

Elektronenstrahl-Ablenkröhre

Electron beam deflection tube

Die Elektronenstrahl-Ablenkröhre ermöglicht Untersuchungen über das Verhalten von Katodenstrahlen im elektrischen und im magnetischen Feld. Experimente mit elektrostatischer bzw. magnetischer Ablenkung der Elektronen liefern Werte, die der Größenordnung von e/m bzw. v entsprechen.

Die elektrostatische Ablenkung der Katodenstrahlen erfolgt mit Hilfe zweier Kondensatorplatten, die in die Röhre eingebaut sind. Zur magnetischen Ablenkung dient das (nahezu) homogene Magnetfeld des Helmholtz-Spulenpaares (555 06).

Literatur:

Versuchsbeschreibungen zum Hauptkatalog Physikversuche "Elektrizitätslehre" (599 831).

The electron beam deflection tube allows investigations on the behavior of cathode rays in both electric and magnetic fields. Experiments with electrostatic or magnetic deflection of the electrons yield values corresponding to the order of magnitude of the specific electron charge e/m and the electron velocity v respectively.

The electrostatic deflection of the cathode rays is performed by means of two capacitor plates mounted in the tube. The (virtually) homogeneous magnetic field of the pair of Helmholtz coils (555 06) is used for the magnetic deflection.

Literature:

Physics Experiments, Volume 2, "Electricity-Electronics" (599 932).

1 Sicherheitshinweise

- Steckerstifte (a_2) und (b_1) - vgl. Fig. 1 - durch Kupplungen (501 641) berührungssicher abdecken (Hochspannung!)
- Heizspannung nicht über 6,5 V erhöhen! (Gefährdung der Heizwendel)
- Röhre bei glühender Wendel nicht bewegen!
- Starke mechanische Belastung der mit der Röhrenwandung verklebten Kunststoffkappen durch Druck, Zug oder Stoß vermeiden!
- Steckerstifte an der Röhre grundsätzlich nur mit **einem** Experimentierkabel beschalten, da mehrere aufeinander gesteckte Stecker eine unzulässige mechanische Belastung bewirken können.
- Für Versuche 3.2.1 hochspannungsfeste Heizspannungsquelle verwenden!

1 Safety Notes

- Plug pins (a_2) and (b_1) - cf. Fig. 1 - are to be covered safe to touch by means of two-way plug adapters (501 641) (high tension).
- Do not increase the filament voltage above 6.5 V (danger of damage to the heating coil!).
- Do not move the tube when the filament is incandescent.
- Strong mechanical stress exerted on the plastics caps glued over the tube wall, by pressure, pulling or shock should be avoided.
- The plug pins of the tube should only be connected using **one** cable as several superposed plugs might cause an inadmissible mechanical stress.
- Use a high-voltage proof heating voltage source in the experiment 3.2.1.

2 Technische Daten; Beschreibung

Direkt geheizte Wolfram-Katode;	
Heizspannung U_f	6 V $\approx$
Heizstrom I_f	ca. 1,35 A
Anodenspannung U_A	1 bis 5 kV-
Abstand zwischen den Kondensatorplatten	ca. 5,4 cm
Durchmesser des Glaskolbens	ca. 13 cm
Gesamtlänge der Röhre	ca. 30 cm

2 Technical data; description

Directly heated tungsten cathode	
filament voltage U_f	6 V AC/DC
filament current I_f	approx. 1.35 A
anode voltage U_A	1 to 5 kV DC
distance between capacitor plates	approx. 5.4 cm
diameter of glass bulb	approx. 13 cm
total length of tube	approx. 30 cm

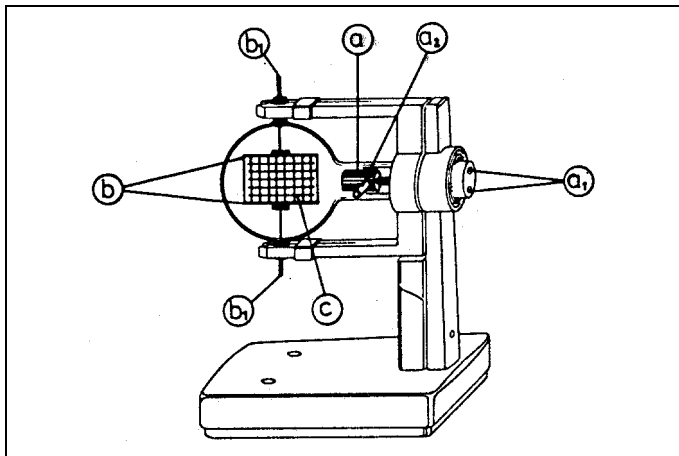


Fig. 1

Elektronenstrahl-Ablenkröhre (555 12) in Experimentierständer (555 05)
Electron beam deflection tube (555 12) mounted on the universal stand (555 05)

