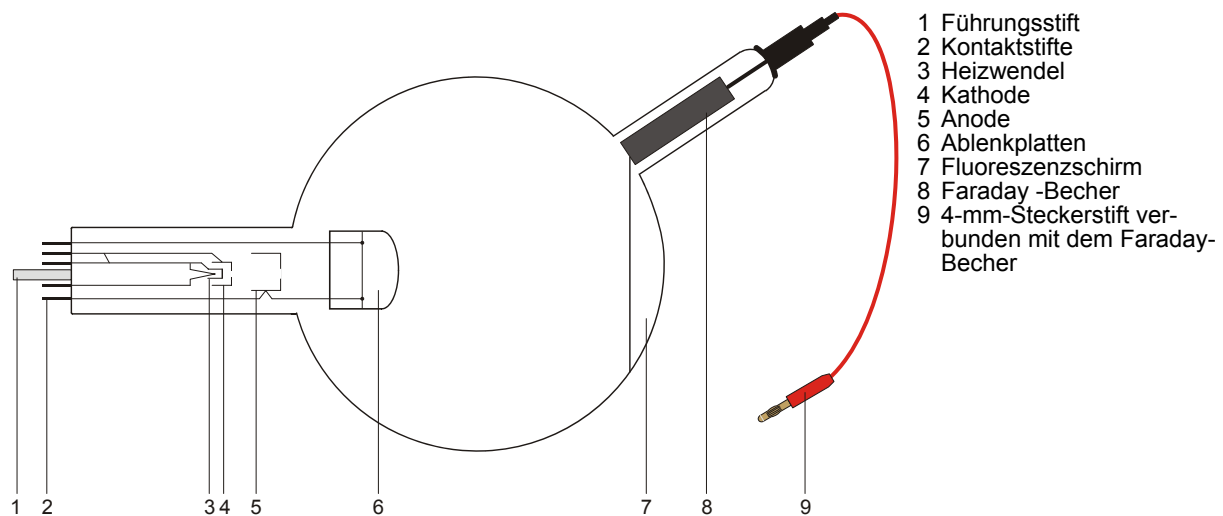


## Perrin-Röhre S 1000616

### Bedienungsanleitung

12/12 ALF



### 1. Sicherheitshinweise

Glühkathodenröhren sind dünnwandige, evakuierte Glaskolben. Vorsichtig behandeln: Implosionsgefahr!

- Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Verbindungskabel keinen Zugbelastungen aussetzen.
- Röhre nur in den Röhrenhalter S (1014525) einsetzen.

Zu hohe Spannungen, Ströme sowie falsche Kathodenheiztemperatur können zur Zerstörung der Röhre führen.

- Die angegebenen Betriebsparameter einhalten.
- Für Anschlüsse nur Sicherheits-Experimentierkabel verwenden.
- Schaltungen nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten vornehmen.
- Röhren nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten ein- und ausbauen.

Im Betrieb wird der Röhrenhals erwärmt.

- Röhre vor dem Ausbau abkühlen lassen.

Die Einhaltung der EC Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit ist nur mit den empfohlenen Netzgeräten garantiert.

### 2. Beschreibung

Die Perrin-Röhre dient zum Nachweis der negativen Polarität von Elektronen und zur Abschätzung der spezifischen Elektronenladung  $e/m$  durch magnetische Ablenkung in den mit einem Elektroskop verbundenen Faraday-Becher. Zusätzlich kann die Ablenkung von Elektronen in zwei zueinander senkrechten magnetischen Wechselfeldern bzw. in parallelen elektrischen und magnetischen Wechselfeldern untersucht und z.B. durch das Erzeugen von Lissajous'schen Figuren demonstriert werden.

Die Perrin-Röhre ist eine Hochvakuum-Röhre mit einer Elektronenkanone, bestehend aus einem Heizfaden aus reinem Wolfram und einer zylinderförmigen Anode in einer durchsichtigen, evakuierten Glaskugel. Aus der Elektronenkanone werden Elektronen als schmaler, runder Strahl emittiert und bilden einen Fleck mit einem Durchmesser von ca. 2 mm auf dem Fluoreszenzschirm ab. Ein Glasrohr mit einem Faraday-Becher ist in einem Winkel von ca. 45° zum nicht abgelenkten Elektronenstrahl an die Glaskugel angesetzt.

### 3. Technische Daten

Heizspannung:	≤ 7,5 V AC/DC
Anodenspannung:	2000 V bis 5000 V
Anodenstrom:	typ. 1,8 mA bei $U_A = 4000$ V
Strahlstrom:	4 $\mu$ A bei $U_A = 4000$ V
Plattenspannung:	50 V bis 350 V
Glaskolben:	ca. 130 mm $\varnothing$
Gesamtlänge:	ca. 260 mm

### 4. Bedienung

Zur Durchführung der Experimente mit der Perin-Röhre sind folgende Geräte zusätzlich erforderlich:

1 Röhrenhalter S	1014525
1 Hochspannungsnetzgerät 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
oder	
1 Hochspannungsnetzgerät 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310
1 Helmholtz-Spulenpaar S	1000611
1 DC-Netzgerät 20 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
oder	
1 DC-Netzgerät 20 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
1 Elektroskop	1001027
1 Analog Multimeter AM50	1003073

#### 4.1 Einsetzen der Röhre in den Röhrenhalter

- Röhre nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten ein- und ausbauen.
- Röhre mit leichtem Druck in die Fassung des Röhrenhalters schieben bis die Stiftkontakte vollständig in der Fassung sitzen, dabei auf eindeutige Position des Führungsstiftes achten.

#### 4.2 Entnahme der Röhre aus dem Röhrenhalter

- Zum Entnehmen der Röhre mit dem Zeigefinger der rechten Hand von hinten auf den Führungsstift drücken bis sich die Kontaktstifte lösen. Dann die Röhre entnehmen.

### 5. Experimentierbeispiele

#### 5.1 Nachweis der Partikelnatur der Kathodenstrahlen und Bestimmung ihrer Polarität

- Beschaltung gemäß Fig. 1 herstellen.
- Anodenspannung zwischen 2 kV und 5 kV anlegen.

Auf dem Fluoreszenzschirm sind die Kathodenstrahlen als runder Fleck sichtbar.

- Die Kathodenstrahlen mit Hilfe der Helmholtzspulen so ablenken, dass sie genau in den Faraday-Becher fallen. Erforderlichen-

falls Richtung des Spulenstroms ändern sowie Röhre im Röhrenhalter drehen, um sicher zu stellen, dass der Strahl vollständig in den Faraday-Becher trifft.

Das Elektroskop schlägt aus und zeigt eine Ladung an.

- Heizung und Anodenspannung abschalten.

Der Ausschlag des Elektroskops bleibt erhalten.

Entstände die Ladung des Faraday-Bechers durch Wellenstrahlung, so würde der Ausschlag des Elektroskops zurückgehen, sobald die Heizung ausgeschaltet wird. Da dies nicht der Fall ist, lässt sich daraus schließen, dass die Kathodenstrahlen aus Materie bestehen, die elektrisch geladen ist. Diese Partikel sind die Elektronen.

Die negative Polarität der Kathodenstrahlen lässt sich durch weiteres Aufladen des Elektroskops mittels eines geriebenen Kunststoff- oder Glasstabs nachweisen (negativ bzw. positiv).

#### 5.2 Abschätzung der spezifischen Elektronenladung $e/m$

- Versuchsaufbau gemäß Fig. 3.

Bei Ablenkung der Elektronenstrahlen in den Faraday-Becher gilt für die spezifische Ladung  $e/m$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (1)$$

$U_A$  kann unmittelbar abgelesen werden, der Krümmungsradius  $r$  ergibt sich aus den geometrischen Daten der Röhre (Kolbendurchmesser 13 cm, Faraday-Becher  $45^\circ$  gegen Strahlachse geneigt) zu  $r = \text{ca. } 16$  cm (siehe Fig. 2).

Für die magnetische Flussdichte  $B$  des Magnetfeldes bei Helmholtzgeometrie des Spulenpaars und dem Spulenstrom  $I$  gilt:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (2)$$

wobei  $k =$  in guter Näherung  $4,2$  mT/A

mit  $n = 320$  (Windungen) und  $R = 68$  mm (Spulenradius).

- Nach Einsetzen der Werte für  $U_A$ ,  $r$  und  $B$  in Gleichung 1  $e/m$  berechnen.

#### 5.3 Ablenkung in gekreuzten magnetischen Wechselfeldern (Lissajous-Figuren)

Folgende Geräte sind zusätzlich erforderlich:

1 Zusatzspule	1000645
1 AC/DC-Netzgerät 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002775

oder	
1 AC/DC-Netzgerät 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1002776

1 Funktionsgenerator FG100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
--	---------

oder	
1 Funktionsgenerator FG100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957

- Beschaltung gemäß Fig. 5 vornehmen.
- Zusatzspule gemäß Fig. 4 auf dem Röhrenhalter platzieren.

- Zusatzspule an die Wechselspannungsquelle anschließen.
- Helmholtzspulen an Funktionsgenerator anschließen und sinusförmiges Signal wählen.
- Anodenspannung zwischen 2 kV und 5 kV anlegen.
- Wechselspannung bis zu 15 V an Zusatzspule wählen und horizontale Ablenkung beobachten.
- Frequenz von z.B. 50 Hz am Funktionsgenerator einstellen, Sinussignalamplitude variieren und Lissajous-Figuren auf dem Fluoreszenzschirm beobachten.

#### 5.4 Ablenkung im kollinearen magnetischen und elektrischen Wechselfeld

Folgende Geräte sind zusätzlich erforderlich:

1 Funktionsgenerator FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

oder

1 Funktionsgenerator FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

1 AC Netzgerät mit einer Ausgangsspannung bis zu 250 V AC

#### Hinweise:

In diesem Experimentieraufbau ist eine Beschaltung mit der Anode auf Massepotenzial zwingend erforderlich!

Vorsicht! Am Anschlussfeld des Röhrenhalters können berührungsgefährliche Spannungen anliegen!

- Beschaltung gemäß Fig. 6 vornehmen.
- Helmholtzspulen an Funktionsgenerator anschließen und sinusförmiges Signal wählen.
- Anodenspannung zwischen 2 kV und 5 kV anlegen.
- Wechselspannung von ca. 200 V an die Ablenkplatten legen und horizontale Ablenkung beobachten.
- Frequenz von z.B. 50 Hz am Funktionsgenerator einstellen, Sinussignalamplitude variieren und Lissajous-Figuren auf dem Fluoreszenzschirm beobachten.

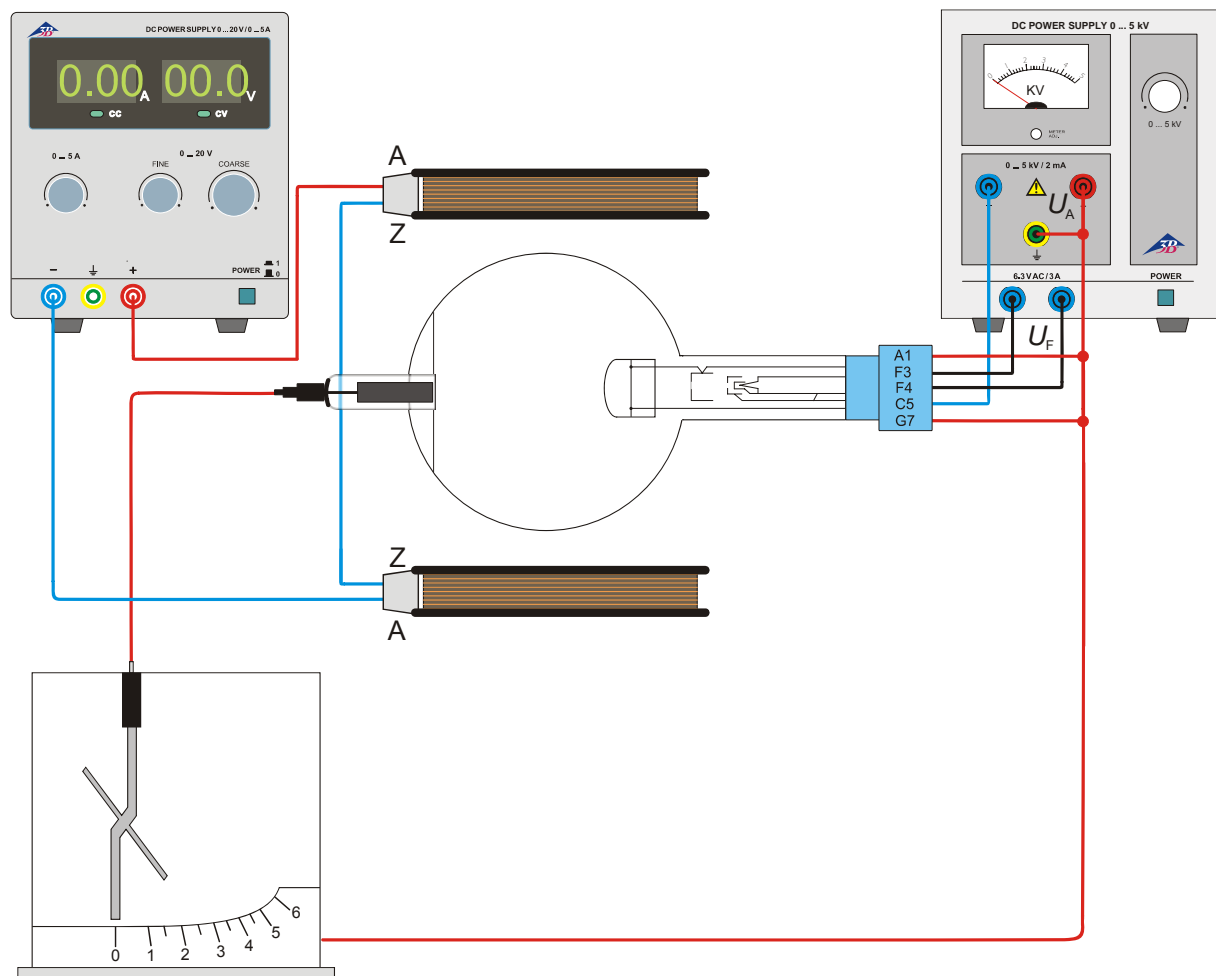


Fig. 1 Nachweis der Partikelnatur der Kathodenstrahlen und Bestimmung ihrer Polarität

