

IIZF3010 Sovellettu Fysiikka, ryhmälaboratoriotyö IST4SE / E2 / A1
Kinnunen Karoliina, Kuru Anssi, Pihlainen Tommi, Vähämartti Pasi

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, IT-instituutti
IIZF3010 Sovellettu fysiikka, Syksy 2005, 5 ECTS
Opettaja Pasi Repo

Elektronin ominaisvaraus

Laatija - Pasi Vähämartti

Vuosikurssi - IST4SE

Tekopäivä 2005-9-28

Palautuspäivä 2005-10-24

Tarkoitus on tutkia ja määrittää elektronin ominaisvaraus (e/m) kokeellisesti. Saatuja tuloksia hyväksikäyttäen laskemme elektronin ominaisvarauksen, sekä virherajat lasketulle tulokselle.

Mittauksien perusteella laskettu elektronin ominaisvaraus: $(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$

Virhelaskut jäivät vähän hämäräksi, joten niiden suhteen olisi vielä opittavaa.

LABORATORIOTYÖN KUVAUS

Tehtävän määrittely:

Tarkoitus on tutkia ja määrittää elektronin ominaisvaraus (e/m), sekä laskea tarvittavat magneettivuontiheydet (B) ominaisvarauksen määrittämiseksi. Saaduista tuloksista lasketaan elektronin ominaisvarauksen keskiarvo keskivirheineen ja virherajoineen.

Tehtävän suorittamisen aikana tullaan mittaamaan erisuuruisten magneettikenttien ja kiihdytysjännitteiden vaikutusta elektronien ympyrä ratojen halkaisijoihin. Tulokset kirjataan etukäteen tehtyyn mittauspöytäkirjaan (sivu 5 mittaustulokset ja sivu 11 mittauspöytäkirja). Saatujen mittaustulosten perusteella lasketaan elektronin ominaisvaraus. Lopuksi jokaiselle ominaisvaraustulokselle lasketaan virhe, sekä ominaisvarauksien keskiarvo (sivu 8 laskujen tulokset).

Johdanto:

Elektronin ominaisvarauksella tarkoitetaan elektronin varauksen (e) suhdetta sen massaansa (m). Suhde voidaan määrittää kiihdyttämällä elektroneja sähkökentän avulla ja tarkastelemalla niiden muodostamaa rataa magneettikentässä.

Pallonmuotoisessa elektroniputkessa on matalapaineinen H_2 -kaasutäyte, joka on asetettu kahden Helmholtzin kelan väliin. Samansuuntaiset kelat ovat yhtä kaukana elektroniputkesta, joissa kummassakin kulkee samansuuruinen sähkövirta samaan suuntaan. Tämä aiheuttaa elektronisuihkua vastaan kohtisuoran magneettikentän, joka saa suihkun kaartumaan ympyräradalle.

Kun elektronit törmäävät kaasumolekyyleihin, ne virittyvät perustilaa korkeampiin energiatiloihin. Viritystilän purkautuessa molekyyli lähettää valokvantin. Peräkkäiset viritystilojen vaihtumiset saavat aikaan näkyvän vihertävän valokuovan, josta selviää elektronien rata.

Mittaamalla näkyvän radan säde ja tietäessämme käytetyn kiihdytysjännitteen ja magneettikentän suuruuden, saamme lasketuksi elektronin ominaisvarauksen.

Tehtävässä käytetyt yhtälöt:

Seuraavat suureet esiintyvät alla olevissa kaavoissa:

d = Kelojen halkaisija [cm]

h = Kelan paksuus [cm]

μ_0 = Tyhjiön permeabiliteetti [Tm/A] = $1,25664 \cdot 10^{-6}$ Tm/A

N = Kierrosten lukumäärä yhdessä kelassa = 130 kierrosta

I = Keloissa kulkeva virta [A]

R = Kelojen säde [m]

m = Elektronin massa [kg]

e = Elektronin alkeisvaraus [C]

U = Kiihdytysjännite [V]

B = Magneettivuon tiheys [Vs/m²]

r = Rataympyrän säde [m]

