



Kuva 1 a

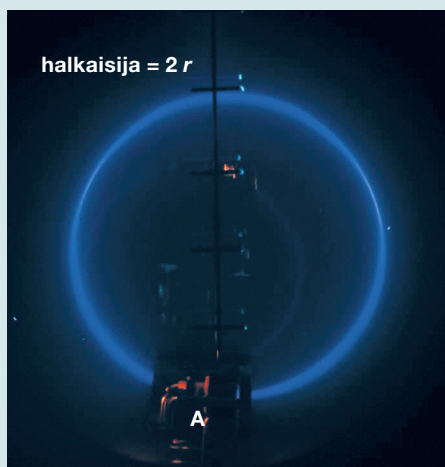
Kokeessa määritetään elektronin ominaisvaraus e/m.

Välineet

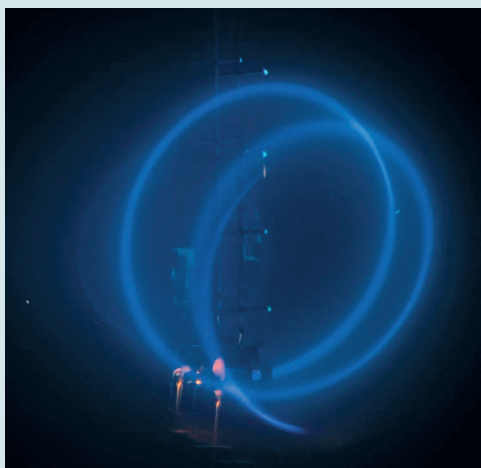
95105	Mittausohjelma Coach 6.0 WIN
21075	Purkausputki, Fine beam
21076	Säätöyksikkö 21075 putkelle

Laitteen teknisiä tietoja

Putken sisällä on epäsuorasti hehkutettu katodi, anodi ja Wehnelt-sylinteri. Putken ympärille on kiinnitetty pysyvät Helmholtzin kelat, joilla synnytetään homogeeninen magneettikenttä. Putkessa on heliumia 0,13 hPa:n paineessa. Elektronit törmäävät kaasuatomeihin jolloin elektronien rata tulee näkyviin. Kiihdytysjännite ja kelojen virta voidaan lukea suoraan laitteeseen asennetuista mittareista. Molempia voidaan säätää.



Kuva 1 b



Kuva 1 c

(Suihku lähtee kohdasta A vasemmalle ja kiertää ympyrärataa).

- a) Helmholtzin kelat
Kelojen halkaisija n. 300 mm
Johdinkierroksia 124
Magneettikenttä 0-3,4 mT

- b) Käyttöyksikkö
Kelojen virta 0 – 4,5 A

$$U_{\text{out}} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$$

Anodijännite 15 – 300 V, 10 mA max

Ulostulo	$U_{\text{out}} = \frac{U_A}{100}$
Hehkujännite	5-7 V DC, 1 A max
Wehnelt -jännite	0 – -50 v
Näyttö	3 numeroa LED-näyttö
Ulostuloliitännät	4 mm turvajohtimet

Yleistietoa

Putken pyörimiskulma	-10° - 270°
Käyttöjännite	100 – 240 V, 50/60 Hz
Kaapelit	EU, UK ja US
Mitat	n. 310x275x10 mm
Paino	n. 7,5 kg

- c) Putken täyttöaine
Täyttökaasu helium
Paine 0,13 hPa

- d) Yleistietoa
Putken halkaisija 165 mm

Sisällä oleva mitta

0 – 20 mm – 40 mm – 60 mm – 80 mm – 100 mm

Tuloksia

Anodijännite alussa on 120 V ja I_H niin suuri, että suihkun halkaisija on 10 cm (säde 5 cm, kuva 1 b).

Jännitettä voi esim. kasvattaa 20 V:n väliin (300 V:iin saakka). Esimerkkimittauksessa 280 V:iin saakka.

I_H on aina sellainen, että $r = 5$ cm.