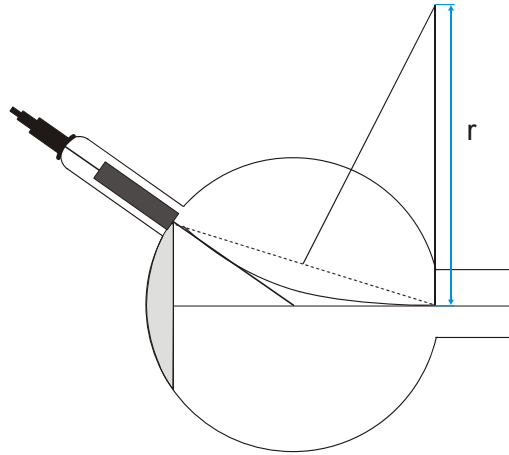


Fig. 2 Bestimmung des Kurvenradius  $r$

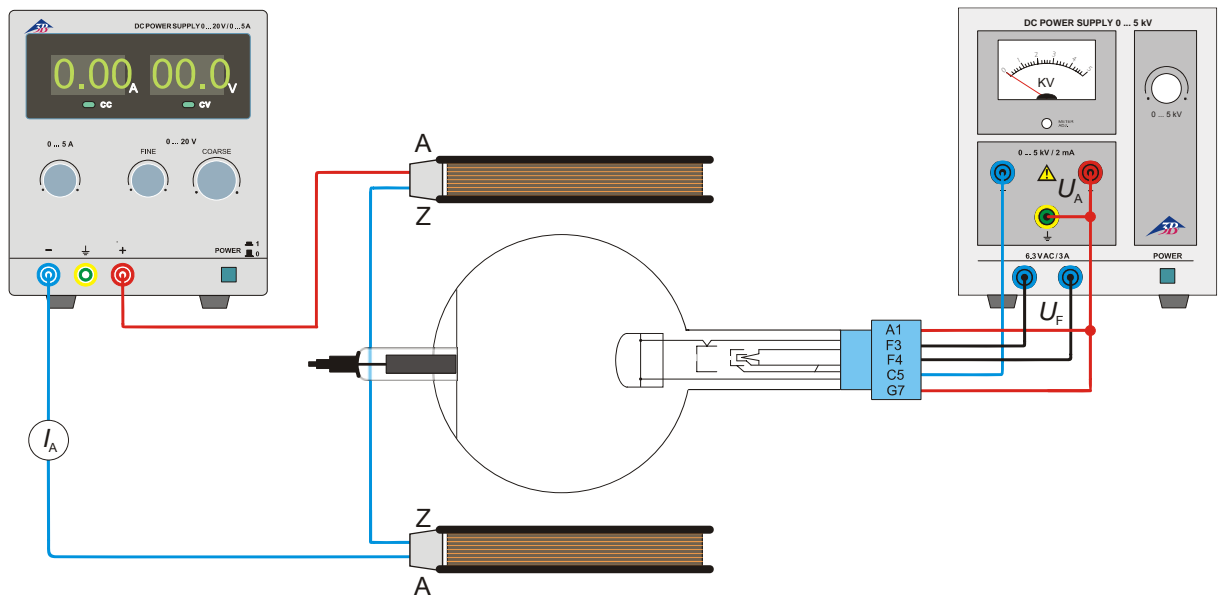


Fig. 3 Abschätzung der spezifischen Elektronenladung  $e/m$

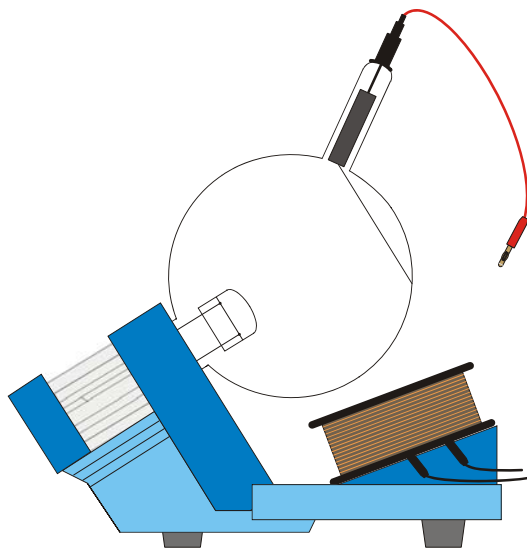


Fig.4 Aufbau der Zusatzspule

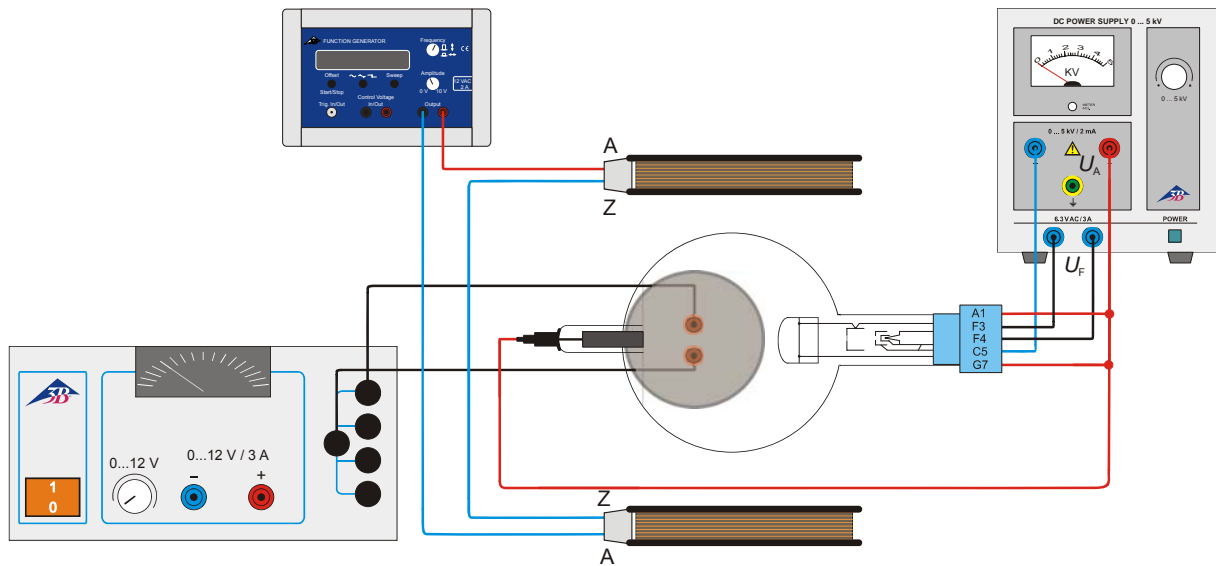


Fig. 5 Ablenkung in gekreuzten magnetischen Wechselfeldern (Lissajous-Figuren)

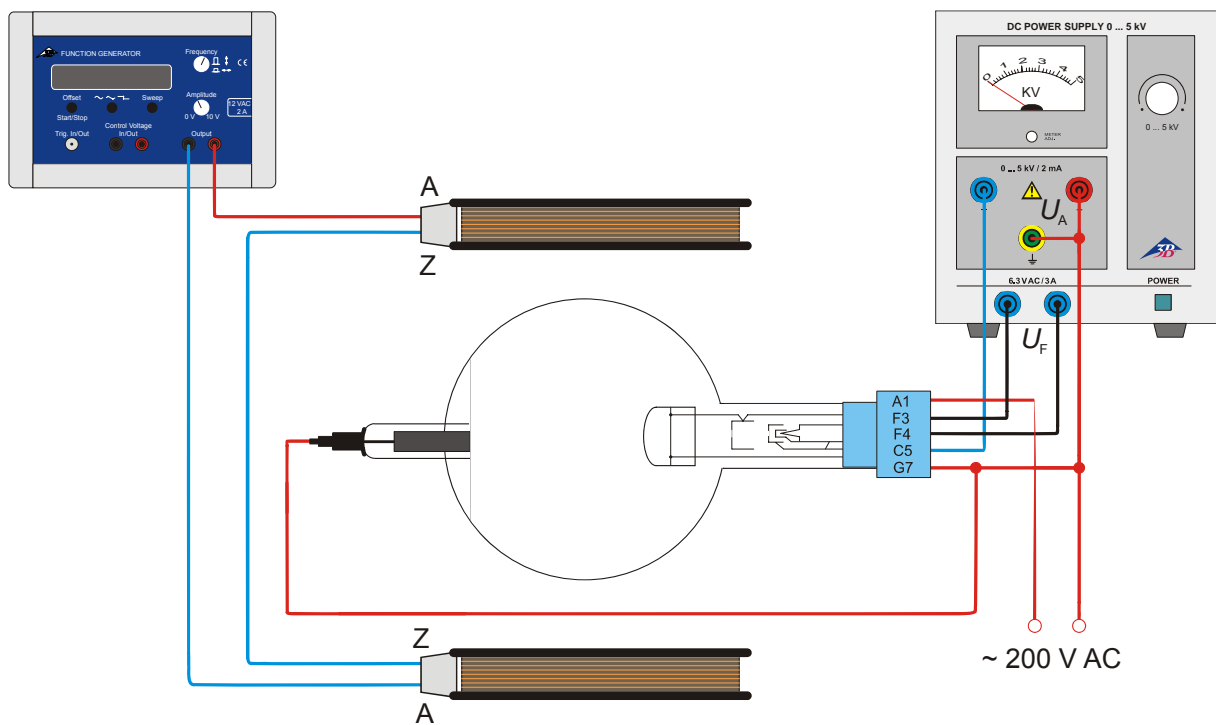


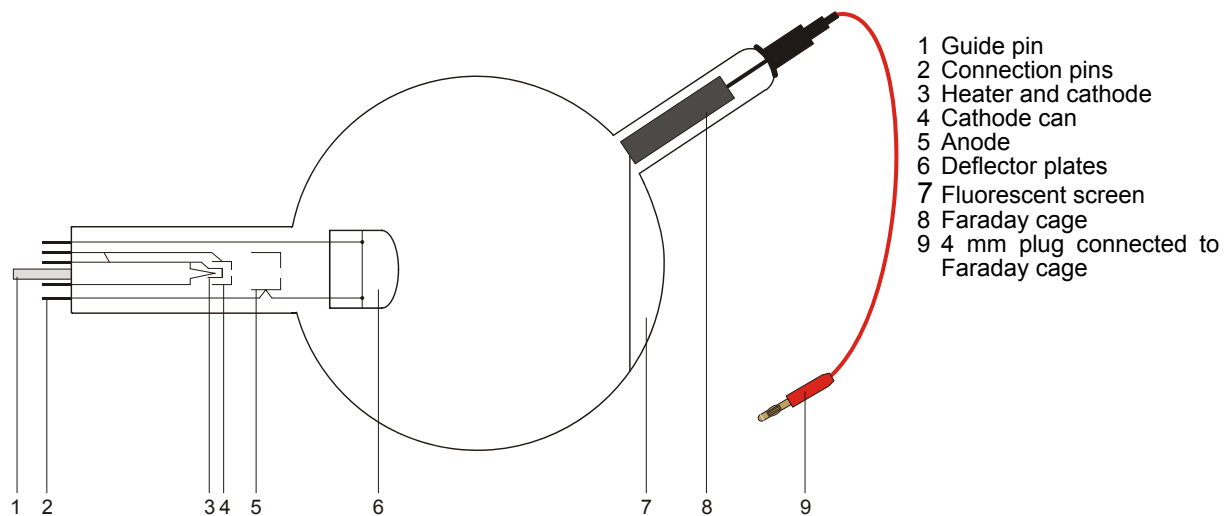
Fig 6 Ablenkung im kollinearen magnetischen und elektrischen Wechselfeld



## Perrin Tube S 1000616

### Instruction sheet

12/12 ALF



### 1. Safety instructions

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.
- Do not subject the connection leads to any tension.
- The tube only may be used with tube holder S (1014525).

If voltage or current is too high or the cathode is at the wrong temperature, it can lead to the tube becoming destroyed.

- Do not exceed the stated operating parameters.
- Only use safety experiment leads for connecting circuits.
- Only change circuit with power supply equipment switched off.
- Only exchange tubes with power supply equipment switched off.

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

- If necessary, allow the tube to cool before dismantling.

The compliance with the EC directive on electromagnetic compatibility is only guaranteed when using the recommended power supplies.

### 2. Description

The Perrin tube serves to demonstrate the negative polarity of electrons and to estimate the specific electron charge  $e/m$  by magnetic deflection into a Faraday cage, which is connected to an electroscope. It is also possible to investigate the deflection of electrons in two perpendicular magnetic alternating fields or by collinear electric and magnetic alternating fields (Lissajous figures).

The Perrin Tube is a highly evacuated tube with an electron gun, consisting of an oxide cathode heated indirectly via a heating coil, a cylindrical anode and pair of deflector plates contained in a clear glass bulb, partly coated with a fluorescent screen. The electrons emitted by the electron gun form a narrow circular beam that can be seen as a spot on the fluorescent screen. A glass tube with a Faraday cage is set on the glass bulb at about 45° to the undeflected beam.

### 3. Technical data

Filament voltage:	≤ 7.5 V AC/DC
Anode voltage:	2000 V to 5000 V
Anode current:	typ. 0.18 mA at $U_A = 4000$ V
Beam current:	4 $\mu$ A at $U_A = 4000$ V
Plate voltage:	50 to 350 V
Glass bulb:	130 mm dia. approx.
Total length:	260 mm approx.

### 4. Operation

To perform experiments using the Perrin tube, the following equipment is also required:

1 Tube holder S	1014525
1 High voltage power supply 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
or	
1 High voltage power supply 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310
1 Helmholtz pair of coils S	1000611
1 DC Power Supply 20 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
or	
1 DC Power Supply 20 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
1 Electroscope	1001027
1 Analogue multimeter AM50	1003073

#### 4.1 Setting up the tube in the tube holder

The tube should not be mounted or removed unless all power supplies are disconnected.

- Press tube gently into the stock of the holder and push until the pins are fully inserted. Take note of the unique position of the guide pin.

#### 4.2 Removing the tube from the tube holder

- To remove the tube, apply pressure with the middle finger on the guide pin and the thumb on the tail-stock until the pins loosen, then pull out the tube.

### 5. Example experiments

#### 5.1 Evidence of the particle nature of cathode beam and establishment of their polarity

- Set up the experiment as in fig. 1.
- Apply a voltage to the anode between 2 kV and 5 kV.

On the fluorescent screen the cathode beams are visible as a round spot.

- Slowly increase the coil current until the electron beam is deflected into the Faraday cage. If necessary, reverse the direction of the coil current and turn the tube in the tube holder so that the beam falls within the end of the Faraday cage.

The electroscope will open to indicate the presence of a charge.

- Turn off the voltage to the heater filament and the anode.

The electroscope remains open.

If the charge on the Faraday cage were due to the cathode beam being some kind of wave radiation, the charge should disappear when the filament ceases to radiate. Because the experiment shows that the charge remains on the cage when the filament is cold, the conclusion must be that the beam comprises some constituent of matter which is electrically charged. These particles are called electrons.

The negative polarity of the cathode beam can be demonstrated if the electroscope is charged by rubbing a plastic or a glass rod (so that they are negatively and positively charged respectively).

#### 5.2 Estimation of the specific electron charge $e/m$

- Set up the experiment as in fig. 3.

When the electron beam is deflected into the Faraday cage, the following applies to the specific charge  $e/m$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (1)$$

$U_A$  can be read out directly, the curvature radius  $r$  derives from the geometric data of the tube (bulb diameter 13 cm, Faraday cage at 45° to the beam axis) to  $r = 16$  cm approx. (refer to fig. 2).

With the coils at Helmholtz-geometry and the coil current  $I$ , the following applies to the magnetic flux density  $B$  of the magnetic field

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (2)$$

with  $k =$  at good approximation 4.2 mT/A,  $n = 320$  (no. of turns) and  $R = 68$  mm (coil radius).

- Substitute  $U_A$ ,  $r$  and  $B$  in equation 1 and calculate  $e/m$ .

#### 5.3 Deflection in crossed magnetic alternating fields (Lissajous figures)

The following equipment is also required:

1 Auxiliary coil	1000645
1 AC/DC power supply 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002775
or	
1 AC/DC power supply 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1002776
1 Function generator FG100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
or	
1 Function generator FG100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957

- Set up the experiment as in fig. 5.
- Place the auxiliary coil on the tube holder as in fig. 4.



- Connect the auxiliary coil to the alternating current source.
- Connect the Helmholtz coils to the function generator and choose a sinusoidal wave form.
- Apply a voltage to the anode between 2 kV and 5 kV.
- Apply an alternating voltage up to 15 V to the auxiliary coil and observe the horizontal deflection.
- Set a frequency of e.g. 50 Hz at the function generator, vary the amplitude of the sine-signal and observe the Lissajous figures on the fluorescent screen.

#### 5.4 Deflection in collinear alternating magnetic and electric fields

The following equipment is also required:

1 Function generator FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

or

1 Function generator FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

1 AC Power supply unit with an output of up to 250 V AC

**Note:** In this set-up the anode must be connected to ground potential!

Caution! Contact-hazardous voltages may be present at the connection field of the tube holder.

- Set up the experiment as in fig. 6.
- Connect the Helmholtz coils to the function generator and choose a sinusoidal signal.
- Apply a voltage to the anode between 2 kV and 5 kV.
- Apply an alternating voltage of about 200 V to the deflection plates and observe the horizontal deflection.
- Set a frequency of e.g. 50 Hz at the function generator, vary the amplitude of the sine-signal and observe the Lissajous figures on the fluorescent screen.

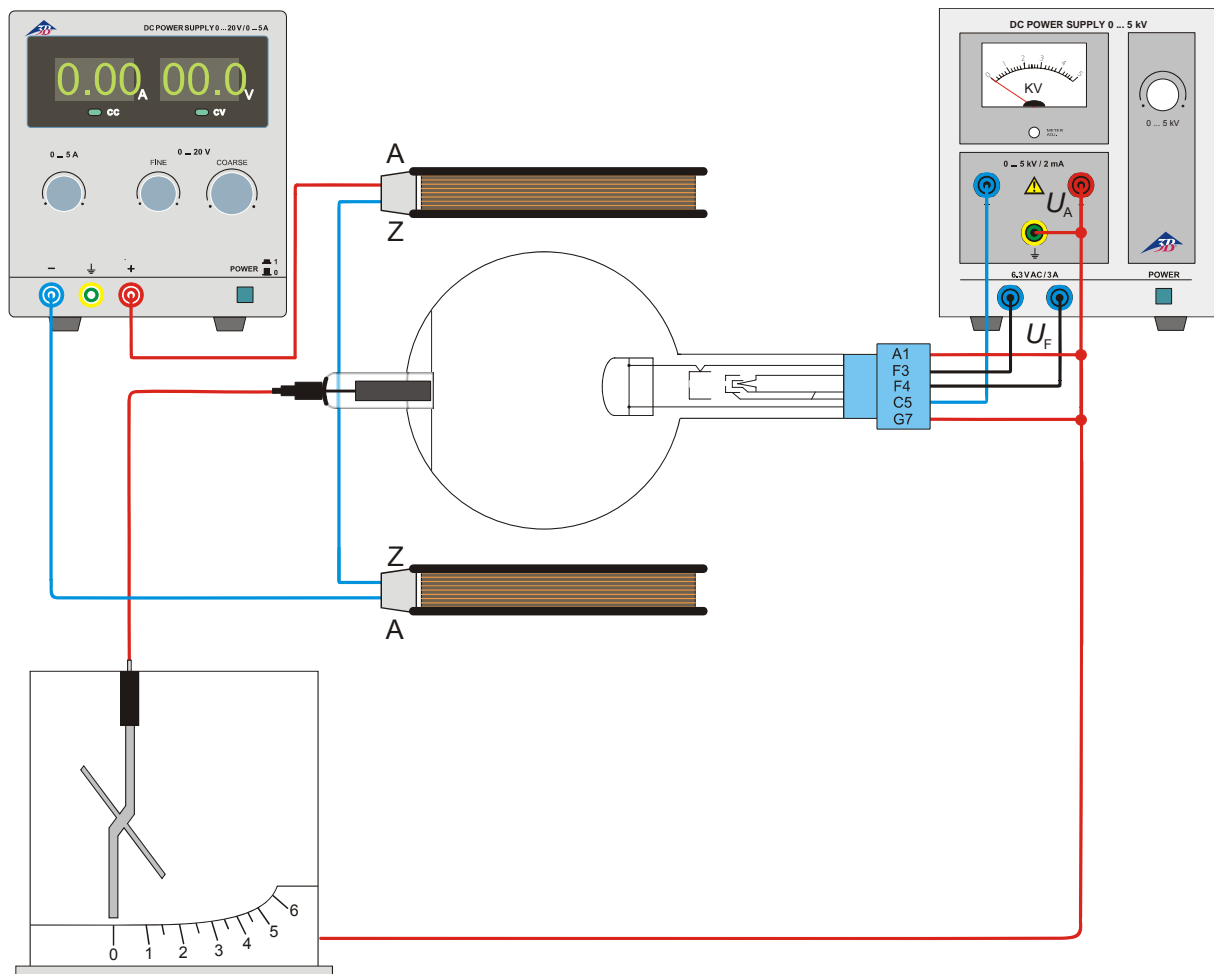


Fig. 1 Evidence of the particle nature of cathode beam and establishment of their polarity