Funktionsteile (Fig. 1)

- (a) Elektronenkanone, bestehend aus direkt geheizter Wolfram-Glühkatode und zylinderförmiger Anode
- (a₁) mit Glühkatode verbundenes Buchsenpaar
- (a₂) mit Anode verbundener Steckerstift
- (b) Kondensatorplatten zur elektrostatischen Ablenkung
- (b₁) mit Kondensatorplatten verbundene Steckerstifte
- (c) Fluoreszenzschirm mit Koordinaten-Netz in cm-Teilung

3 Bedienung

3.1 Betriebsmittel

Heizspannung: 6 V; 1,5 A, z. B.
aus Transformator 6 V, 12 V 562 73
oder
aus hochspannungsfester Spannungsquelle, z. B.
Experimentier-Transformator, bestehend aus:
Netzspule, 500 Windungen 562 21
Kleinspannungsspule 50 Windungen 562 18
U-Kern mit Joch und Spannvorrichtung 562 11/12

Wichtig!

Eine hochspannungsfeste Heizspannungsquelle ist bei Versuch 3.2.1 erforderlich! (Katodenpotential 1 bis 5 kV gegen Erde!)

Anodenspannung:

1 ... 5 kV-; 2 mA; geglättet, kontinuierlich einstellbar,
z. B. aus Hochspannungs-Netzgerät, 10 kV 522 37

Spannung für Kondensatorplatten:

1 ... 5 kV-; geglättet; einstellbar,
z. B. aus Hochspannungs-Netzgerät 522 37

Spannung für Helmholtz-Spulenpaar (555 06):

0 bis 10 V-; 1 A, geglättet, kontinuierlich einstellbar,
z. B. aus
Stabilisiertem Netzgerät, 0 bis ± 15 V, 1,2 A 522 30

3.2 Versuchsbeispiele

3.2.1 Elektrostatische Ablenkung

Ein Elektron, welches das (homogene) elektrische Feld eines Plattenkondensators (Kondensatorspannung U_p , Plattenabstand d) mit der Geschwindigkeit v durchfliegt, bewegt sich auf einer Parabelbahn (vgl. Fig. 2).

Operational parts (Fig. 1)

- (a) Electron gun, consisting of directly heated tungsten incandescent cathode and cylinder-shaped anode
- (a₁) Pair of sockets connected to the incandescent cathode
- (a₂) Plug pin connected to the anode
- (b) Capacitor plates for electrostatic deflection
- (b₁) Plug pins connected to the capacitor plates
- (c) Fluorescent screen with graticule divided in centimeters

3 Operation

3.1 Operating apparatus:

Filament voltage: 6 V; 1,5 A, e. g.
tapped from transformer 6 V, 12 W 562 73
or
from high-voltage proof voltage source, e. g.
demountable transformer, consisting of
coil with 500 turns 562 21
coil with 50 turns 562 18
U-core with yoke and clamping device 562 11/12

Important:

A high-voltage proof heater voltage source is necessary for the experiments 3.2.1 (cathode potential of 1 to 5 kV to earth.)

Anode voltage:

1 to 5 kV DC; 2 mA; smoothed, continuously adjustable, e. g. tapped from the high-voltage power supply, 10 kV 522 37

Voltage for the capacitor plates:

1 to 5 kV DC; smoothed; adjustable,
e. g. tapped from high-voltage power supply 522 37

Voltage for pair of Helmholtz coils 555 06:

0 to 10 V DC; 1 A, smoothed, continuously adjustable,
e. g. tapped from
DC power supply, 0 to ± 15 V, 1.2 A 522 30

3.2 Examples of experiments

3.2.1 Electrostatic deflection

An electron passing through the (homogeneous) electric field of a plate capacitor (capacitor voltage U_p , distance between the plates d) with the velocity v moves on a parabolic trajectory (cf. Fig. 2).