Saadaan taulukko

I_H/A	Jännite	2*jännite (V)	$r^2 B^2 (10^{-10} T^2 m^2)$
0.91	120	240.00	11.83
1.00	140	280.00	14.29
1.07	160	320.00	16.36
1.14	180	360.00	18.58
1.21	200	400.00	20.93
1.28	220	440.00	23.38
1.34	240	480.00	25.65
1.39	260	520.00	27.65
1.45	280	560.00	30.03

Peruskäsitteet

Elektronien ominaisvaraukselle e/m voidaan johtaa kaava (1),

$$(1) \quad e/m = \frac{2U}{r^2 B^2}, \text{ missä}$$

U on anodijännite (V)
 r on elektroniradan säde (cm)
 B on magneettivuon tiheys (T)
 B voidaan laskea kaavasta (2)

$$(2) \quad B = k I_H, \text{ missä}$$

$$k = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \cdot 4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{N}{R}$$

I_H on kelojen virta.

Huom! Kaava (1) on johdettu ehdolla: elektronisuihku kohtaa magneettikentän suorassa kulmassa.

Kokeen suoritus

Aseta hehkujännitteen nuppi keskiasentoon (n. 6 V). odota n. 1 min, jolloin lämpötila stabilisoituu. Kasvata varovasti anodijännitettä, jolloin elektronisuihkun rata tulee näkyväksi. Wehnelt-jännitteellä suihkua voidaan fokusoida. Kasvata virtaa I_H , jolloin suihku kaareutuu ympyräradalle. Suihkun kirkkautta säädetään hehkujännitteellä.

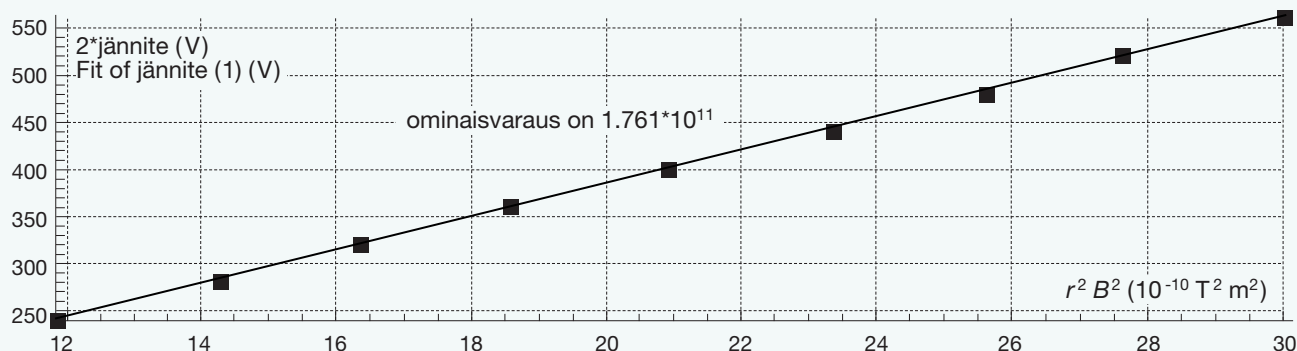
Taulukon tekoon ja esittämiseen on käytetty Coach-mittausohjelmaa. Suora on sovitettu pisteistöön ja saatu kulmakerroin on noin

$1,761 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$, joka on samalla e/m-suhde.