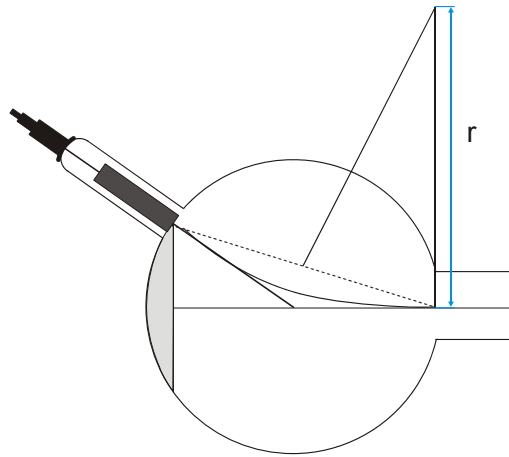


Fig. 2 Definition of the curvature radius  $r$

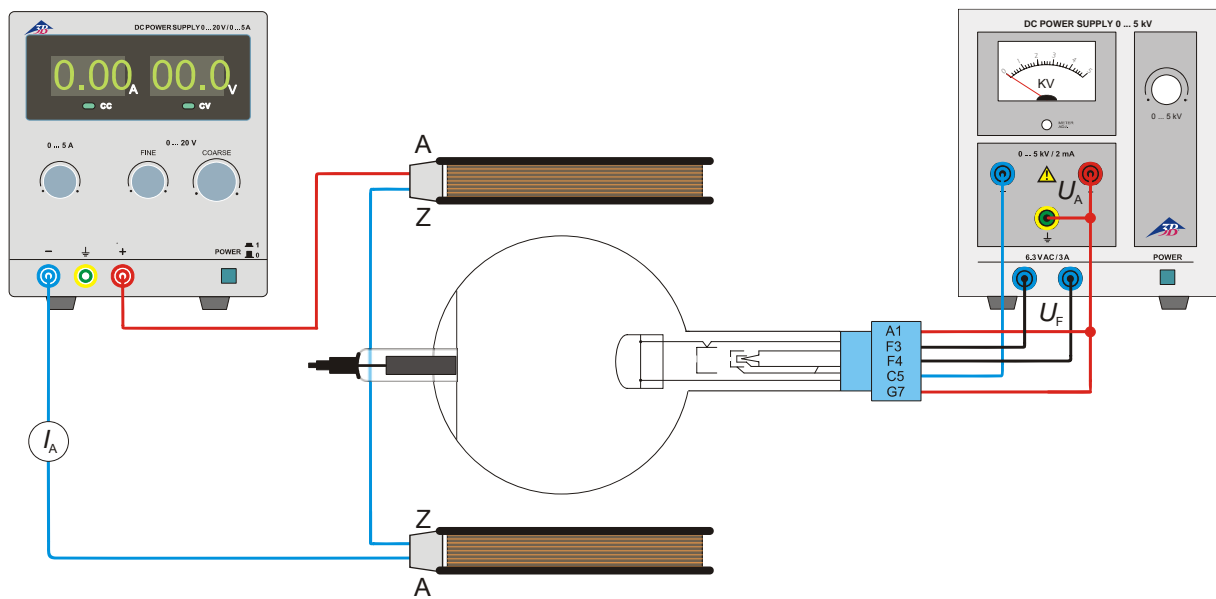


Fig. 3 Estimation of the specific electron charge  $e/m$

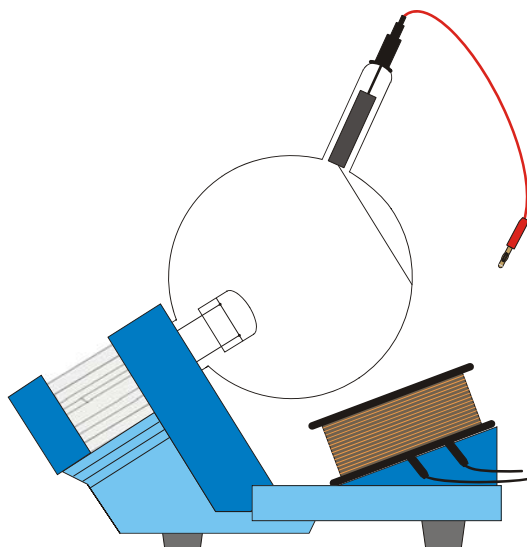


Fig.4 Set-up of the auxiliary coil

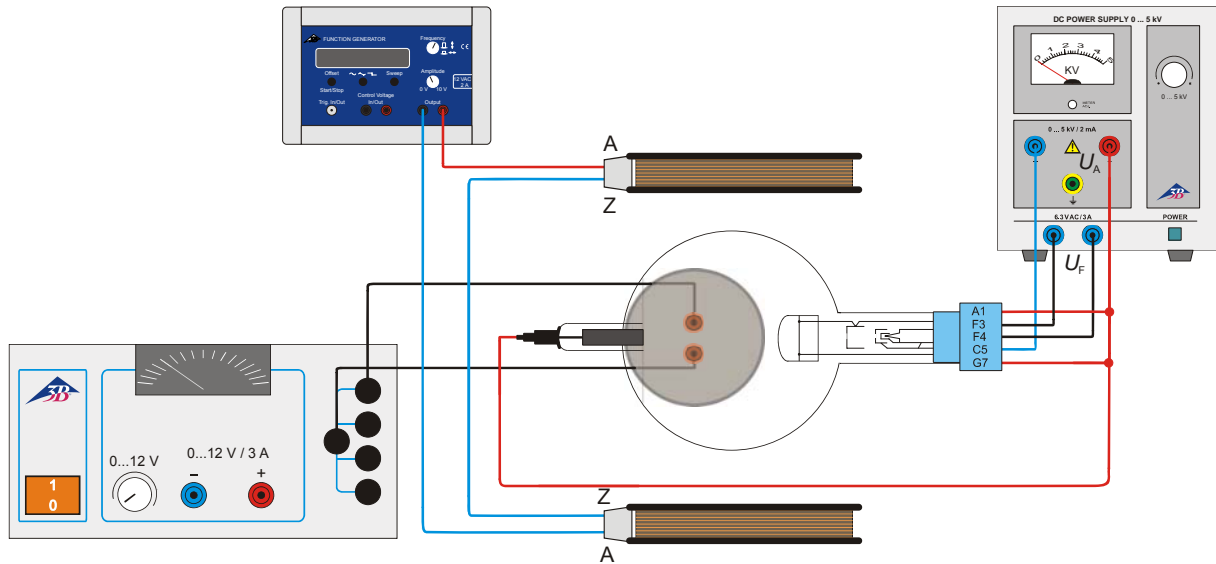


Fig.5 Deflection in crossed magnetic alternating fields (Lissajous figures)

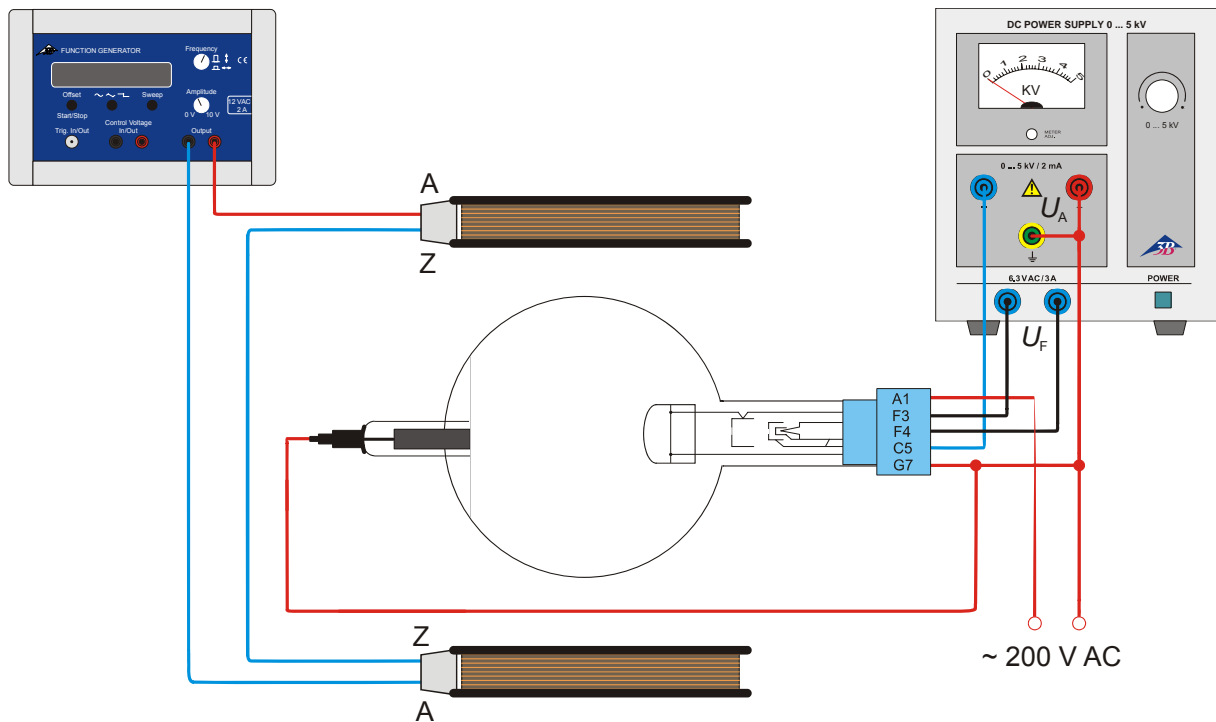


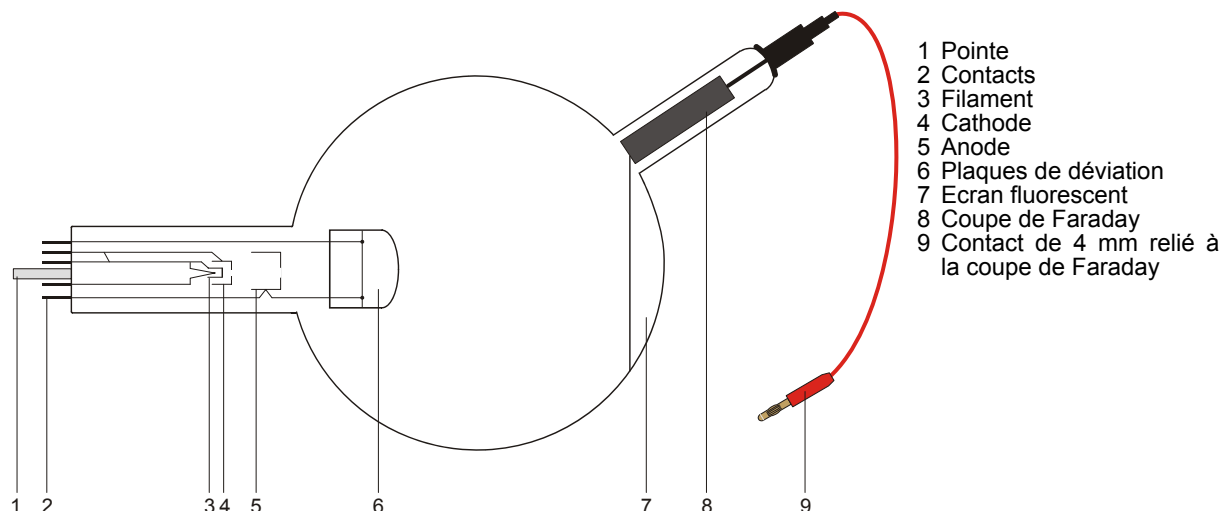
Fig 6 Deflection in collinear alternating magnetic and electric fields (Lissajous figures)



## Tube de Perrin S 1000616

### Manuel d'utilisation

12/12 ALF



- 1 Pointe
- 2 Contacts
- 3 Filament
- 4 Cathode
- 5 Anode
- 6 Plaques de déviation
- 7 Ecran fluorescent
- 8 Coupe de Faraday
- 9 Contact de 4 mm relié à la coupe de Faraday

### 1. Consignes de sécurité

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.
- N'exposez pas les câbles de connexion à des charges de traction.
- Le tube n'a le droit d'être utilisé que dans le support pour tube S (1014525).

Des tensions et des courants trop élevés ainsi que des températures de chauffage de la cathode mal réglées peuvent entraîner la destruction du tube.

- Respectez les paramètres de service indiqués.
- Pour les connexions, utilisez uniquement des câbles d'expérimentation de sécurité.
- Ne procédez à des câblages que lorsque les dispositifs d'alimentation sont éteints.
- Ne montez et ne démontez le tube que lorsque les dispositifs d'alimentation sont éteints.

Pendant l'utilisation du tube, son col chauffe.

- Au besoin, laissez refroidir le tube avant de le démonter.

Le respect de la directive CE sur la compatibilité électromagnétique est uniquement garanti avec les alimentations recommandées.

### 2. Description

Le tube de Perrin permet de démontrer la polarité négative des électrons et d'évaluer la charge électronique spécifique  $e/m$  par la déviation magnétique dans la cage de Faraday reliée à un électroscope. Le système permet en outre d'étudier la déviation des électrons dans deux champs alternatifs magnétiques perpendiculaires l'un à l'autre ou dans des champs alternatifs électriques et magnétiques parallèles, et de démontrer cette déviation par ex. en générant des figures de Lissajous.

Le tube de Perrin est un tube à vide poussé à canon électronique, comprenant un filament en tungstène pur et une anode cylindrique dans une sphère en verre transparente constituée en partie d'un écran fluorescent. Le canon électronique émet des électrons qui se présentent sous la forme d'un étroit rayon rond et qui constituent une tache sur l'écran fluorescent. Un tube en verre avec une coupe de Faraday est placé contre la boule en verre dans un angle d'environ  $45^\circ$  par rapport au rayon électronique non dévié.

### 3. Caractéristiques techniques

Tension de chauffage :	$\leq 7,5$ V CA/CC
Tension anodique :	2000 V - 5000 V
Courant anodique :	typ. 1,8 mA à $U_A = 4000$ V
Courant du rayon :	4 $\mu$ A à $U_A = 4000$ V
Tension de plaque :	50 V - 350 V
Ampoule :	$\varnothing$ env. 130 mm
Longueur totale :	env. 260 mm

### 4. Commande

Pour réaliser les expériences avec le tube de Perrin, on a besoin des dispositifs supplémentaires suivants :

1 Support pour tube S	1014525
1 Alimentation haute tension 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
ou	
1 Alimentation haute tension 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310
1 Paire de bobines de Helmholtz S	1000611
1 Alimentation CC 20 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
ou	
1 Alimentation CC 20 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
1 Electroscopie	1001027
1 Multimètre analogique AM50	1003073

#### 4.1 Emploi du tube dans le porte-tube

- Ne montez et ne démontez le tube que lorsque les dispositifs d'alimentation sont éteints.
- Glissez le tube dans la monture en appuyant légèrement dessus, jusqu'à ce que les contacts soient entièrement insérés dans la monture. Veillez au positionnement précis de la pointe de guidage.

#### 4.2 Retrait du tube du porte-tube

- Pour démonter le tube, appuyez avec l'index de la main droite sur l'arrière de la pointe de guidage, jusqu'à ce que les contacts soient desserrés. Puis, dégagez le tube.

### 5. Exemple d'expérience

#### 5.1 Démontrer la nature des rayons cathodiques et déterminer leur polarité

- Procédez au câblage comme le montre la fig. 1.
- Appliquez une tension anodique entre 2 et 5 kV.

Les rayons cathodiques apparaissent sur l'écran fluorescent sous la forme d'une tache ronde.

- À l'aide des bobines de Helmholtz, déviez les rayons cathodiques de manière à ce qu'ils tombent très précisément dans la coupe de Faraday. Au besoin, modifiez le sens du cou-

rant des bobines et tournez le tube et le porte-tube pour garantir que le rayon touche intégralement la coupe de Faraday.

L'aiguille de l'électroscope dévie et signale une charge.

- Désactivez la tension de chauffage et anodique.

La déviation de l'électroscope est maintenue.