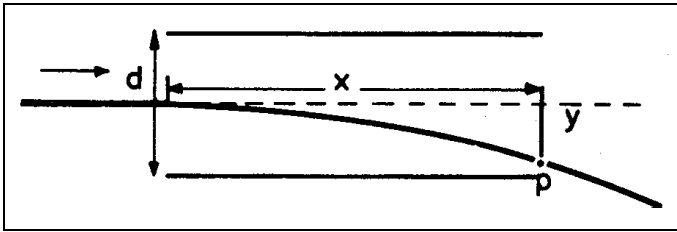


Fig. 2

$$y = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{E}{v^2} x^2 \text{ mit } E = \frac{U_p}{d} \quad (\text{I})$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{E}{v^2} x^2 \text{ with } E = \frac{U_p}{d} \quad (\text{I})$$

Daraus folgt wegen

Thus, because

$$v^2 = 2 \frac{e}{m} U_A \quad (U_A = \text{Anodenspannung})$$

$$v^2 = 2 \frac{e}{m} U_A \quad (U_A = \text{anode voltage})$$

$$y = \frac{x^2}{4d} \frac{U_p}{U_A} \quad (\text{II})$$

$$y = \frac{x^2}{4d} \frac{U_p}{U_A} \quad (\text{II})$$

Mit einem Versuchsaufbau gemäß Fig. 3 läßt sich

By means of an experiment assembly according to Fig 3. it is possible

1. die Beziehung (II) bestätigen (näherungsweise). Dazu stellt man zusammengehörige Wertepaare von x und y graphisch dar mit x^2 als Abszisse und y als Ordinate und bestätigt die Proportionalität $y \sim x^2$ aus (II).
2. v aus (I) bestimmen, wenn man x, y experimentell ermittelt und $\frac{e}{m}$ als bekannt voraussetzt.

1. to confirm the relation (II) (approximately). For this purpose related pairs of values of x and y are plotted graphically with x^2 as abscissa and y as ordinate and the resulting curve confirms the proportionality $y \sim x^2$ from (II);
2. to determine v from (I) when x and y are found experimentally and $\frac{e}{m}$ is known.