Kelojen säteen (R) ja virheen (ΔR) laskeminen:

$$R = \frac{d - h}{2} \quad (1)$$

$$\Delta R = \left(\left| \frac{\Delta d}{d} \right| + \left| \frac{\Delta h}{h} \right| \right) \cdot |R| \quad (1a)$$

Magneettivuontiheyden (B) ja virheen (ΔB) laskeminen:

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5} \right)^{3/2} \frac{NI}{R} \quad (2)$$

$$\Delta B = \left(\left| \frac{\Delta N}{N} \right| + \left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \frac{\Delta R}{R} \right| \right) \cdot |B| \quad (2a)$$

$\Delta N/N$ voidaan jättää pois, koska valmistaja on ilmoittanut keloissa olevan 130 kierrosta.

Elektronin ominaisvarauksen (e/m) ja virheen $\Delta(e/m)$ laskeminen:

$$e/m = \frac{2U}{(B^2 r^2)} \quad (3)$$

$$\Delta e/m = \left(\left| \frac{\Delta U}{U} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta B}{B} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta r}{r} \right| \right) \cdot |e/m| \quad (3a)$$

Keskivirheen laskemisessa käytettävät kaavat:

Hajontaneliö:

$$\sigma_{e/m} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N d_i^2} \quad (4)$$

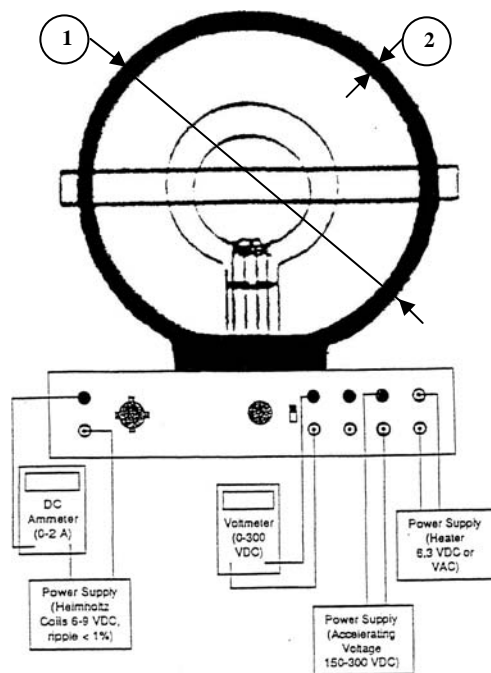
Keskiarvon keskivirhe:

$$\sigma_{e/m} = \frac{\sigma_{e/m}}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

Mittausmenetelmät:

Työn suorittamisessa käytetään pallonmuotoista elektroniputkea, sekä kahta ympyränmuotoista Helmholtzin kela. Osat ovat alla olevan kuvan kaltaisesti. Iso musta ympyrä on etummainen kela, tämän takana on elektroniputki. Kaikkein takimmaisena on toinen kela, johon on kiinnitetty viivoitin vaakatasoon.

Mittalaitteina käytetään virta- ja jännitemittareita, sekä viivoitinta. Lisäksi kokoonpanoon kuuluu kaksi virtalähdettä, toisella säädetään keloissa kulkevaa virtaa ja toisella elektronitykin kiihdytysjännitettä. Myös hehkujännitteelle oli oma jännitelähteensä, mutta sen säätöihin emme koskeneet.



Mittauskytkentä

Aluksi laitettiin ulkoiset mittalaitteet ja virtalähteet päälle. Magnetointivirran voimakkuus säädettiin kohdalleen ja kiihdytysjännitettä lisättiin niin että juova tuli näkyviin. Tämän jälkeen kiihdytysjännite säädettiin noin 200V:iin ja kelojen virta 1,6A:iin. Kiihdytysjännitettä nostettiin noin 10V:iin portaisissa aina 290V:iin asti. Takana olevan viivoittimen avulla mitattiin syntyneiden juovien halkaisijat. Samalla tavalla toimittiin magnetointivirran ollessa 1,8A:ia.

Lopuksi mitattiin kelojen ulkohalkaisija (yllä oleva Mittauskytkentä-kuva, kohta 1), sekä kelan paksuus (kohta 2).