Si la charge de la cage de Faraday résultait d'un rayonnement d'ondes, la déviation de l'électroscope s'atténuerait dès que le chauffage est désactivé. Comme ce n'est pas le cas, on peut en conclure que les rayons cathodiques sont constitués d'une matière qui est chargée électriquement. Ces particules sont des électrons.

La polarité négative des rayons cathodiques peut être démontrée par une nouvelle charge de l'électroscope au moyen d'une barre en plastique ou en verre que l'on aura frottée auparavant (négatif ou positif).

#### 5.2 Évaluation de la charge électronique spécifique $e/m$

- Procédez au câblage comme le montre la figure 3.

En cas de déviation des rayons dans la coupe de Faraday, l'équation suivante s'applique à la charge électronique spécifique  $e/m$  :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (1)$$

$U_A$  peut être lue directement, le rayon de courbure  $r$  résulte des données géométriques du tube (diamètre de piston 13 cm, coupe de Faraday incliné à  $45^\circ$  contre l'axe du rayon) pour donner  $r = \text{env. } 16$  cm (voir la figure 2).

L'équation suivante s'applique à la densité de flux magnétique  $B$  dans le cas d'une géométrie Helmholtz du champ magnétique de la paire de bobines et d'un courant de bobines  $I$  :

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (2)$$

avec  $k =$  dans une bonne approximation 4,2 mT/A,  $n = 320$  (spires) et  $R = 68$  mm (rayon de bobine).

- Calculez  $e/m$  en insérant les valeurs pour  $U_A$ ,  $r$  et  $B$  dans l'équation 1.

#### 5.3 Déviation dans des champ alternatifs magnétiques croisés (figures de Lissajous)

Autres appareils requis :

1 Bobine auxiliaire	1000645
1 Alimentation CA/CC 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002775

ou

1 Alimentation CA/CC 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1002776
--	---------

1 Générateur de fonctions FG100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
---	---------

ou

1 Générateur de fonctions FG100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957
---	---------

- Procédez au câblage comme le montre la figure 5.
- Placez la bobine auxiliaire sur le porte-tube comme le montre la figure 4.
- Branchez la bobine auxiliaire à la source de tension alternative.
- Branchez les bobines de Helmholtz au générateur de fonctions et sélectionnez le signal sinusoïdal.
- Appliquez une tension anodique entre 2 et 5 kV.
- Sélectionnez pour la bobine auxiliaire une tension alternative max. de 15 V et observez la déviation horizontale.
- Réglez une fréquence par ex. de 50 Hz sur le générateur de fonctions, variez l'amplitude du signal sinusoïdal et observez les figures de Lissajous sur l'écran fluorescent.

#### 5.4 Déviation dans le champ alternatif congruent magnétique et électrique

Autres appareils requis :

1 Générateur de fonctions FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

OU

1 Générateur de fonctions FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

1 Alimentation CA avec une tension de sortie de max. 250 V CA

#### Note :

Cette expérience requiert impérativement une connexion de l'anode au potentiel de masse !

Prudence ! Le champ de connexion du porte-tube peut présenter des tensions dangereuses au contact !

- Procédez au câblage comme le montre la figure 6.
- Branchez les bobines de Helmholtz au générateur de fonctions et sélectionnez le signal sinusoïdal.
- Appliquez une tension anodique entre 2 et 5 kV.
- Appliquez une tension alternative d'environ 200 V aux plaques de déviation et observez la déviation horizontale.
- Réglez une fréquence par ex. de 50 Hz sur le générateur de fonctions, variez l'amplitude du signal sinusoïdal et observez les figures de Lissajous sur l'écran fluorescent.

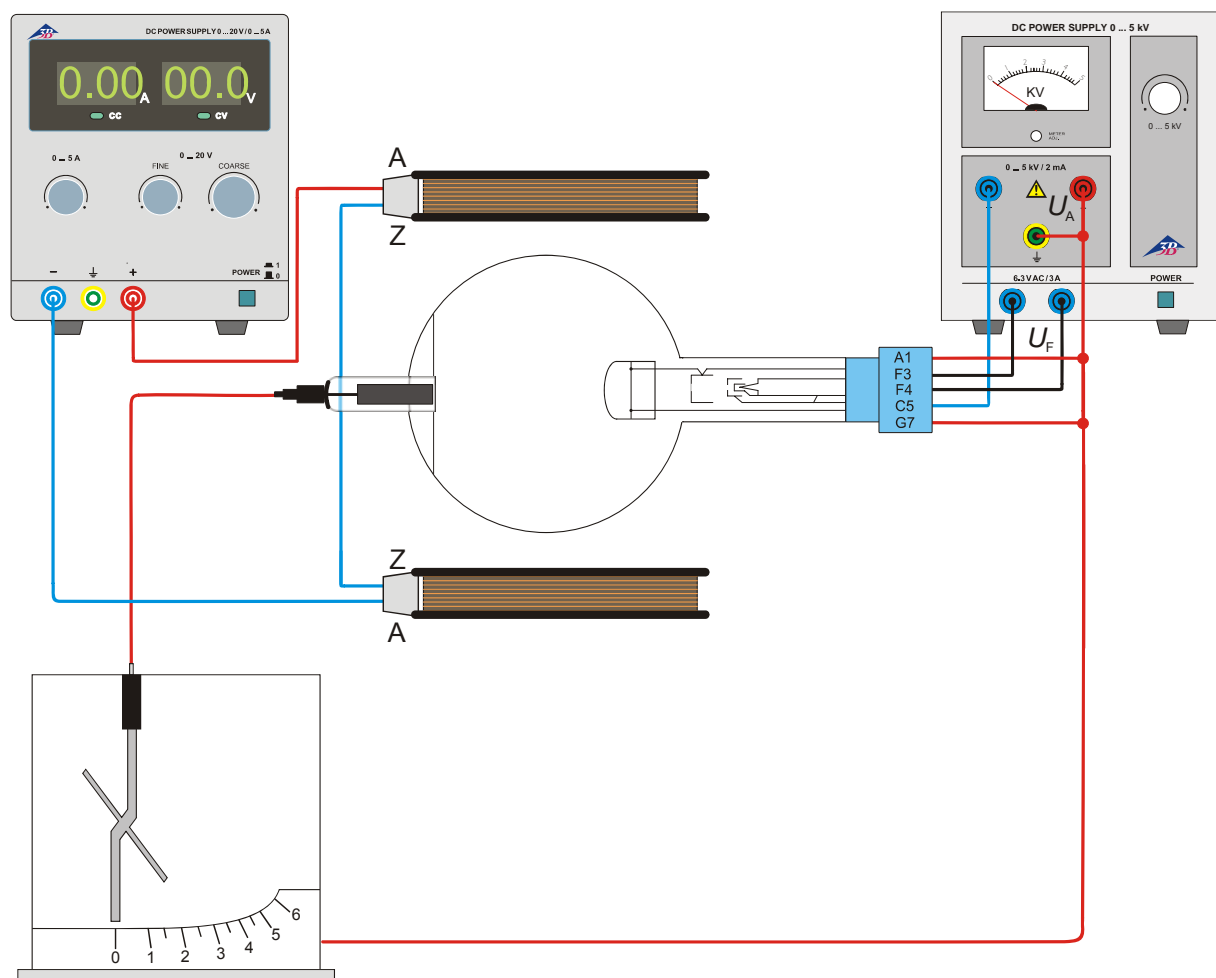


Fig. 1 Démontrer la nature des particules des rayons cathodiques et déterminer leur polarité

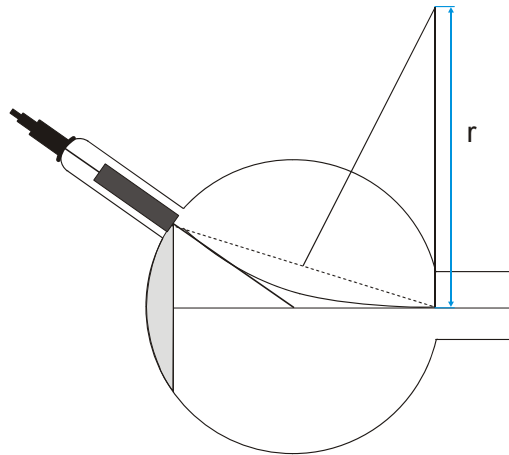


Fig. 2 Détermination de  $r$

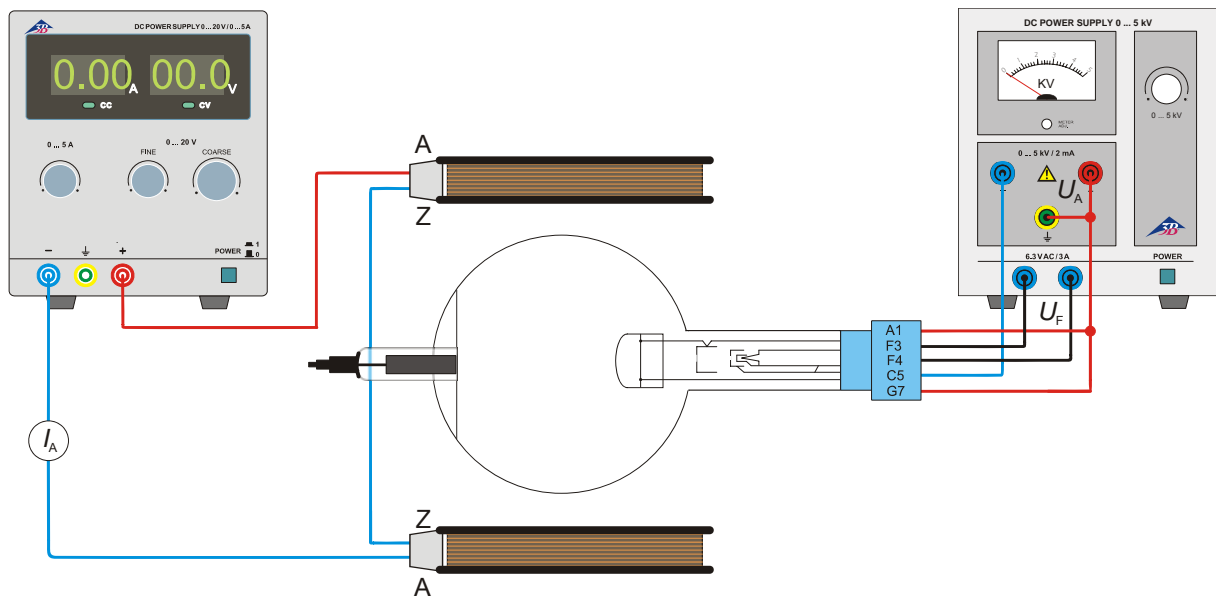


Fig. 3 Évaluation de la charge électronique spécifique  $e/m$

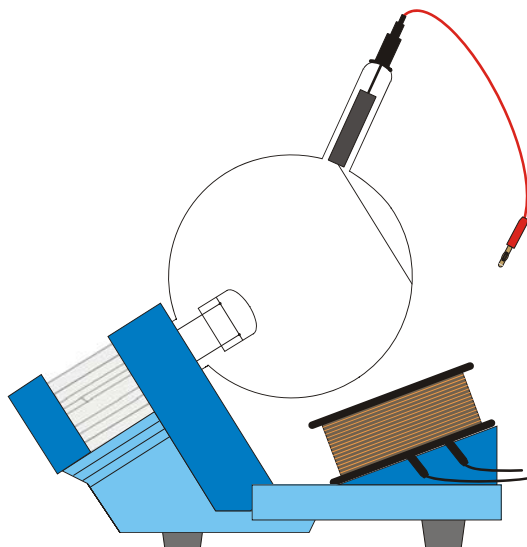


Fig.4 Montage de la bobine supplémentaire



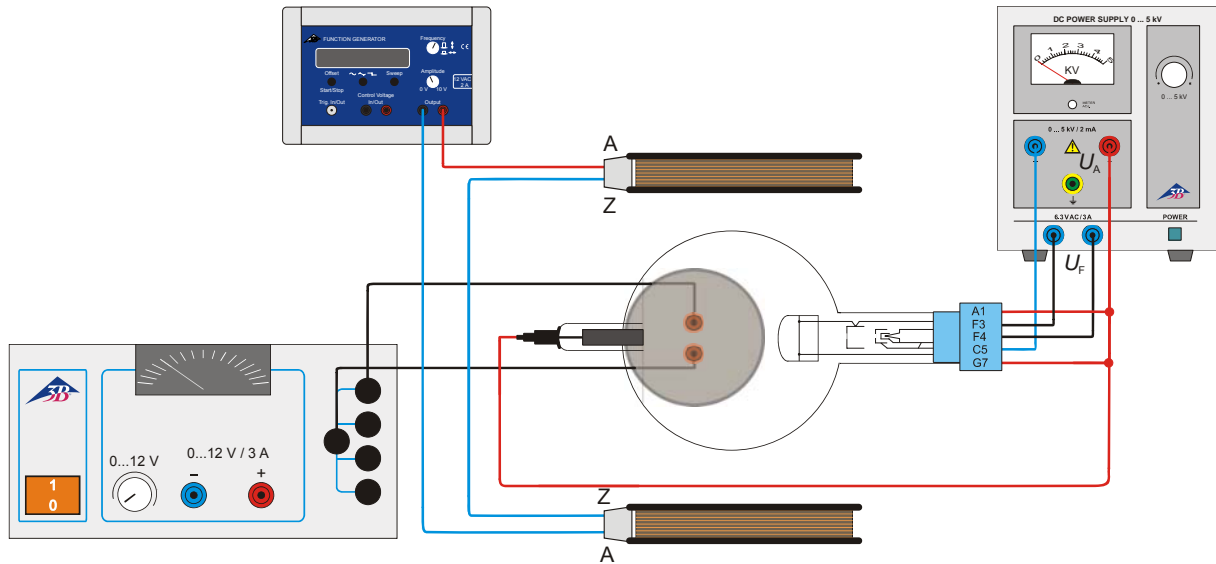


Fig.5 Déviation dans des champ alternatifs magnétiques croisés (figures de Lissajous)

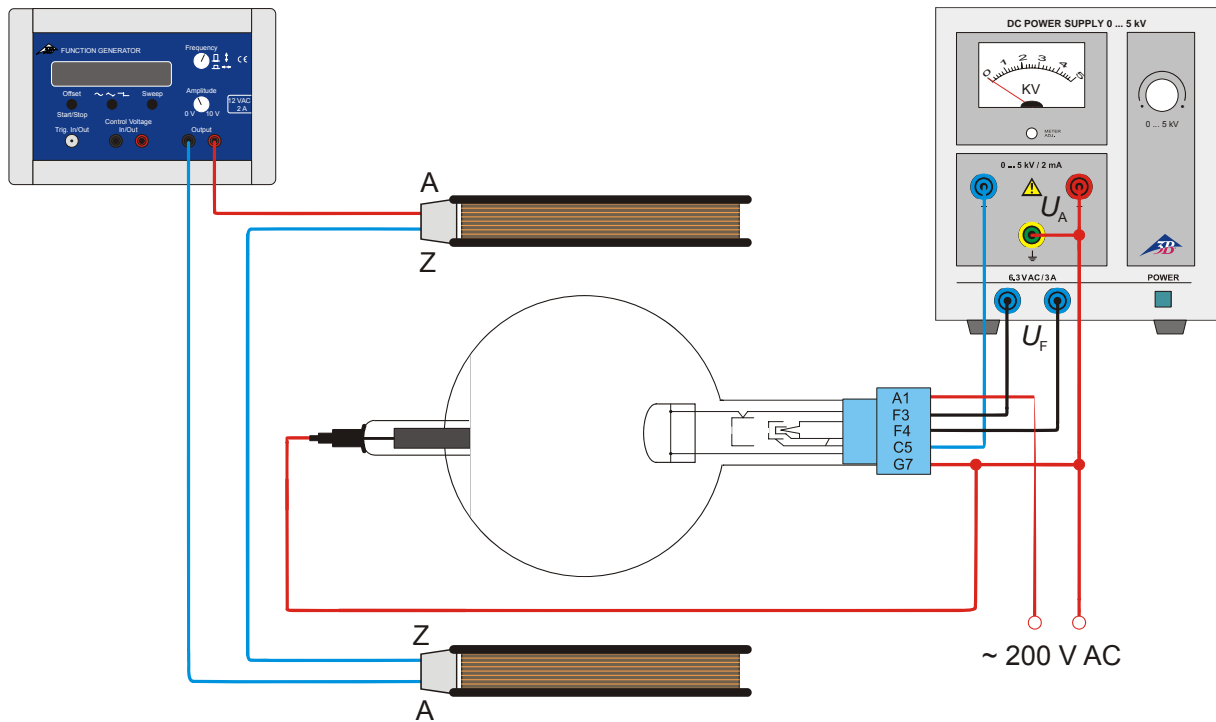


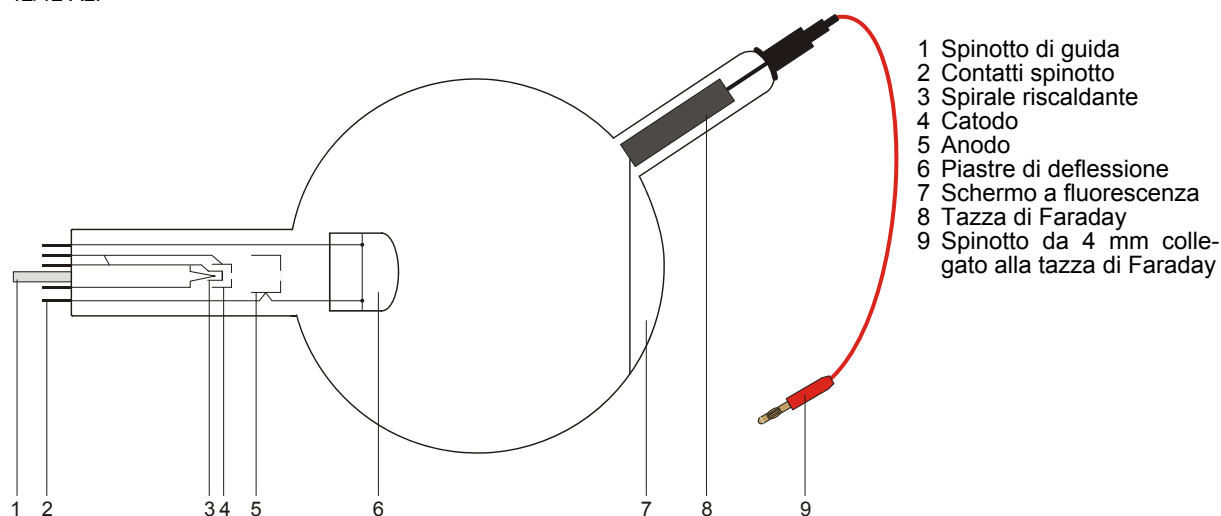
Fig 6 Déviation dans le champ alternatif congruent magnétique et électrique



## Tubo di Perrin S 1000616

### Istruzioni per l'uso

12/12 ALF



### 1. Norme di sicurezza

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.
- Non esporre i cavi di collegamento a sollecitazioni alla trazione.
- Il tubo può essere utilizzato esclusivamente con il supporto S (1014525).