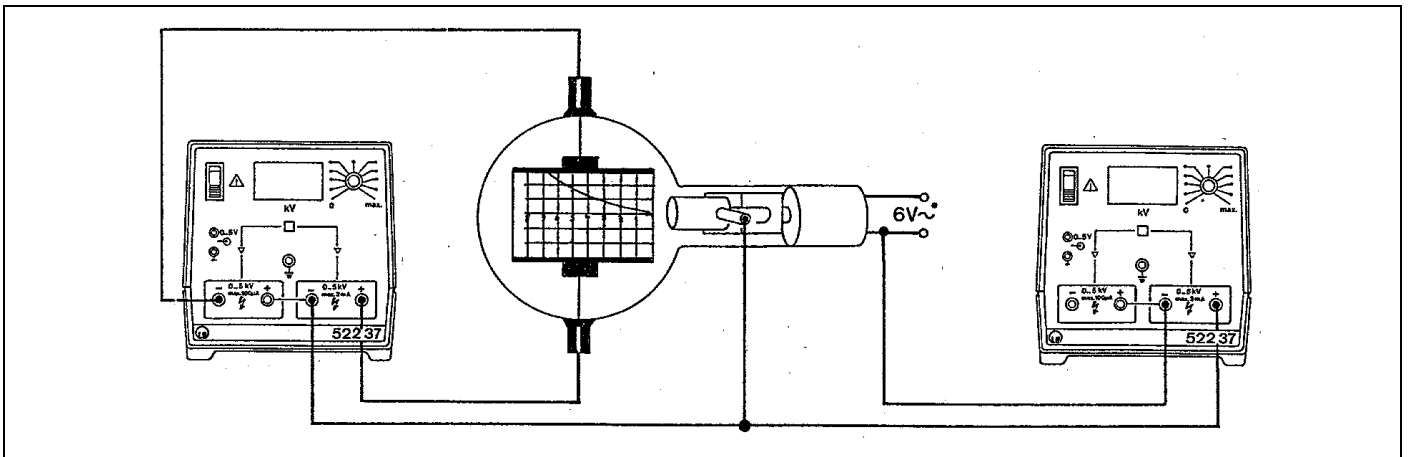


Fig. 3

3.2.2 Elektromagnetische Ablenkung; Meßbeispiel zur Bestimmung von e/m und v

3.2.2 Electromagnetic deflection; measuring example for determining e/m and v

Ein Elektron der Masse m und der Ladung e , das sich senkrecht zu einem magnetischen Feld $\mu_0 H$ bewegt, erfährt eine Zentralkraft $\mu_0 H e v$, die es in eine Kreisbahn zwingt. Dieser Zentralkraft hält die Fliehkraft $(mv^2)/r$ das Gleichgewicht:

An electron of mass m and charge e moving perpendicularly to a magnetic field $\mu_0 H$ receives a centripetal force $\mu_0 H e v$ forcing it into a circular path. The centrifugal force $(mv^2)/r$ is equivalent to this centripetal force:

$$\mu_0 H e v = \frac{mv^2}{r} \quad (\text{I})$$

$$\mu_0 H e v = \frac{mv^2}{r} \quad (\text{I})$$

wobei

v = velocity of the electron

v die Geschwindigkeit des Elektrons und r den Krümmungsradius bedeuten.

r = radius of curvature

Für die durch die Anodenspannung U_A bestimmte Geschwindigkeit v der Elektronen gilt:

For the velocity v of the electrons which is determined by the anode voltage U_A the following equation holds true:

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U_A} \quad (\text{II})$$

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U_A} \quad (\text{II})$$

Aus (I) und (II) folgt für die spezifische Ladung e/m des Elektrons

From (I) and (II) it follows for the specific charge e/m of the electron:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{(\mu_0 H r)^2} \quad (\text{III})$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{(\mu_0 H r)^2} \quad (\text{III})$$

U_A lässt sich unmittelbar messen, r und H werden aus experimentell ermittelten Daten und den geometrischen Abmessungen der Röhre bzw. des Helmholtz-Spulenpaares folgendermaßen bestimmt:

Bestimmung von r (siehe Fig. 4)

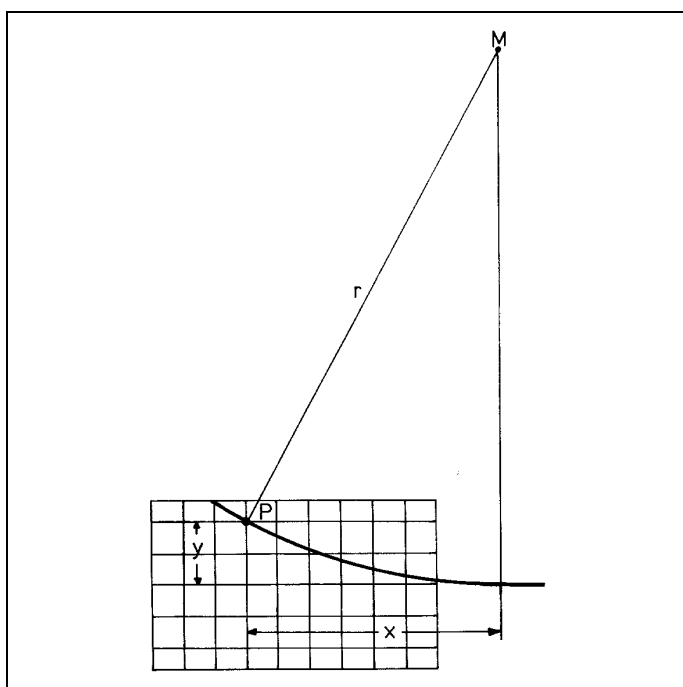
Der Krümmungsradius r des auf dem Fluoreszenzschirm sichtbaren Elektronenstrahls ergibt sich aus der Fig. 4 zu entnehmenden Beziehung

$$r^2 = x^2 + (r - y)^2.$$

Daraus folgt:

$$y = \frac{x^2 + y^2}{2r} \quad (\text{IIIa})$$

für eine rechnerische Bestimmung von r . Man stellt Wertepaare x und y (s. Abb. 4) graphisch dar mit $x^2 + y^2$ als Abszisse und y als Ordinate und bestimmt den Proportionalitätsfaktor $1/2r$ aus der die Punkte annähernden Geraden.