Mittaustulokset:

Elektronisuihkun muodostaman radan halkaisija:

U \ I	1,60 A	1,80 A
200,5 V	6,4 cm	5,8 cm
210,3 V	6,6 cm	6,0 cm
220,5 V	6,8 cm	6,1 cm
230,5 V	6,9 cm	6,2 cm
240,3 V	7,1 cm	6,4 cm
250,6 V	7,2 cm	6,4 cm
260,8 V	7,4 cm	6,5 cm
270,2 V	7,4 cm	6,6 cm
280,0 V	7,6 cm	6,8 cm
290,9 V	7,8 cm	7,0 cm

Kelojen tiedot:

Ulkohalkaisija	32,0 cm
Reunan paksuus	2,7 cm

Kiihdytysjännitteiden mittavirheeksi arvioimme $\pm 0.1V$, magnetointivirtojen $\pm 0.01A$, kelojen mittojen $\pm 1mm$, sekä elektronisuihkun muodostaman radan halkaisijan silmämääräisen lukemisen mittavirheeksi $\pm 5mm$ (säteen mittavirhevirhe siis $\pm 2,5mm$).

Laskuesimerkit:

Kelojen säteen (R) ja virheen (ΔR) laskeminen:

$$R = \frac{d - h}{2}$$

$$R = \frac{32\text{cm} - 2,7\text{cm}}{2} = 14,65\text{cm} = 0,1465\text{m}$$

$$\Delta R = \left(\left| \frac{\Delta d}{d} \right| + \left| \frac{\Delta h}{h} \right| \right) \cdot |R|$$

$$\Delta R = \left(\left| \frac{0,001\text{m}}{0,320\text{m}} \right| + \left| \frac{0,001\text{m}}{0,027\text{m}} \right| \right) \cdot |0,1465\text{m}| = 0,00588\text{m} \approx 0,006\text{m}$$

$$\underline{R \pm \Delta R = (0,147 \pm 0,006)\text{m}}$$

Magneettivuontiheyden (B) ja virheen (ΔB) laskeminen: (1,6A:in tapauksessa)

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

$$B = 1,26554 \cdot 10^{-6} \text{ Tm/A} \cdot \left(\frac{4}{5} \right)^{3/2} \cdot \frac{130 \cdot 1,6\text{A}}{0,1465\text{m}} = 0,001285\text{T} \approx 1,29\text{mT}$$

$$\Delta B = \left(\left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \frac{\Delta R}{R} \right| \right) \cdot |B|$$

$$\Delta B = \left(\left| \frac{0,01\text{A}}{1,60\text{A}} \right| + \left| \frac{0,00588\text{m}}{0,1465\text{m}} \right| \right) \cdot 0,001285\text{T} = 0,0000597\text{T} \approx 0,06\text{mT}$$

$$\underline{B \pm \Delta B = (1,29 \pm 0,06)\text{mT}}$$

Elektronin ominaisvarauksen (e/m) ja virheen ($\Delta e/m$) laskeminen:
(kiihdytysjännite 200.5V, magnetointivirta 1.6A ja radan säde 0.032m)

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

$$e/m = \frac{2 \cdot 200,5\text{V}}{(0,001287\text{T})^2 \cdot (0,032\text{m})^2} = 236903393345 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \approx 2,4 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$\Delta e/m = \left(\left| \frac{\Delta U}{U} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta B}{B} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta r}{r} \right| \right) \cdot |e/m|$$

$$\Delta e/m = \left(\left| \frac{0,1\text{V}}{200,5\text{V}} \right| + 2 \cdot \left| \frac{0,0597\text{mT}}{1,285\text{mT}} \right| + 2 \cdot \left| \frac{0,0025\text{m}}{0,032\text{m}} \right| \right) \cdot 236903393345 \frac{\text{C}}{\text{kg}} = 59124649648 \frac{\text{C}}{\text{kg}} \approx 0,6 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

$$e/m \pm \Delta e/m = (2,4 \pm 0,6) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Elektronin ominaisvarauksen keskiarvon ja keskivirheen laskeminen:

i	e/m_i	$d_i = e/m_i - \overline{e/m}$	d_i^2
1	2,36903E+11	5328275318	2,83905E+19
2	2,33651E+11	2076210160	4,31065E+18
3	2,30785E+11	-790095332	6,24251E+17
4	2,34309E+11	2734221994	7,47597E+18
5	2,30703E+11	-871754750	7,59956E+17
6	2,33955E+11	2380202549	5,66536E+18
7	2,30495E+11	-1080388073	1,16724E+18
8	2,38802E+11	7227320752	5,22342E+19
9	2,34611E+11	3035519299	9,21438E+18
10	2,30688E+11	-886777446	7,86374E+17
11	2,27914E+11	-3661540918	1,34069E+19
12	2,23382E+11	-8192909943	6,71238E+19
13	2,26600E+11	-4974687119	2,47475E+19
14	2,29298E+11	-2277597627	5,18745E+18
15	2,24339E+11	-7235678544	5,2355E+19
16	2,33955E+11	2380202549	5,66536E+18
17	2,36044E+11	4468727509	1,99695E+19
18	2,37197E+11	5621930755	3,16061E+19
19	2,31554E+11	-21264177	4,52165E+14
20	2,26315E+11	-5259916964	2,76667E+19
	$\overline{e/m} = 2,32\text{E}+11$	$d = 0$	$\sum d_i^2 = 3,58 \cdot 10^{20}$

$$\sigma_{e/m} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N d_i^2} = \sqrt{\frac{3,58358 \cdot 10^{20}}{20-1}} = 4,34 \cdot 10^9$$

$$\sigma_{\overline{e/m}} = \frac{4,34 \cdot 10^9}{\sqrt{20}} = 0,97 \cdot 10^9 \approx 0,01 \cdot 10^{11}$$

Elektronin ominaisvarauksen keskiarvo keskivirheineen:

$$\overline{e/m} \pm \sigma_{\overline{e/m}} = (2,34 \pm 0,01) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Laskujen tulokset:

Kelojen säde:

$$R \pm \Delta R = (0,147 \pm 0,006)\text{m}$$

Magneettivuontiheys:

Virta I (A)	Magneettivuo B [Vs/m ²]
1,60 A	(1,29±0,06) mT
1,80 A	(1,45±0,07) mT

Elektronisuihkun muodostaman radan säde: (virhe jokaisessa kohdassa ±0,0025m)

	1,60 A	1,80 A
200,5 V	0,032 m	0,029 m
210,3 V	0,033 m	0,030 m
220,5 V	0,034 m	0,0305 m
230,5 V	0,0345 m	0,031 m
240,3 V	0,0355 m	0,032 m
250,6 V	0,036 m	0,032 m
260,8 V	0,037 m	0,0325 m
270,2 V	0,037 m	0,033 m
280,0 V	0,038 m	0,034 m
290,9 V	0,039 m	0,035 m

Elektronin ominaisvaraukset eri tilanteissa:

Virta	1,60 A	1,80 A
Jännite	e/m [*10 ¹¹ C/kg]	
200,5 V	2,4±0,6	2,3±0,6
210,3 V	2,3±0,6	2,2±0,6
220,5 V	2,3±0,6	2,2±0,6
230,5 V	2,3±0,6	2,3±0,6
240,3 V	2,3±0,5	2,2±0,6
250,6 V	2,3±0,5	2,3±0,6
260,8 V	2,3±0,5	2,4±0,6
270,2 V	2,4±0,5	2,4±0,6
280,0 V	2,3±0,5	2,3±0,6
290,9 V	2,3±0,5	2,3±0,5

Elektronin ominaisvarauksen keskiarvo virheineen:

$$e/m \pm \Delta e/m = (2,3 \pm 0,6) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Elektronin ominaisvarauksen keskiarvo keskivirheineen:

$$\overline{e/m} \pm \sigma_{e/m} = (2,34 \pm 0,01) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Työn ja tulosten arviointi:

Elektronin ominaisvaraus:

Itse laskettu arvo	Kirjallisuusarvo
$(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$	$1,76 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$

Lähde: Laskimesta

Laskettua tulosta verrattaessa kirjallisuusarvoon, voi todeta että onnistuimme suhteellisen hyvin. Vaikka virhemarginaali onkin niinkin suuri kuin 25%, sen puitteissa laskemamme lukema kohtaa kirjallisuusarvon.