Tensioni e correnti eccessive e temperature catodiche non idonee possono distruggere i tubi.

- Rispettare i parametri di funzionamento indicati.
- Per i collegamenti utilizzare esclusivamente cavi di sperimentazione di sicurezza.
- Eseguire i collegamenti soltanto con gli apparecchi di alimentazione disinseriti.
- Montare e smontare il tubo soltanto con gli apparecchi di alimentazione disinseriti.

Durante il funzionamento il collo del tubo si riscalda.

- Se necessario far raffreddare i tubi prima di smontarli.

Il rispetto della Direttiva CE per la compatibilità elettromagnetica è garantito solo con gli alimentatori consigliati.

### 2. Descrizione

Il tubo di Perrin serve per la dimostrazione della polarità negativa degli elettroni e per la valutazione della carica elettronica specifica  $e/m$  per mezzo della deflessione magnetica nella gabbia di Faraday collegata a un elettroscopio. Può inoltre essere analizzata e dimostrata, ad es. attraverso la produzione di figure di Lissajous, la deflessione degli elettroni in due campi alternativi magnetici perpendicolari tra loro, ovvero in campi alternativi elettrici e magnetici paralleli.

Il tubo di Perrin è un tubo a vuoto spinto con un cannone elettronico, costituito da un filamento caldo in tungsteno puro e da un anodo cilindrico, in una sfera di vetro trasparente, talvolta dotata di schermo a fluorescenza. Il cannone elettronico emette elettroni in forma di fascio sottile e rotondo, che formano una macchia sullo schermo a fluorescenza. Un tubo di vetro con una tazza di Faraday viene applicato alla sfera di vetro con un'angolazione di ca. 45° dal fascio elettronico non deviato.

### 3. Dati tecnici

Tensione di riscaldamento:	$\leq 7,5$ V CA/CC
Tensione anodica:	2000 V - 5000 V
Corrente anodica:	solitamente 1,8 mA a $U_A = 4000$ V
Corrente catodica:	4 $\mu$ A a $U_A = 4000$ V
Tensione delle piastre:	50 V - 350 V
Ampolla:	ca. 130 mm $\varnothing$
Lunghezza totale:	ca. 260 mm

### 4. Utilizzo

Per l'esecuzione degli esperimenti con il tubo di Perrin sono inoltre necessari i seguenti apparecchi:

1 Portatubo S	1014525
1 Alimentatore ad alta tensione 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309

oppure

1 Alimentatore ad alta tensione 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310
--	---------

1 Coppia di bobine di Helmholtz S	1000611
-----------------------------------	---------

1 Alimentatore CC 20 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
---	---------

oppure

1 Alimentatore CC 20 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
---	---------

1 Elettroscopio	1001027
-----------------	---------

1 Multimetro analogico AM50	1003073
-----------------------------	---------

#### 4.1 Inserimento del tubo nel portatubi

- Montare e smontare il tubo soltanto con gli apparecchi di alimentazione disinseriti.
- Spingere il tubo nel supporto con una leggera pressione finché i contatti dello spinotto non si trovano interamente nel supporto; rispettare una posizione univoca dello spinotto di guida.

#### 4.2 Rimozione del tubo dal portatubi

- Per estrarre il tubo, con l'indice della mani destra premere dal di dietro sullo spinotto di guida, fino ad allentare gli spinotti di contatto. Quindi estrarre il tubo.

### 5. Esperimento di esempio

#### 5.1 Prova che i raggi catodici sono formati da particelle e determinazione della loro polarità

- Realizzare il collegamento come illustrato in fig. 1.
- Creare una tensione anodica compresa tra 2 kV e 5 kV.

Sullo schermo a fluorescenza i raggi catodici sono visibili come macchia rotonda.

- Deflettere i raggi catodici per mezzo delle

bobine di Helmholtz in modo che cadano esattamente nella tazza di Faraday. Se necessario, modificare la direzione della corrente di bobina o ruotare i tubi nel portatubi per assicurarsi che il raggio entri completamente nella tazza di Faraday.

L'elettroscopio oscilla e mostra una carica.

- Disinserire la tensione di riscaldamento e quella anodica.

L'elettroscopio continua a oscillare.

Se la carica della gabbia di Faraday fosse dovuta alla radiazione ondulatoria, l'oscillazione dell'elettroscopio regredirebbe subito dopo la disattivazione del riscaldamento. Poiché non è questo il caso, se ne deduce che i raggi catodici sono costituiti da materie dotate di carica elettrica. Queste particelle sono gli elettroni.

La polarità negativa dei raggi catodici è dimostrabile mediante un ulteriore caricamento dell'elettroscopio per mezzo dello strofinamento di un'asta di plastica o di vetro (negativa o positiva).

#### 5.2 Valutazione della carica elettronica specifica $e/m$

- Realizzare il collegamento come illustrato in fig. 3.

In caso di deviazione dei raggi elettronici nella tazza di Faraday, per la carica specifica  $e/m$  vale:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (1)$$

$U_A$  può essere letta direttamente, il raggio di curvatura  $r$  si ottiene dai dati geometrici del tubo (diametro pistone 13 cm, tazza di Faraday inclinata di  $45^\circ$  rispetto all'asse del fascio) rispetto a  $r = \text{ca. } 16$  cm (vedere fig 2).

Per la densità di flusso magnetica  $B$  del campo magnetico secondo la geometria di Helmholtz della coppia di bobine e della corrente di bobina  $I$  vale quanto segue:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (2)$$

con  $k =$  in buona approssimazione a 4,2 mT/A,  $n = 320$  (spire) e  $R = 68$  mm (raggio della bobina).

- Dopo l'inserimento dei valori per  $U_A$ , calcolare  $r$  e  $B$  nell'equazione 1  $e/m$ .

#### 5.3 Deflessione nei campi alternativi magnetici incrociati (figure di Lissajous)

Sono necessari i seguenti strumenti:

1 Bobina supplementare	1000645
------------------------	---------

1 Alimentatore CA/CC 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002775
--	---------

oppure

1 Alimentatore CA/CC 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1002776
--	---------

1 Generatore di funzione FG100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
--	---------

oppure

1 Generatore di funzione FG100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957
--	---------

- Realizzare il collegamento come illustrato in figura 5.
- Collocare la bobina supplementare sul portatubi come illustrato nella Fig. 4.
- Collegare la bobina supplementare alla sorgente di tensione alternata.
- Collegare le bobine di Helmholtz al generatore di funzione e selezionare il segnale sinusoidale.
- Creare una tensione anodica compresa tra 2 kV e 5 kV.
- Selezionare la tensione alternata sulla bobina supplementare fino a 15 V e osservare la deviazione orizzontale.
- Impostare ad es. una frequenza di 50 Hz sul generatore di funzione, variare l'ampiezza del segnale e osservare le figure di Lissajous sullo schermo a fluorescenza.

#### 5.4 Deviazione nel campo alternato elettrico e magnetico collineare

Sono necessari i seguenti strumenti:

1 Generatore di funzione FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

oppure

1 Generatore di funzione FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

1 Alimentatore CA con tensione di uscita fino a 250 V CA

#### Note:

In questa struttura sperimentale è assolutamente necessario un cablaggio con l'anodo sul potenziale di massa!

Attenzione! Nel campo di collegamento del portatubi possono instaurarsi tensioni che rendono pericoloso il contatto!

- Realizzare il collegamento come illustrato in figura 6.
- Collegare le bobine di Helmholtz al generatore di funzione e selezionare il segnale sinusoidale.
- Creare una tensione anodica compresa tra 2 kV e 5 kV.
- Applicare una tensione alternata di ca. 200 V alle piastre di deflessione e osservare la deviazione orizzontale.
- Impostare ad es. una frequenza di 50 Hz sul generatore di funzione, variare l'ampiezza del segnale e osservare le figure di Lissajous sullo schermo a fluorescenza.

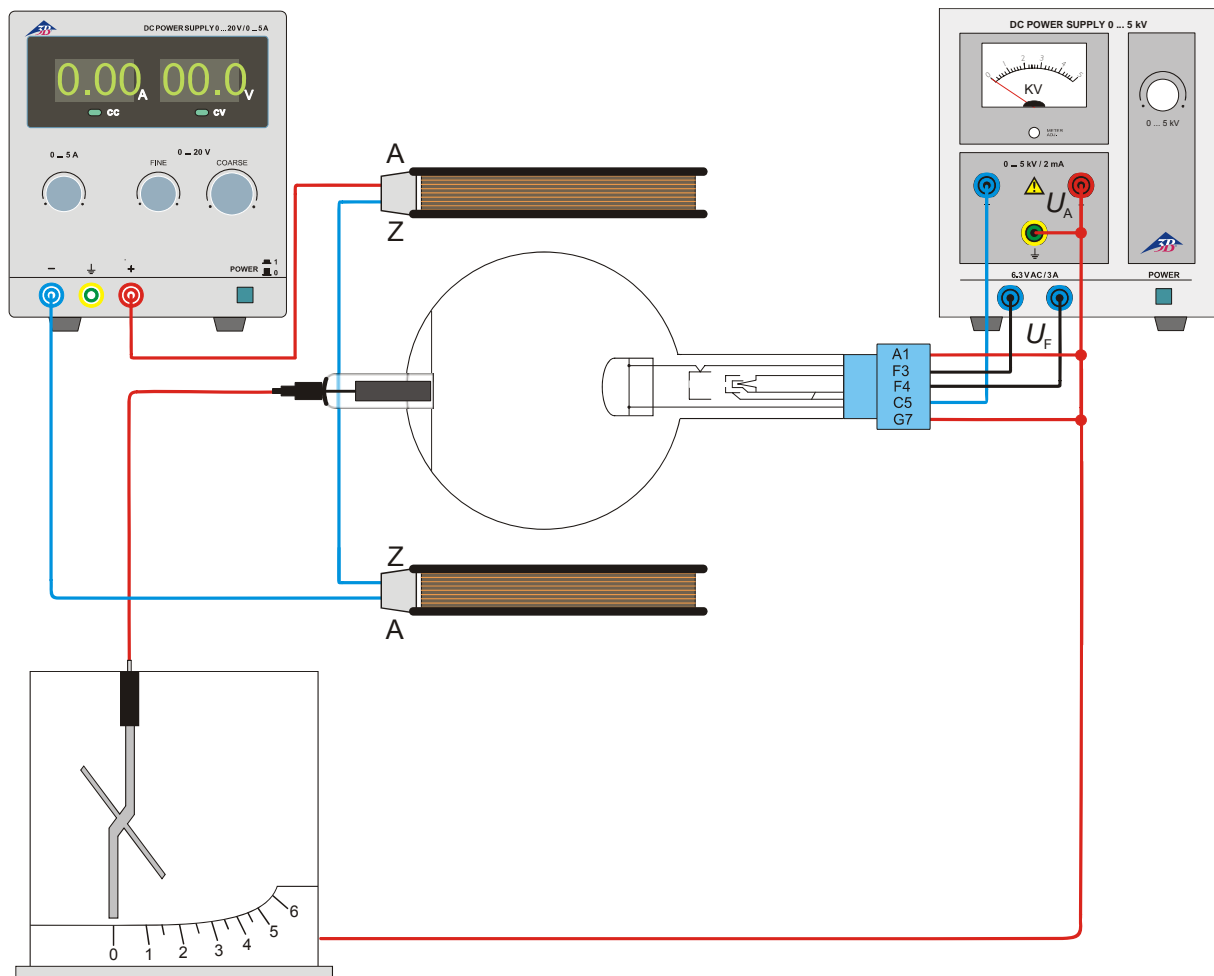


Fig. 1 Prova che i raggi catodici sono formati da particelle e determinazione della loro polarità