U_A can be measured directly; r and H are determined from the experimentally found data and the geometrical dimensions of the tube and the pair of Helmholtz coils in the following way:

Determination of r (see Fig. 4)

The radius of curvature r of the electron beam visible on the fluorescent screen follows from the relation that can be taken from Fig. 4.

$$r^2 = x^2 + (r - y)^2.$$

It follows therefrom

$$y = \frac{x^2 + y^2}{2r} \quad (\text{IIIa})$$

by way of calculation of r . Pairs of values of x and y are plotted graphically with $x^2 + y^2$ as abscissa and y (see Fig. 4) as ordinate. The proportionality constant $1/2r$ is determined from the straight line best fitting the points.

Fig. 4

Bestimmung von $B = \mu_0 \cdot H$

Die magnetische Flußdichte B wird entweder experimentell bestimmt (z. B. mit Tangentialer B-Sonde, 516 60, und Teslameter, 562 62) oder aus dem Biot-Savartschen Gesetz berechnet. Danach gilt für die Feldstärke H des (nahezu) homogenen Magnetfeldes des Helmholtz-Spulenpaares:

$$H = \frac{n R^2 I}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \quad (\text{IIIb})$$

n = Windungszahl je Spule;
 R = Spulenradius;
 a = halber mittlerer Spulenabstand;
 I = Stromstärke je Spule.

Für das hier zur Verfügung stehende Helmholtz-Spulenpaar ergibt sich mit

$n = 320$ (angegeben),
 $R = 6,8$ cm (gemessen),
 $a = 3,4$ cm (gemessen),

für die Feldstärke $H = 33,8 \cdot 10^2 \text{ m}^{-1} \cdot I$

Determination of $B = \mu_0 \cdot H$

The magnetic flux density B is either determined experimentally (e.g. with the tangential B-probe, 516 60, and Teslameter, 562 62) or calculated according to Biot-Savart's law. According to this, the following applies for the field strength H of the (virtually) homogeneous magnetic field of the pair of Helmholtz coils:

$$H = \frac{n R^2 I}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \quad (\text{IIIb})$$

n = number of turns per coil
 R = radius of the coil
 a = half mean distance of the coils
 I = current per coil

For the pair of Helmholtz coils used here, with

$n = 320$ (given),
 $R = 6.8$ cm (measured) and
 $a = 3.4$ cm (measured)

it follows for the field strength $H = 33,8 \cdot 10^2 \text{ m}^{-1} \cdot I$

Anordnung gemäß Fig. 5 aufbauen;
Spulen so hintereinander schalten, daß sie gleichsinnig vom Strom durchflossen werden.

Assemble arrangement according to Fig. 5;
connect the coils in series so that the direction of current flow is the same in both coils.