Mittausten aikana ei tapahtunut ilmeisesti kovin suuria tulosten luentavirheitä, tämän puolesta puhuu laskettu keskiarvon keskivirhe, joka oli suuruudeltaan vain noin 0,5%. Tämä tarkoittanee, että yläkanttiin tullut tulos johtui pääasiassa tekijän systemaattisen virheellisestä toiminnasta, esim. väärästä pään etäisyydestä mittalaitteistoon tai halkaisijan väärin lukemisesta.

Virherajan suuruuteen vaikuttivat virta ja jännitemittareiden näyttämän oikeellisuudesta ja näyttötarkkuudesta, kelojen säteen mittaamisessa ja elektronisuihkun halkaisijan katsominen silmämääräisesti. 5mm lukemavirhe säteessä aiheuttaisi noin 40% virheen lopulliseen tulokseen, joten tarkan tuloksen saavuttamiseksi pitäisi käyttää tarkempia mittalaitteita, sekä tehdä useampia mittauksia eri virran ja magneettikentän voimakkuuden arvoilla

Kokonaisarvio:

Mittausten tekeminen oli suhteellisen nopeaa ja helppoa. Suurin vaikeus oli saada selvää pyöreän elektroniputken takana olevan viivoittimen viivoista, koska siitä heijastuva elektronisuihku ”sotkeutui” edessä olevan elektroniputken elektronisuihkuun. Toinen mittausta häiritsevä tekijä oli viivoittimen kiinteä sijainti. Erikokoisten elektronisuihkuympyröiden keskikohta vaihteli, joten viivoitin ei ollut suoraan edestäpäin katsottuna ympyrän leveimmässä kohdassa. Myös katseluetäisyys ja -kulma tuntuivat vaikuttavan näkyvän ympyrän säteen suuruuteen, sekä halkaisijan lukeminen viivoittimesta oli hyvinkin epätarkkaa.

Suurin ongelma oli raportin tekeminen. Etenkin virheiden osalla, koska niin moni asia vaikuttaa tuloksiin. Laskin kaikki virheet ensimmäisen fysiikan kurssilla opitun mukaisesti, koska se tapa oli mielestäni järkevin vaihtoehto. Riippumattomien virheiden laskukaavan muodostamista ei mielestäni ole käyty oppitunnilla läpi, eikä ohjelappusen selvitys omien virheyhtälöiden luomiseksi ollut riittävän kattava. Tämä virhemalli olisi todennäköisesti sopinut paremmin kuin käyttämäni tapa. Tämä asia jäi edelleenkin kaivelemaan mieltäni. Olisin mieluummin tehnyt kaikki laskut niin kuin ne pitäisi tehdä, koska raportin kirjoittamiseen on käytetty enemmän aikaa kuin laki sallii.

Edelliseen viitaten opiskelijan kannalta olisi hyvä, mikäli työ-ohjeissa sanottaisiin mitä kaikkea raporttien tulisi sisältää, kuten tarvittavat kuvaajat, sekä virhelaskujen tyypit ja tarpeellisuus eri tuloksia laskettaessa.

Labran kirjoittamiseen, editoimiseen ym. laskujen laskemiseen kului aikaa Wordin tietojen mukaan 50 tuntia, joka on mielestäni ihan kiitettävä työpanos yhteen raporttiin. Itse olisin kaivannut vähän tarkempia ohjeita, niiden avulla tuo käytetty aika olisi todennäköisesti puolittunut.

IIZF3010 Sovellettu Fysiikka, ryhmälaboratoriotyö IST4SE / E2 / A1
Kinnunen Karoliina, Kuru Anssi, Pihlainen Tommi, Vähämartti Pasi

Lähteet:

<http://pww.evitech.fi/CAL-Physics/fin/eerojk/index.html>

http://www.phys.jyu.fi/opetus/osasto/tyot/fys102/pdf/FYS102_3.pdf

Liitteet:

Mittauspöytäkirja