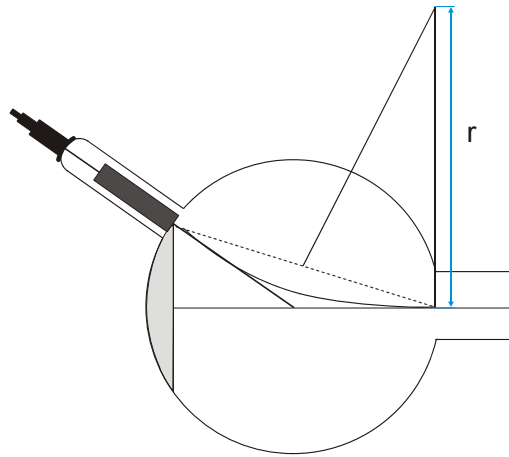


Fig. 2 Determinazione di  $r$

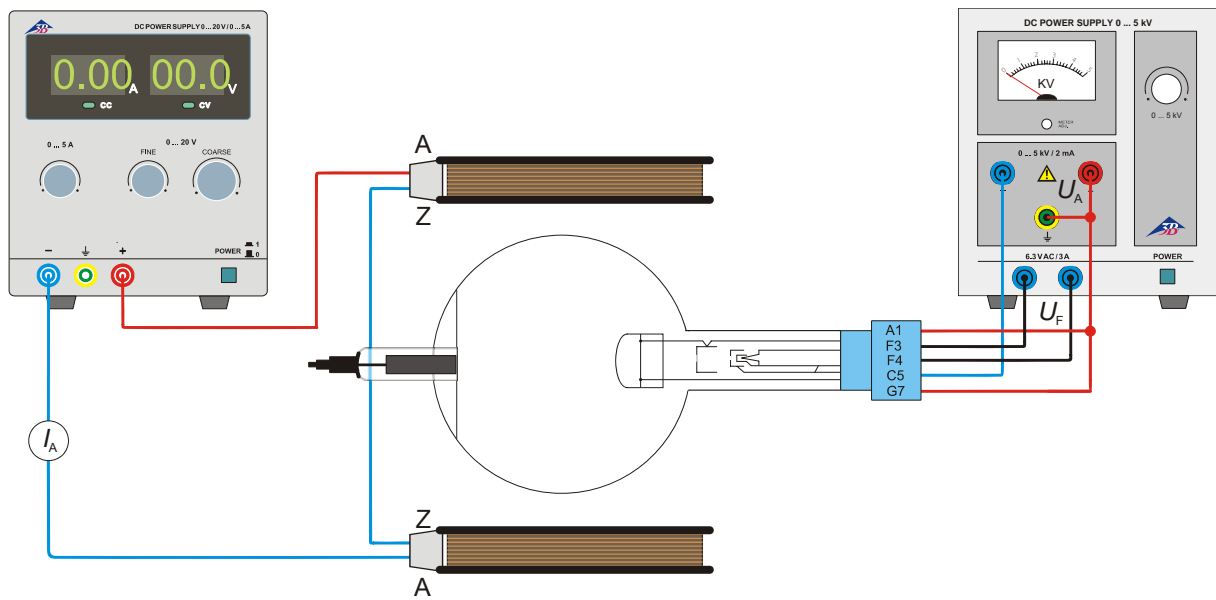


Fig. 3 Valutazione della carica elettronica specifica  $e/m$

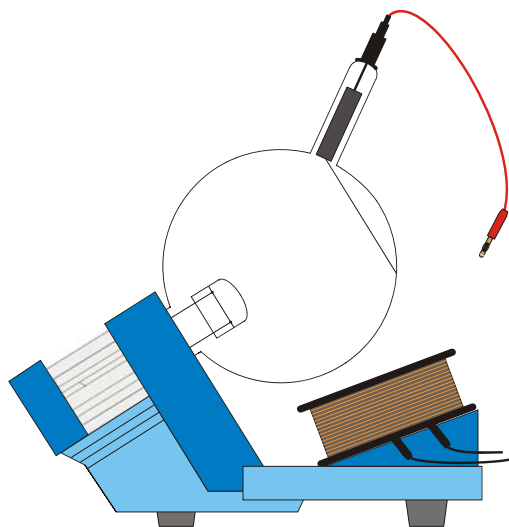


Fig.4 Montaggio della bobina supplementare

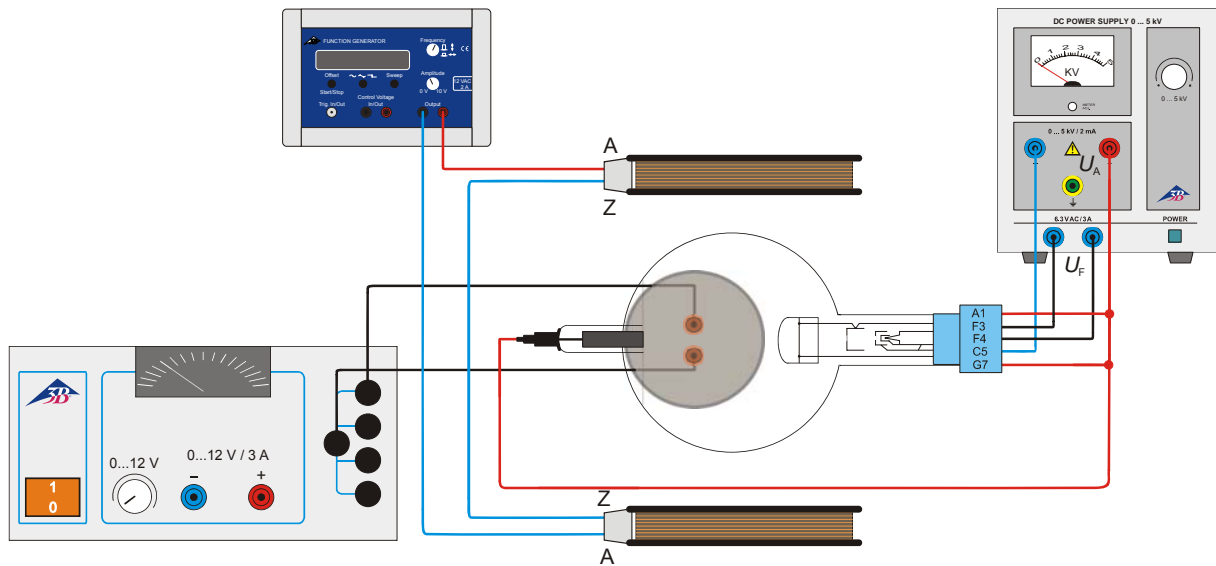


Fig.5 Deflessione nei campi alternativi magnetici incrociati (figure di Lissajous)

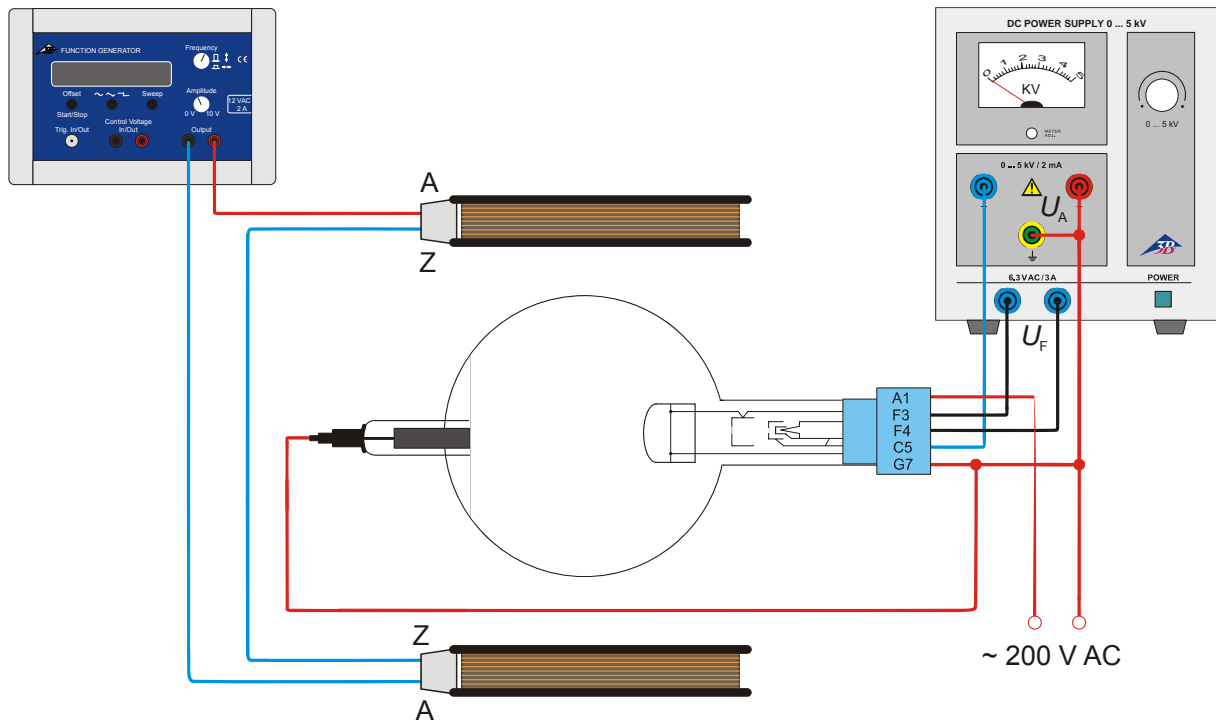


Fig 6 Deviazione nel campo alternato elettrico e magnetico collineare

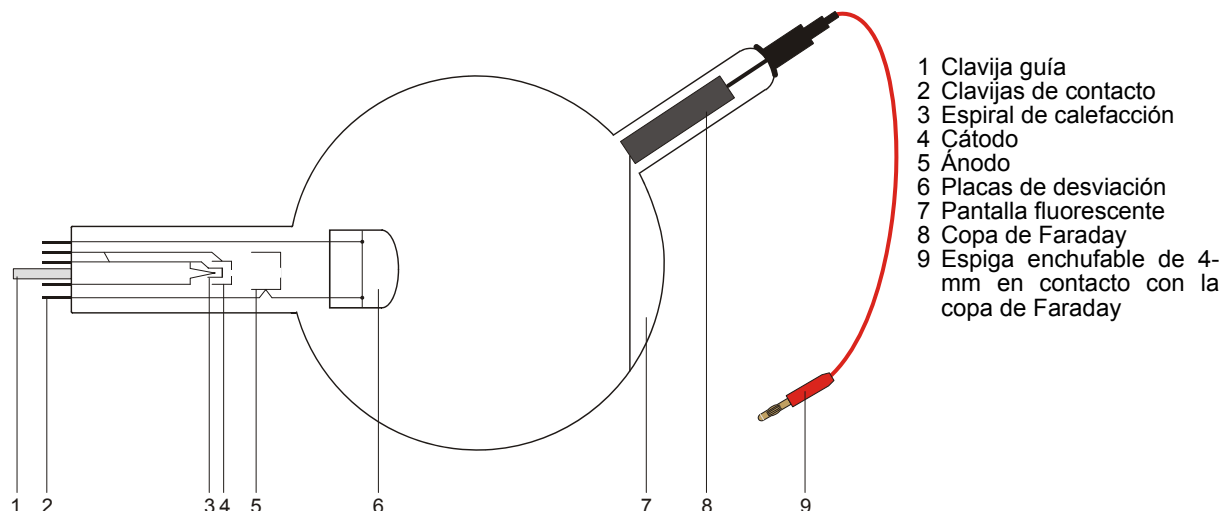




## Tubo de Perrin S 1000616

### Instrucciones de uso

12/12 ALF



### 1. Aviso de seguridad

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.
- No someter a tracción el cables de conexión.
- El tubo se debe insertar únicamente en el soporte para tubos S (1014525).

Las tensiones excesivamente altas y las corrientes o temperaturas de cátodo erróneas pueden conducir a la destrucción de los tubos.

- Respetar los parámetros operacionales indicados.
- Para las conexiones sólo deben emplearse cables de experimentación de seguridad.
- Solamente efectuar las conexiones de los circuitos con los dispositivos de alimentación eléctrica desconectados.
- Los tubos solo se pueden montar o desmontar con los dispositivos de alimentación eléctrica desconectados.

Durante el funcionamiento, el cuello del tubo se calienta.

- De ser necesario, permita que los tubos se enfrien antes de desmontarlos.

El cumplimiento con las directrices referentes a la conformidad electromagnética de la UE se puede garantizar sólo con las fuentes de alimentación recomendadas.

### 2. Descripción

El tubo de Perrin sirve para la comprobación de la polaridad negativa de los electrones y para la estimación de la carga específica del electrón  $e/m$  por medio de la desviación magnética hacia una copa de Faraday conectada con un electroscopio. Además se puede estudiar resp. demostrar la desviación de electrones en campos magnéticos alternos perpendiculares es uno al otro, resp. campos electricos y magnéticos paralelos entre sí, p. ej. por la producción de figuras de Lissajous.

El tubo de Perrin es un tubo de alto vacío con un cañon de electrones compuesto de una horquilla incandescente de tungsteno puro y un ánodo cilíndrico en un balón de vidrio transparente, el cual está parcialmente recubierto de una pantalla fluorescente. Del cañon de electrones se emiten electrones en forma de un rayo delgado redondo y se proyectan en un punto sobre la pantalla fluorescente. El embolo de vidrio con la copa de Faraday se encuentra colocado en un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al rayo de electrones no desviado.

### 3. Datos técnicos

Tensión de caldeo:	≤ 7,5 V CA/CC
Tensión anódica:	2000 V - 5000 V
Corriente anódica:	típ. 1,8 mA con $U_A = 4000$ V
Corriente del rayo:	4 $\mu$ A con $U_A = 4000$ V
Tensión de placas:	50 V - 350 V
Ampolla de vidrio:	aprox. 130 mm $\varnothing$
Longitud total:	aprox. 260 mm

### 4. Servicio

Para la realización de experimentos con el tubo de Perrin se requieren adicionalmente los siguientes aparatos:

1 Soporte de tubos S	1014525
1 Fuente de alta tensión 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
o	
1 Fuente de alta tensión 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310
1 Par de bobinas de Helmholtz S	1000611
1 Fuente de alimentación de CC, 20 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
o	
1 Fuente de alimentación de CC, 20 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
1 Electroscopio	1001027
1 Multímetro analógico AM50	1003073

#### 4.1 Instalación del tubo en el soporte para tubo

- Montar y desmontar el tubo solamente con los dispositivos de alimentación eléctrica desconectados.
- Introducir el tubo en la toma hembra del portatubos presionando ligeramente hasta que las clavijas de contacto estén colocadas correctamente en la toma, asegurándose de que la clavija-guía está en la posición correcta.

#### 4.2 Desmontaje del tubo del soporte para tubo

- Para retirar el tubo, presionar desde atrás la clavija-guía con el dedo índice de la mano derecha, hasta que las clavijas de contacto queden libres. A continuación, retirar el tubo.

### 5. Ejemplo de experimentos

#### 5.1 Comprobación de la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos y determinación de su polaridad

- Realice el cableado se acuerdo con la Fig. 1.
- Aplique una tensión de ánodo entre 3 kV y 5 kV.

En la pantalla fluorescente se hacen visibles los rayos catódicos en forma de un punto redondo.

- Los rayos catódicos se desvían utilizando las bobinas de Helmholtz de tal forma que incidan exactamente en la copa de Faraday.

En caso necesario se cambia la dirección de la corriente de las bobinas o se rota el tubo en el soporte de tubo, para que el rayo incida completamente en la copa de Faraday.

La aguja del electroscopio se desvía y muestra una carga.

- Se desconectan las tensiones de caldeo y de ánodo.
- La desviación del electroscopio se mantiene.

Si la carga de la copa de Faraday se originara debido a una radiación de ondas, la desviación del electroscopio retornaría a cero en el momento de desconectar la tensión de caldeo. Como éste no es el caso, se puede deducir que los rayos catódicos se componen de materia que está cargada electricamente. Estas partículas son los electrones.

La polaridad negativa de los rayos catódicos se puede comprobar por medio de una carga ulterior del electroscopio, ya sea por medio de una barra de plástico frotada o una de vidrio (negativo resp. positivo).

#### 5.2 Estimación de la carga específica del electrón $e/m$

- Realice el cableado de acuerdo con la Fig. 3.

En la desviación de los rayos de electrones en la copa de Faraday se tiene para la carga específica  $e/m$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (1)$$

$U_A$  se puede leer inmediatamente, el radio de curvatura  $r$  se obtiene de los datos geométricos del tubo (diámetro del émbolo 13 cm, copa de Faraday inclinada  $45^\circ$  con respecto al eje del rayo no desviado) así  $r =$  aprox. 16 cm (ver Fig 2.).

Para la densidad del flujo magnético  $B$  del campo en la geometría de Helmholtz del par de bobinas y con una corriente de bobinas  $I$ , se tiene:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (2)$$

con  $k =$  en buena aproximación 4,2 mT/A,  $n = 320$  (espiras) y  $R = 68$  mm (Radio de las bobinas).

- Se calcula  $e/m$  después de sustituir los los valores para  $U_A$ ,  $r$  y  $B$  en la ecuación 1.

#### 5.3 Desviación en campos magnéticos alternos cruzados (figuras de Lissajous)

Se requieren adicionalmente los siguientes aparatos:

1 Bobina adicional	1000645
1 Fuente de alimentación CA/CC 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002775
o	
1 Fuente de alimentación CA/CC 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002776

1 Generador de funciones FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

0  
1 Generador de funciones FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

- Realice el cableado de acuerdo con la Fig. 5.
- Se coloca la bobina adicional en el soporte de tubo de acuerdo con la Fig. 4.
- Se conecta la bobina adicional a la fuente de tensión alterna.
- Se conectan las bobinas de Helmholtz al generador de funciones y se selecciona una señal senoidal.
- Se aplica una tensión de ánodo entre 3 kV y 5 kV.
- Se selecciona una tensión alterna senoidal de hasta 15 V en la bobina adicional y se observa la desviación horizontal.
- Se ajusta por ejemplo una frecuencia de 50 Hz en el generador de funciones, se varía la amplitud de la señal senoidal y se observan las figuras de Lissajous en la pantalla fluorescente.

#### 5.4 Desviación en campos magnético y eléctrico alternos colineales

Se requieren adicionalmente los siguientes aparatos:

1 Generador de funciones FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

0  
1 Generador de funciones FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

1 Fuente de alimentación CA con una tensión de salida de hasta 250 V CA

#### Advertencia:

¡En este montaje experimental es necesario un cableado con el ánodo conectado necesariamente con el potencial de masa!

¡Cuidado! ¡En el campo de conexión del soporte de tubo se pueden tener tensiones peligrosas al contacto directo!

- Realice el cableado de acuerdo con la Fig. 6.
- Se conectan las bobinas de Helmholtz al generador de funciones y se selecciona una señal senoidal.
- Se aplica una tensión de ánodo entre 3 kV y 5 kV.
- Se conecta en las placas una tensión de desviación de aprox. 200 V y se observa la desviación horizontal.
- Se ajusta por ejemplo una frecuencia de 50 Hz en el generador de funciones, se varía la amplitud de la señal senoidal y se observan las figuras de Lissajous en la pantalla fluorescente.

