

# FYSP1082 / 2 ELEKTRONIN LIIKE MAGNEETTIKENTÄSSÄ

## 1 Johdanto

Työssä tutkitaan elektronin liikettä homogeenisessa magneettikentässä ja määritetään elektronin ominaisvaraus  $e/m$ . Tulosten analyysissa tulee kiinnittää erityistä huomiota erityyppisten virhelähteiden, erityisesti laitteiston systemaattisen virheen jäljittämiseen ja huomioimiseen. Selostuksessa tulee niin ikään arvioida erityyppisten virheiden merkitystä tuloksen kokonaisvirheen kannalta eli arvioida, mitkä virhelähteet ovat työn kannalta merkittävimpiä.

Varatun hiukkasen liikkeestä magneettikentässä on kerrottu seuraavissa lähteissä:

- Randall D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, A Strategic Approach, 4<sup>th</sup> ed., luvut 29.2 ja 29.7.
- Young & Freedman, University Physics, 11<sup>th</sup> tai 12<sup>th</sup> edition, luvut 27.2 ja 27.4
- Ohanian, luvut 30 ja 31
- Alonso-Finn, Vol. 2, sivut 494 - 504.

## 2 Varatun hiukkasen liike homogeenisessa magneettikentässä

Työselostuksen teoriaosassa johda (mahdollisesti edellä mainittuja tai muita lähteitä hyväksi käyttäen) homogeenisessä magneettikentässä  $B$ , kenttäviivoja vastaan kohtisuoralla ympyräradalla (säde  $r$ ) liikkuvan, jännite-erolla  $U$  kiihdytetyn elektronin varauksen  $e$  ja massan  $m$  suhteelle lauseke

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

Oleta elektronin nopeus niin pieneksi, ettei suhteellisuusteorian vaikutusta tarvitse ottaa huomioon. Perustele selostustyössä, kuinka oikeutettu tämä oletus on!

Seuraavan tehtävän tulee olla tehtynä ennen osastovuorolle saapumista.

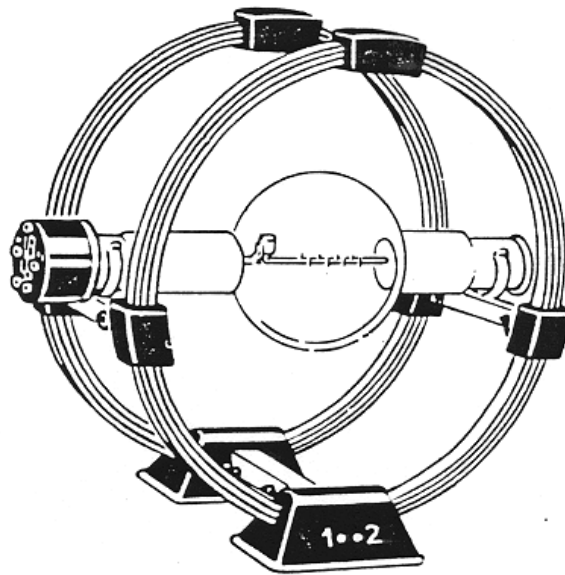
**Tehtävä:** Vastus on kytketty virtapiiriin jännitelähteen kanssa. Muutetaan lähdejännitettä ja mitataan piirissä kulkevaa virtaa ja jännitettä vastuksen yli. Tulokset ovat oheisessa taulukossa.

Laske resistanssin arvot kullekin (virta, jännite)-parille ja määritä vastuksen resistanssi tilastollisesti. Määritä resistanssin arvo myös graafisesti. Vertaile näiden kahden menetelmän antamia tuloksia. Mitä huomaat ja kuinka selität havaintosi? Kumpi menetelmä on mielestäsi parempi?