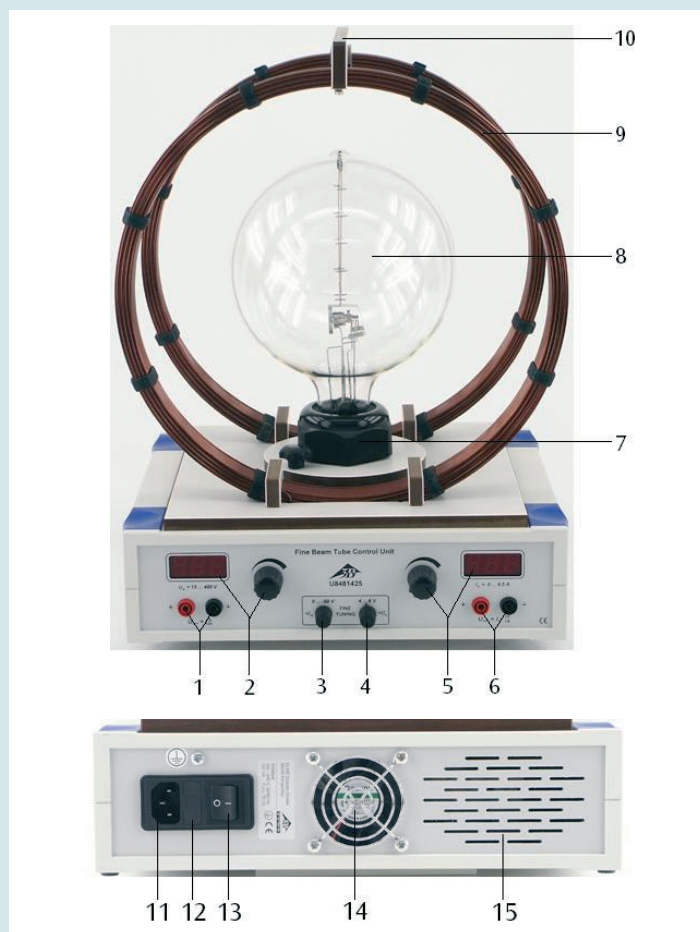
Taulukkokirjan arvo kolmella desimaalilla on $1,759 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$.

Mittaustulos on hyvässä sopusoinnussa kirjallisuusarvon kanssa.

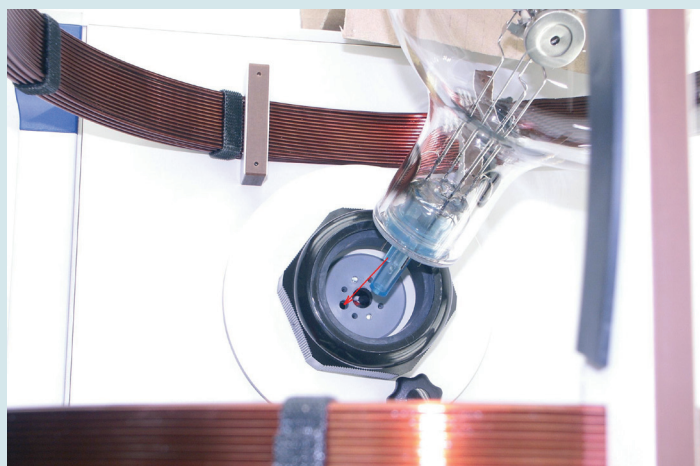
Laitemanuaali ja putken kiinnitysohjeita (kuvat 3, 4 ja 5).



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4
Pyörítettävä pidike (vastapäivään aukeava)

Aukaise pidike ja työnnä putki varovasti ohjainnastat kohdakkain paikoilleen. Pyöritä pidike myötäpäivään, jolloin putki ankkuroituu kiinni.

- 1 Anodijännitteen mittausulostulo
- 2 Anodijännitteen säätönuppi ja näyttö
- 3 Wehnelt-jännitteen säätönuppi
- 4 Hehkujännitteen säätönuppi
- 5 Virran säätönuppi ja näyttö
- 6 Virran mittausulostulo
- 7 Pyörítettävä pidike
- 8 Putki
- 9 Helmholtzin kelat
- 10 Kantokahva
- 11 Virtajohdon liitin
- 12 Sulakkeen pidin
- 13 Katkaisija
- 14 Tuuletin
- 15 Ilma-aukot



Kuva 5
Ruuvi

Ruuvi voidaan aukaista, jolloin putkea voidaan kääntää alustalle. Elektronisuihkun ja magneettikentän välinen kulma ei ole suorakulma. Tällöin suihku lähtee kulkemaan ruuviviivaa. Älä pyöritä putkea, vaan aluspöytää! Putkeen ei saa aiheutua mitään jännityksiä.