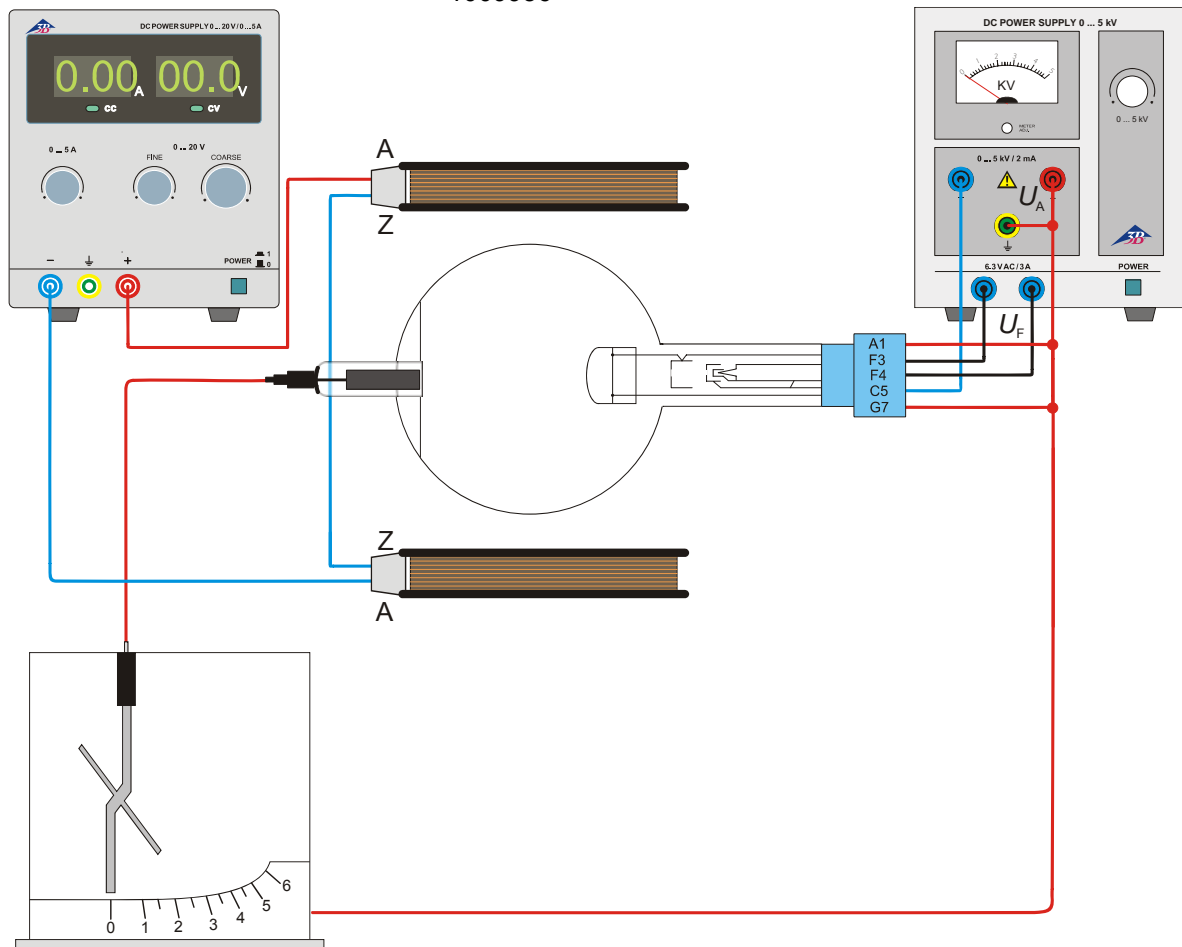


Fig. 1 Comprobación de la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos y determinación de su polaridad

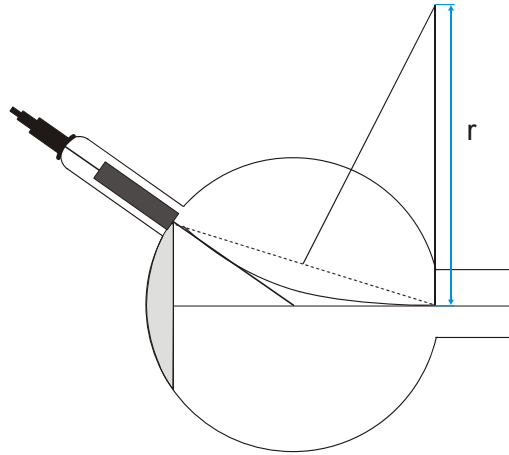


Fig. 2 Determinación de  $r$

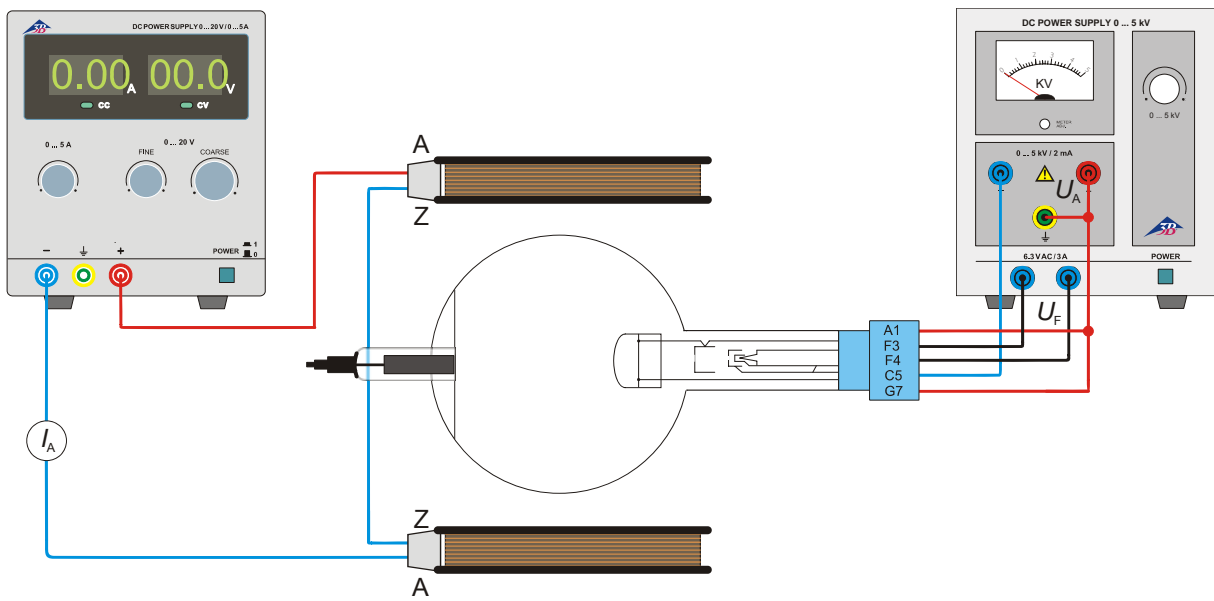


Fig. 3 Estimación de la carga específica del electrón  $e/m$

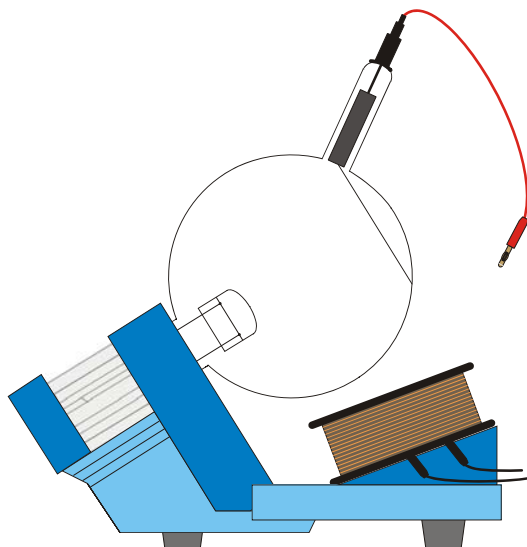


Fig.4 Montaje de la bobina adicional

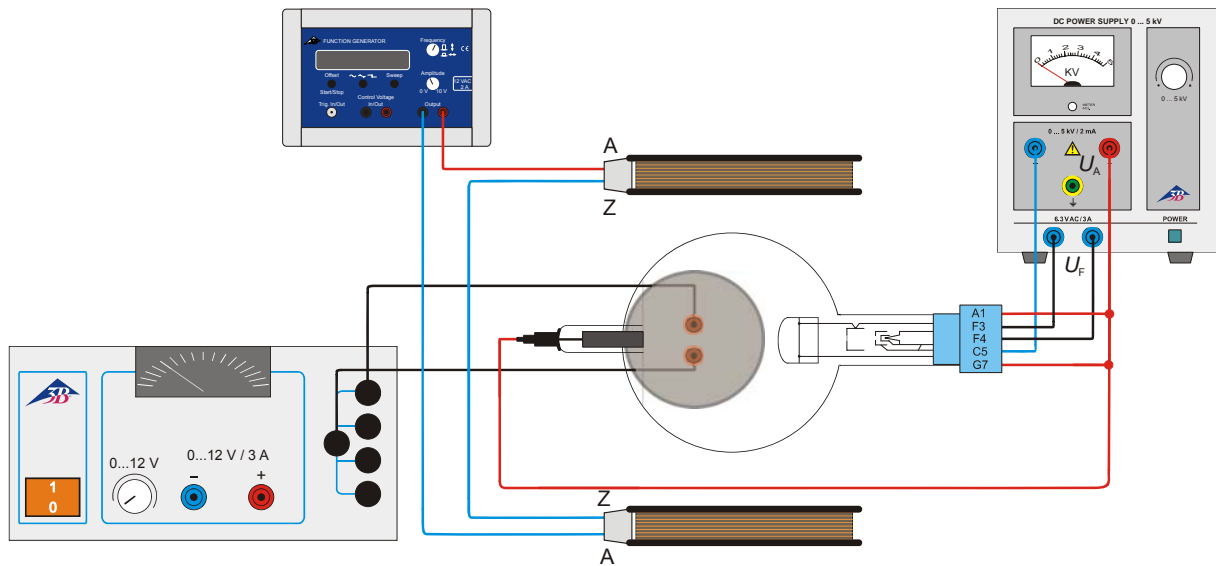


Fig.5 Desviación en campos magnéticos alternos cruzados (figuras de Lissajous)

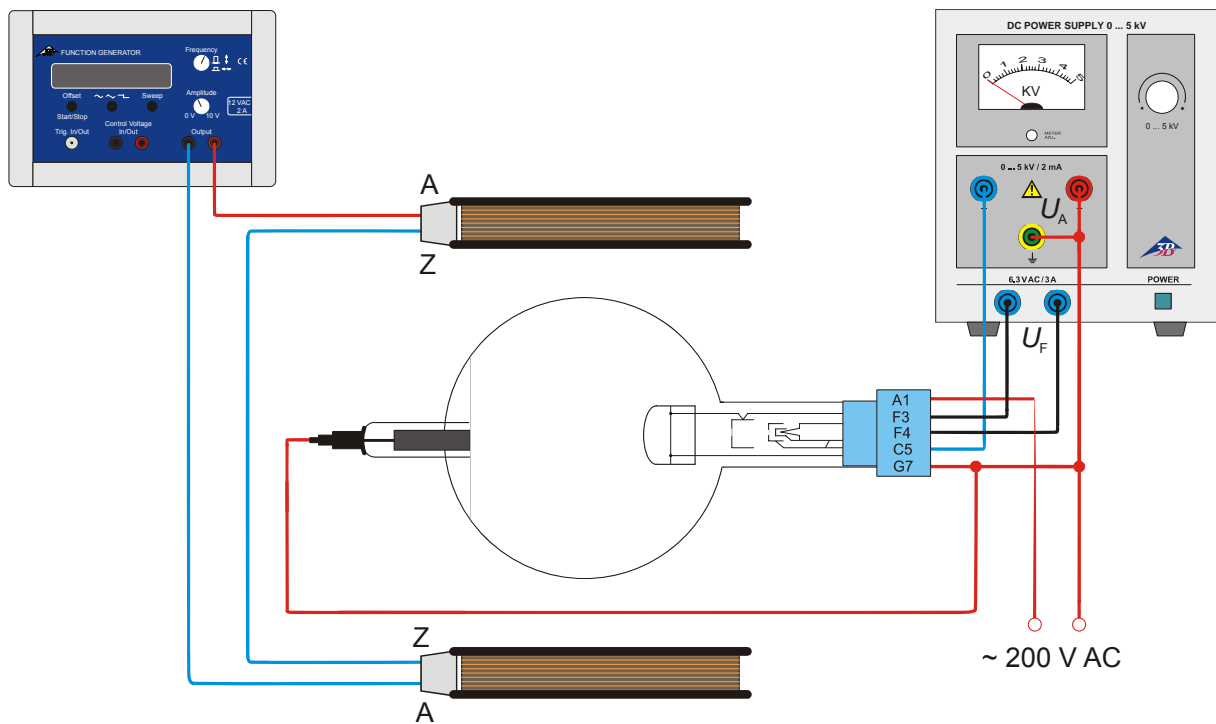


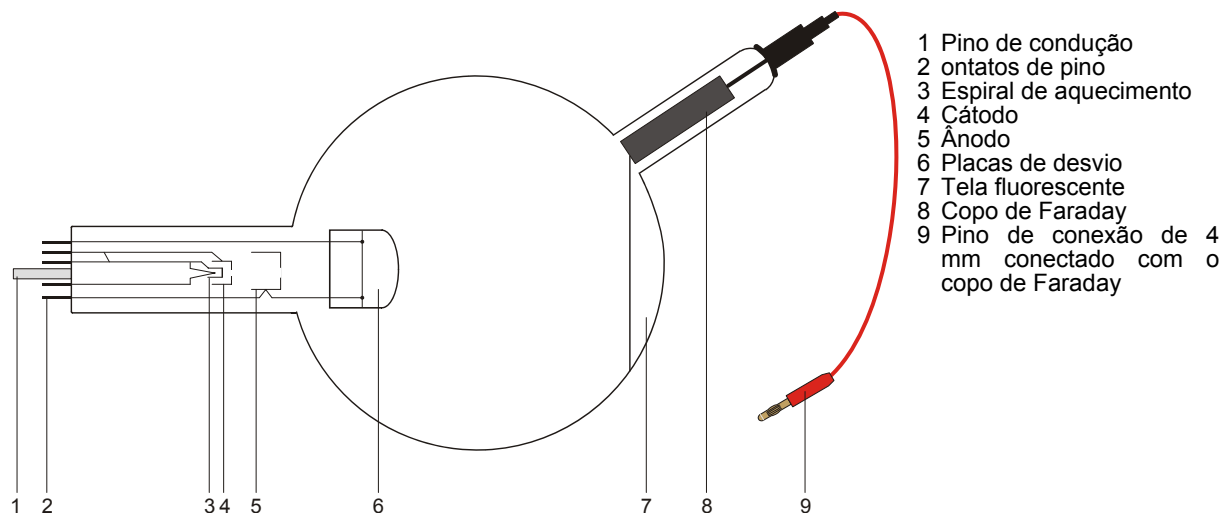
Fig 6 Desviación en campos magnético y eléctrico alternos colineales (figuras de Lissajous)



## Tubo Perrin S 1000616

### Instruções de operação

12/12 ALF



### 1. Indicações de segurança

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.
- Não sujeitar o cabos de conexão a esforço puxando-o.
- O tubo só pode ser instalado no suporte para tubo S (1014525).

Tensões excessivamente altas, correntes ou temperaturas de cátodo errôneas, podem levar à destruição dos tubos.

- Respeitar os parâmetros operacionais indicados.
- Só utilizar cabos para ensaios de segurança para as conexões.
- Somente efetuar conexões nos circuitos com os elementos de alimentação elétrica desconectados.
- Somente montar ou desmontar os tubos com os elementos de alimentação elétrica desligados.

Durante o funcionamento, o gargalo do tubo se aquece.

- Caso necessário, deixar esfriar os tubos antes de desmontá-los.

O cumprimento das diretivas EC para compatibilidade eletromagnética só está garantido com a utilização dos aparelhos de alimentação elétrica recomendados.

### 2. Descrição

O tubo de Perrin serve para a comprovação da polaridade negativa de elétrons e para a estimativa da carga específica dos elétrons  $e/m$  através do desvio magnético numa gaiola de Faraday conectada com um eletroscópio. Adicionalmente pode ser pesquisado o desvio de elétrons em dois campos magnéticos perpendiculares um ao outro ou em campos elétricos e magnéticos paralelos e, por exemplo, ser demonstrado por meio da produção de figuras de Lissajous.

O tubo de Perrin é um tubo de alto vácuo com um canhão de elétrons feito de um filamento de puro wolfram e um ânodo de forma cilíndrica numa esfera de vidro ocupada parcialmente por uma tela fluorescente. A partir do canhão de elétrons são emitidos elétrons como finos raios redondos e produzem uma mancha na tela fluorescente. Um tubo de vidro com o copo de Faraday está acoplado à esfera de vidro num ângulo de aproximadamente 45° em relação ao raio de elétrons não desviado.

### 3. Dados técnicos

Tensão de aquecimento:	≤ 7,5 V AC/DC
Tensão anódica:	2000 V - 5000 V
Corrente anódica:	típica 1,8 mA em $U_A = 4000$ V
Corrente do raio:	4 $\mu$ A a $U_A = 4000$ V
Tensão de placa:	50 V - 350 V
Ampola de vidro:	aprox. 130 mm $\varnothing$
Comprimento total:	aprox. 260 mm

### 4. Utilização

Para a realização de experiências com o tubo Perrin são necessários adicionalmente os seguintes aparelhos:

1 Suporte dos tubos S	1014525
1 Fonte de alimentação de alta tensão 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
ou	
1 Fonte de alimentação de alta tensão 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310
1 Par de bobinas de Helmholtz S	1000611
1 Fonte de alimentação DC 20 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
ou	
1 Fonte de alimentação DC 20 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
1 Eletroscópio	1001027
1 Multímetro analógico AM50	1003073

#### 4.1 Instalação do tubo no suporte para tubos

- Montar e desmontar o tubo somente com os aparelhos de alimentação elétrica desligados.
- Inserir o tubo na tomada com leve pressão até que os pinos de contato estejam completamente dentro da tomada, ao fazê-lo, garantir uma posição claramente definida do pino de condução.

#### 4.2 Desmontagem do tubo do suporte para tubos

- Para a retirada do tubo, pressionar com o dedo índice da mão direita por trás sobre o pino de condução até que os pinos de contato se soltem. Logo, retirar o tubo.

### 5. Exemplos de experiências

#### 5.1 Comprovação da natureza corpuscular dos raios catódicos e determinação da sua polaridade

- Efetuar as conexões conforme a figura 1.
- Aplicar uma tensão anódica entre 2 kV e 5 kV. Os raios catódicos são visíveis na tela fluorescente como uma mancha redonda.
- Desviar os raios catódicos com a ajuda das bobinas de Helmholtz de forma que eles incidam exatamente acima do copo de

Faraday. Caso seja necessário, alterar a direção da corrente de bobina e girar os tubos no suporte para tubos de modo a garantir que o raio incida integralmente no copo de Faraday.