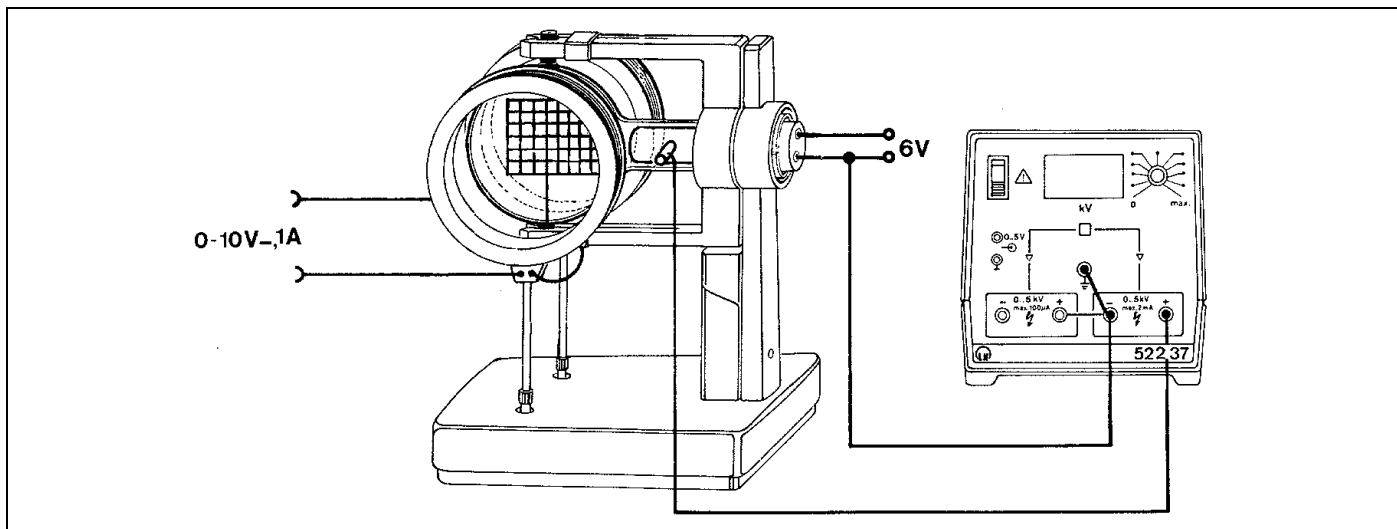


Fig. 5

Meßbeispiel:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{(\mu_0 H r)^2}$$

Anodenspannung $U_A = 4000 \text{ V}$

Spulenstrom $I = 0,31 \text{ A}$

magnetische Feldstärke

$$H = 33,8 \cdot 10^2 \cdot 0,31 \text{ Am}^{-1} = 10,5 \cdot 10^2 \text{ Am}^{-1}$$

Graphische Bestimmung von r nach (IIIa) aus mehreren Wertepaaren x, y (s. Fig. 6 und Tabelle 1)

$$y = \frac{1}{2r} [x^2 + y^2]$$

x	cm	4	5	6	7	8
y	cm	0,4	0,7	1,0	1,4	1,8
$x^2 + y^2$	cm ²	16,2	25,5	37,0	51,0	67,2
$\tan \alpha = \frac{1}{2r}$	$\frac{1}{\text{cm}}$	0,028 (aus Diagramm 6)				
r	cm	17,9				

Measuring example:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{(\mu_0 H r)^2}$$

anode voltage $U_A = 4000 \text{ V}$

coil current $I = 0.31 \text{ A}$

magnetic field strength

$$H = 33,8 \cdot 10^2 \cdot 0,31 \text{ Am}^{-1} = 10,5 \cdot 10^2 \text{ Am}^{-1}$$

Graphical determination of r according to (IIIa) from several pairs of coordinates x, y (see Fig. 6 and table 1)

$$y = \frac{1}{2r} [x^2 + y^2]$$

x	cm	4	5	6	7	8
y	cm	0.4	0.7	1.0	1.4	1.8
$x^2 + y^2$	cm ²	16.2	25.5	37.0	51.0	67.2
$\tan \alpha = \frac{1}{2r}$	$\frac{1}{\text{cm}}$	0.028 (from diagram 6)				
r	cm	17,9				

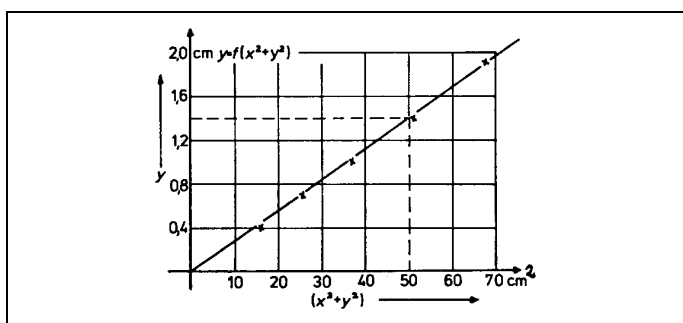


Fig. 6

For e/m it follows with

$U_A = 4000 \text{ V}$,

$H = 10,5 \cdot 10^2 \text{ Am}^{-1}$

$r = 0.179 \text{ m}$

$\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Vs A}^{-1} \text{ m}^{-1}$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot 4000}{(1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 10,5 \cdot 10^2 \cdot 0,179)^2} = 1,45 \cdot 10^{11} \text{ As kg}^{-1}$$

Für e/m ergibt sich mit

$U_A = 4000 \text{ V}$,

$H = 10,5 \cdot 10^2 \text{ Am}^{-1}$,

$r = 0,179 \text{ m}$,

$\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Vs A}^{-1} \text{ m}^{-1}$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot 4000}{(1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 10,5 \cdot 10^2 \cdot 0,179)^2} = 1,45 \cdot 10^{11} \text{ As kg}^{-1}$$