Huom 1. Putkea laitettaessa on hyvä käyttää kumisia suojakäsineitä. Putki ei putoa käsistä eikä lasin pinnalle tule sormista rasvaläikkiä.

Huom 2. Ennen laitteen puhdistusta, ota virtajohdin pois seinästä! Puhdistamiseen käytä pehmeää, kosteaa kangasta.

Laite säilytetään kuivassa, pölyttömässä paikassa. Varottava suoralta auringonvalolta. Älä säilytä laitetta pitkään lämpöpatterin lähellä.

Huom 3. Käytön aikana putken kaulaosa kuumenee. Älä polta sormiasi.

Huom 4. Työ soveltuneen parhaiten opettajien johdolla suoritettavaksi työksi (lukio).

Tehtäviä

1. Perustele kaava (1).
2. Mikä on elektronin saama nopeus, kun kiihtyvyydjännite on 200 V?
3. Mikä ilmiö tapahtuu, jos varattujen hiukkasten nopeusvektorin ja kentän $\vec{B}$ välinen kulma ei ole suora?

Tehtävien vastauksia

1. Ehdolla $\vec{v} \perp \vec{B}$ saadaan

$$evB = \frac{mv^2}{r} \text{ ja edelleen}$$

on voimassa

$$eU = \frac{1}{2} mv^2$$

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

$$\frac{e^2}{m^2} = \frac{v^2}{r^2 B^2} = \frac{2eU}{mr^2 B^2}, \text{ josta}$$

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

$$2. \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 200}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\approx 8,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

3. Jaetaan nopeusvektori kentän suuntaiseen komponenttiin ja kenttää vastaan kohtisuoraan komponenttiin. Kentän suuntaiseen komponenttiin kenttä ei vaikuta. Hiukkanen etenee kentän suuntaan. Kohtisuoraan komponenttiin kenttä vaikuttaa ja hiukkanen alkaa kiertää samalla ympyrärataa. Saadaan ruuviviiva (katso kuva 1c). Jos putken alusta va-
pautetaan ruuvien avulla, voidaan putkea kääntää alustaa kiertämällä. Tällöin nähdään ruuviviiva. (Katso kuva 5 miten alusta vapautetaan).

Kokeen suoritus

Käännä aluksi hehkujännitteen nuppi keskiasentoon (vastaa n. 6 V jännitettä, kohta C). Odota muutama minuutti, kunnes lämpötila hehkulangassa stabilisoituu. Säädä nupista A (anodi-jännite U) jännite esim. 200 V. Lukema näkyy vieressä olevasta mittarista. Säädä nupista 0 virta I_H niin suureksi, että suihku kulkee ympyrärataa ($r = 5 \text{ cm}$). Suihku fokusoidaan nupista B (Wehnelt-jännite).

U/V	I_H/A	r	B	$B^2 r^2$	$2U$
200		5			
220		5			
240		5			
260		5			
280		5			
300		5			

Pidä koko ajan $r = 5 \text{ cm}$.

Magneettivuon tiheys B lasketaan kaavasta

$$B = 0,756 \frac{\text{mT}}{\text{A}} \cdot I_H \text{ ja}$$

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

Esitä graafisesti pystyakselilla $2U$ ja vaakakselilla $r^2 B^2$. Sovita pisteistöön suora ja laske suoran kulmakerroin Coach-mittaushajelmalla.

Tee vastaava taulukko kuin edellä ja pidä $r = 4 \text{ cm}$ koko mittauksen ajan ja laske $\frac{e}{m}$.

Toista edellä oleva vielä, kun $r = 3 \text{ cm}$.

Laske lopuksi kolmen mittauksen keskiarvo ja vertaa tulosta taulukkokirjan arvoon.

$$1. \text{ Johda kaava } e/m = \frac{2U}{r^2 B^2}.$$

2. Millainen ilmiö tapahtuu jos varattujen hiukkasten nopeusvektorin ja kentän $\vec{B}$ välinen kulma ei ole suora?

3. Laske elektronien saama nopeus, jos $U = 200 \text{ V}$.