O eletroscópio move o indicador e indica uma carga.

- Desligar a tensão de aquecimento e a tensão anódica.

A posição do indicador do eletroscópio mantém-se inalterada.

Se a carga da gaiola de Faraday fosse originada por radiação de ondas, então o indicador do eletroscópio retornaria assim que o aquecimento fosse desligado. Já que isto não é o caso, pode-se concluir que os raios catódicos são constituídos por matéria carregada eletricamente. Essas partículas são os elétrons.

A polaridade negativa dos raios catódicos pode ser comprovada através da carga adicional do eletroscópio por meio de uma vara de plástico ou de vidro friccionada (negativa ou positiva).

#### 5.2 Estimativa da carga específica do elétron $e/m$

- Efetuar a conexão conforme a figura 3.

No desvio de raios de elétrons no copo de Faraday é válido para a carga específica  $e/m$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (1)$$

$U_A$  pode ser imediatamente lido, o raio de curvatura  $r$  resulta dos dados geométricos do tubo (diâmetro do êmbolo de 13 cm, copo de Faraday inclinado a 45° para o eixo do raio) para  $r =$  aproximadamente 16 cm (veja fig. 2).

Para a densidade de fluxo magnético  $B$  do campo magnético com a geometria de Helmholtz do par de bobinas e a corrente de bobina  $I$  é válido:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (2)$$

com  $k = 4,2$  mT/A em boa aproximação,  $n = 320$  (espiras) e  $R = 68$  mm (rádio da bobina).

- Após inserir os valores para  $U_A$ ,  $r$  e  $B$  na equação 1, calcular  $e/m$ .

#### 5.3 Desvio em campos magnéticos alternados cruzados (figuras de Lissajous)

Os seguintes aparelhos são adicionalmente necessários:

1 Bobina suplementar	1000645
1 Fonte de alimentação AC/DC 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1002775
ou	
1 Fonte de alimentação AC/DC 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1002776
1 Gerador de função FG100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
ou	
1 Gerador de função FG100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957



- Efetuar a conexão conforme a figura 5.
- Colocar a bobina adicional no suporte para tubos conforme a figura 4.
- Conectar a bobina suplementar com a fonte de tensão alternada.
- Conectar a bobina de Helmholtz com o gerador de função e selecionar o sinal senoidal.
- Aplicar uma tensão anódica entre 2 kV e 5 kV.
- Selecionar uma tensão alternada na bobina suplementar de até 15 V e observar o desvio horizontal.
- Ajustar uma frequência de, por exemplo, 50 Hz no gerador de função, variar a amplitude do sinal senoidal e observar as figuras de Lissajous sobre a tela fluorescente.

#### 5.4 Desvio em campo magnético colinear e em campo elétrico alternado

Os seguintes aparelhos são adicionalmente necessários:

1 Gerador de função FG100 (115 V, 50/60 Hz)  
1009956

ou

1 Gerador de função FG100 (230 V, 50/60 Hz)  
1009957

1 Aparelho de alimentação na rede elétrica AC com tensão de saída de até 250 V AC

#### Observação:

Na montagem desta experiência é obrigatória no circuito a conexão do ânodo no potencial de massa!

Cuidado! No campo de conexão do suporte para tubos podem existir tensões perigosas ao toque!

- Efetuar a conexão conforme a figura 6.
- Conectar a bobina de Helmholtz com o gerador de função e selecionar o sinal senoidal.
- Aplicar uma tensão anódica entre 2 kV e 5 kV.
- Aplicar uma tensão alternada de aproximadamente 200 V na placa de desvio e observar o desvio horizontal.
- Ajustar uma frequência de, por exemplo, 50 Hz no gerador de função, variar a amplitude do sinal senoidal e observar as figuras de Lissajous sobre a tela fluorescente.

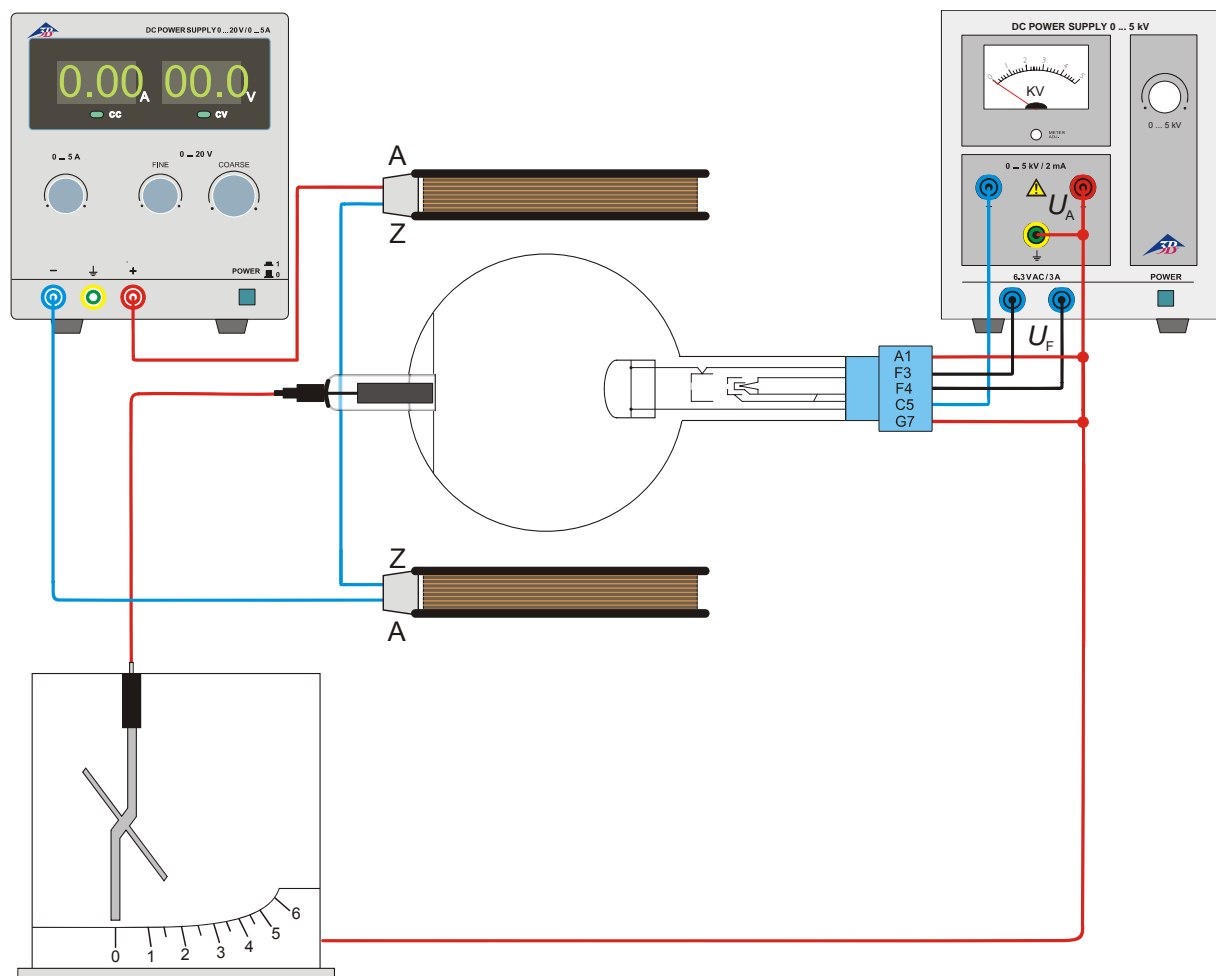


Fig. 1 Comprovação da natureza corpuscular dos raios catódicos e determinação da sua polaridade

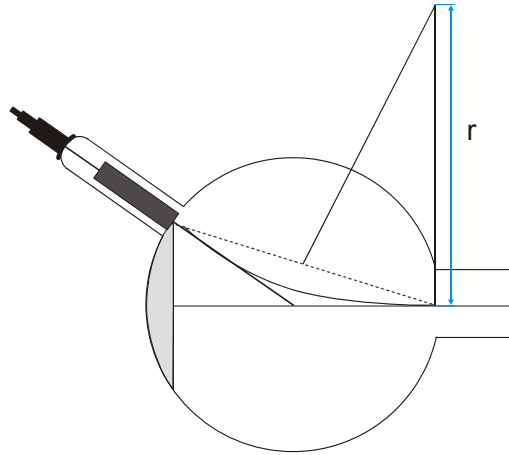


Fig. 2 Determinação de  $r$

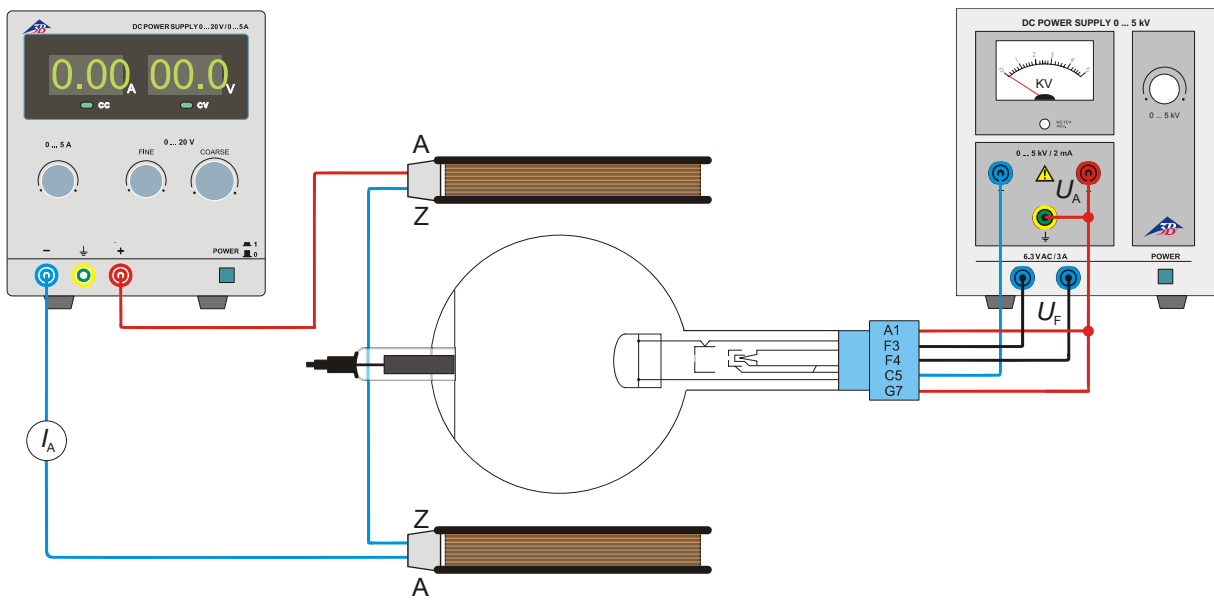


Fig. 3 Estimativa da carga específica do elétron  $e/m$

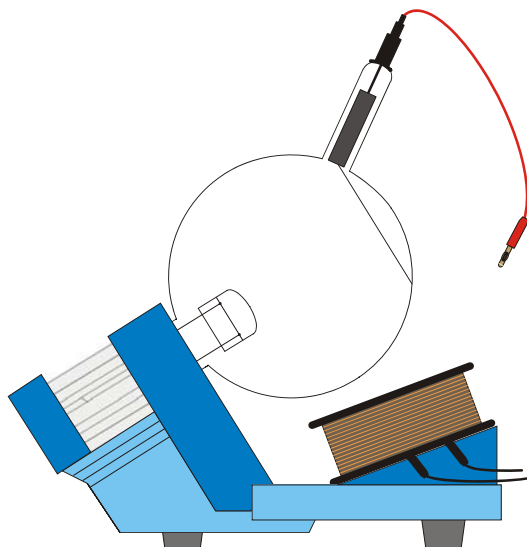


Fig.4 Montagem da bobina adicional

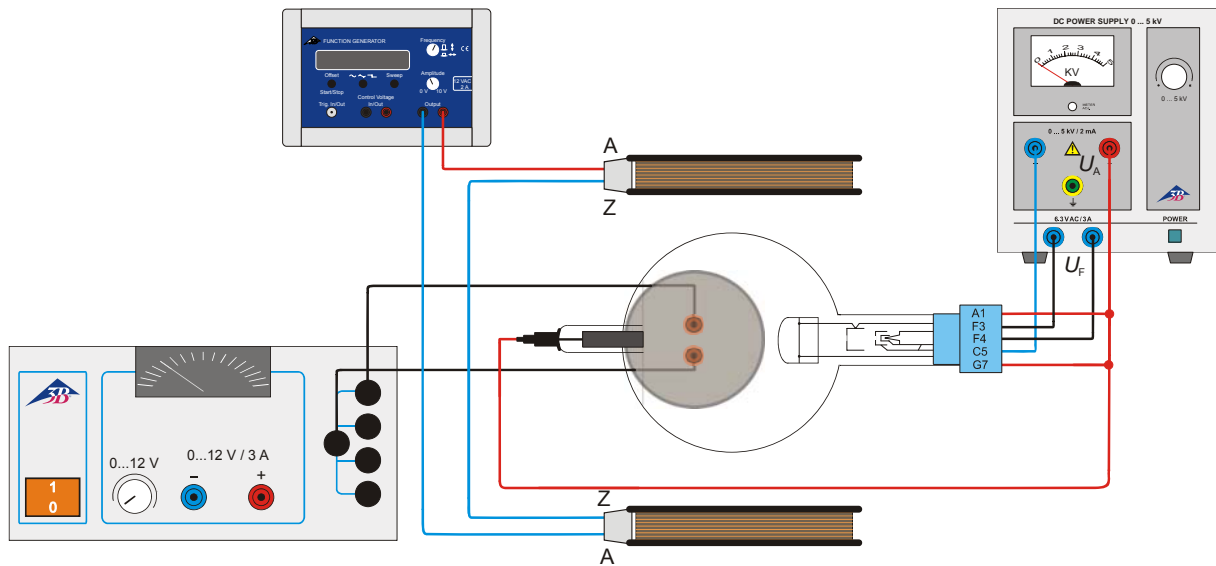


Fig.5 Desvio em campos magnéticos alternados cruzados (figuras de Lissajous)

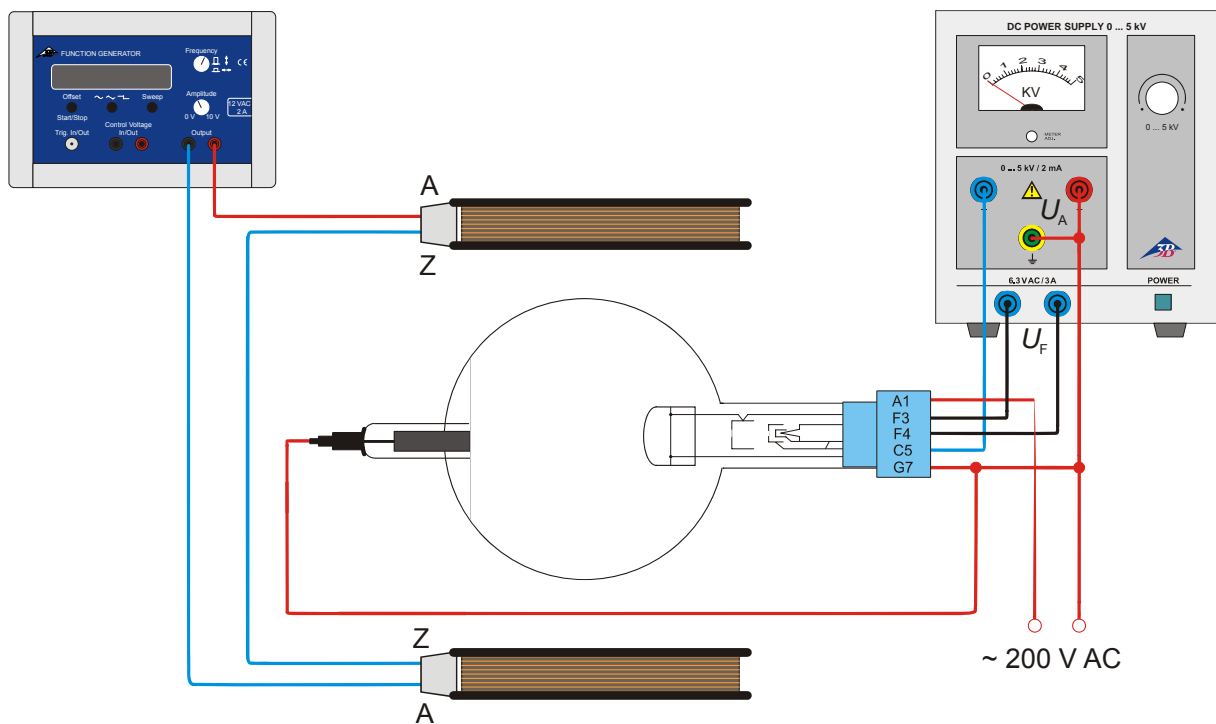


Fig 6 Desvio em campo magnético colinear e em campo elétrico alternado

