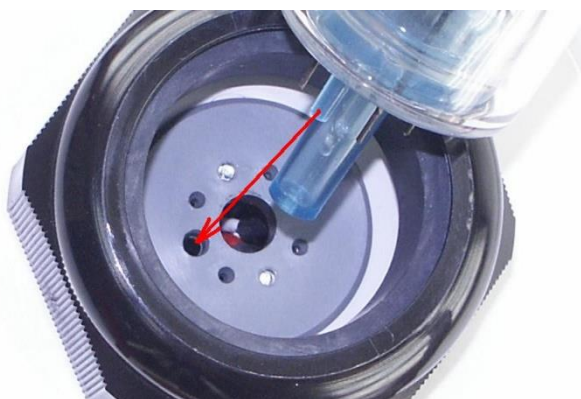


Fig. 1: Inserção do tubo

- Empurrar o tubo para baixo com pressão leve, até assentá-lo.
- **Indicação:** medir a altura do soquete até o canto superior da porca de capa e transferi-la para o tubo. Desta forma pode-se reconhecer se o tubo está corretamente inserido no soquete.
- Apertar a porca de capa manualmente para a direita, nisto cuidar da posição vertical do tubo.

Cuidado: Em caso o parafuso serrilhado não esteja devidamente apertado o tubo não está seguro e pode cair no transporte!



Fig. 2: Tubo inserido

7.2 Ajuste do feixe de elétrons

- Levar o aparelho de operação de raios de feixe estreitos para um recinto bem escurecido.
- Alinhar o tubo como ilustrado acima (com a direção do canhão de elétrons para o campo magnético das bobinas de Helmholtz). Indicação para a rotação do tubo vide o ponto 7.3.
- Levar o comando de ajuste para a tensão de aquecimento para a posição do médio (aprox. 6 V).
- Colocar o ajuste de corrente de bobinas no embate da esquerda, por tanto 0 A.
- Esperar por aprox. 1 minuto até que a temperatura se tenha estabilizado na serpentina de aquecimento.
- Aumentar devagar a tensão anódica até máx. 300 V (o feixe primeiramente horizontal torna-se visível por uma luz tênue azulada).
- Selecionar a tensão de Wehnelt de modo que seja visível um feixe o mais fino, definido, possível.
- Aperfeiçoar a definição e a claridade do feixe através da variação da tensão de aquecimento.
- Elevar a corrente de bobina I_H através das bobinas de Helmholtz e verificar se o feixe de elétrons está curvado para cima.
- Se o raio for desviado para baixo, o tubo deve ser girado em 180°.
- Continuar aumentando a corrente de bobina e checar, se o raio de elétrons forma uma órbita fechada em si mesmo. Eventualmente girar o tubo levemente.
- Executar a experiência como descrito em baixo.

7.3 Girar o tubo

O tubo está fixado sobre um soquete rotativo em -10° até 270°.

- Para girar o tubo, soltar o parafuso serrilhado. **Não desparafusar por completo!**
- Para isto, **não** girar no tubo, senão girar no prato giratório ou na porca de capa.
- Parafusar firmemente o parafuso serrilhado de novo.

Cuidado: Em caso da completa retirada do parafuso serrilhado o tubo não estará mais seguro e poderá cair durante o transporte!

7.4 Troca de fusíveis

- Desligue a alimentação elétrica e retire em todo caso o fio da tomada.
- Com uma chave de fenda chata puxar para fora o suporte de fusíveis no verso da fonte de alimentação (ver Fig. 3).
- Aplicar a chave de fenda desde o lado do plugue de aparelho frio.
- Trocar o fusível e empurrar o suporte de novo para dentro.



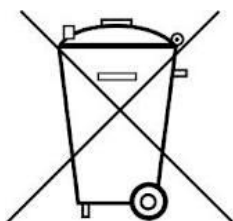
Fig. 3: Troca de fusíveis

8. Cuidados e manutenção

- Antes da limpeza separar o aparelho da fonte de alimentação.
- Para a limpeza utilizar um pano suave e úmido.

9. Eliminação

- A embalagem deve ser eliminada nas dependências locais de reciclagem.
- Em caso que o próprio aparelho deva ser descartado, então este não pertence ao lixo doméstico normal. É necessário cumprir com a regulamentação local para a eliminação de descarte eletrônico.



10. Exemplo de experiência

Determinação da carga específica e/m do elétron

- Selecionar a corrente de bobina de tal maneira, que o raio da órbita seja de, por exemplo, 5 cm, e anotar o valor ajustado.
- Reduzir a tensão anódica a passos de 20 V a 200 V, selecionar a corrente de bobina I_H a cada vez de modo que o raio continue constante e anotar esses valores.
- Registrar séries de experiências adicionais para raios orbitais de 4 cm e de 3 cm.
- Para uma análise mais detalhada, inserir dos valores de medição num diagrama $r^2 B^2 - 2U$.

O aumento dos dados originais corresponde a e/m .

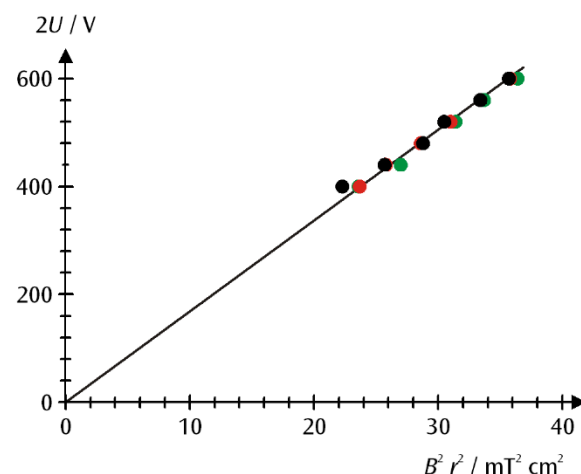


Fig. 4 Diagrama $r^2 B^2 - 2U$ dos valores de medição (preto: $r = 5$ cm, vermelho: $r = 4$ cm, verde: $r = 3$ cm)