Virta (A)	Jännite (V)
0,021	2,45
0,097	3,99
0,196	6,01
0,274	7,59
0,413	10,45
0,553	13,27
0,654	15,32
0,768	17,62
0,880	19,89
0,990	22,08

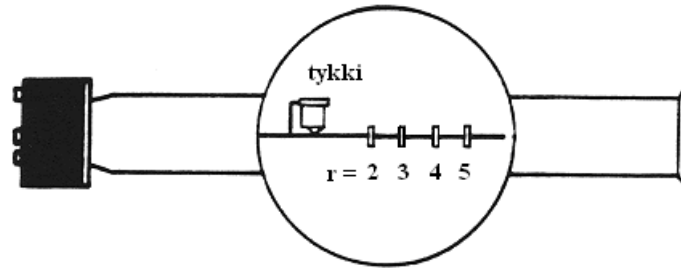
### 3 Laitteisto

Laitteiston pääosat ovat pallomainen katodisädeputki ja ns. Helmholtzin kelat, joilla synnytetään tarvittava magneettikenttä. Helmholtzin keloja on käsitelty omaa nimeään kantavassa lapputyössä. Laitteiston kaavio on esitetty kuvassa 1.

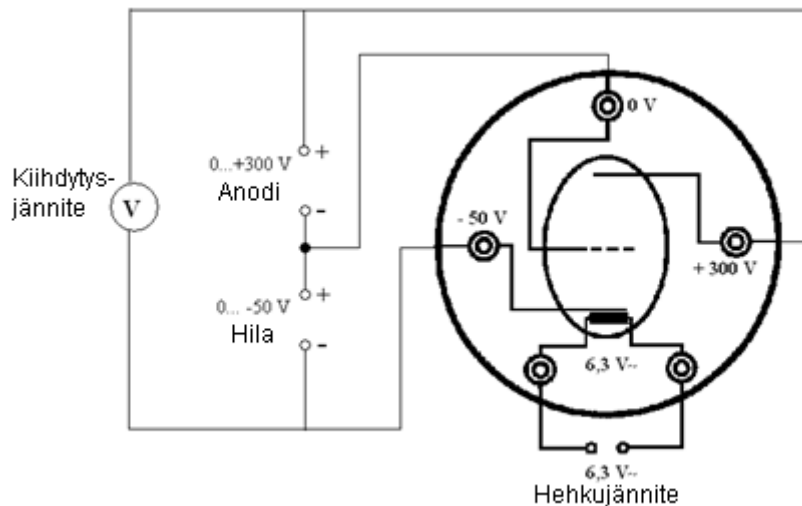


**Kuva 1.** Kaaviokuva katodisädeputkesta ja keloista.

Kuvassa 2 on esitetty katodisädeputken rakenne tarkemmin: lasipallon sisällä on elektronitykki ja asteikko, jota voidaan käyttää apuna elektronien radan säteen määrittämisessä. Kuvassa 3 puolestaan on esitetty elektroniputken kantakytkentä ja kytkentäkaavio.



**Kuva 2.** Katodisädeputken rakenne. Putki on täytetty pienipaineisella jalokaasulla (paine n. 1 Pa). Elektronisuihku virittää kaasuatomeja, jotka palaavat perustilaansa emittoimalla näkyvää valoa. Näin elektronien kulkema rata ( $r = \text{radan säde}$ ) näkyy putkessa sinertävänä juovana.



**Kuva 3.** Elektroniputken kantakytkentä ja kytkentäkaavio. Hehkulankaa lämmitetään hehkujännitteen avulla. Kuumenemisen seurauksena langasta emittoituu termisesti elektroneja, jotka kiihdytysjännitteen vaikutuksesta joutuvat kiihtyvään liikkeeseen kohti anodia. Elektronisuihku fokusoidaan hilajännitteellä anodilla sijaitsevaan reikään, jonka läpi elektronit emittoituvat ulos tykistä.

Magneettikentälle  $B_0$  kelojen akselin keskikohdassa voidaan johtaa lauseke (vertaa työ FYSP105 / K2 Helmholtzin kelat)

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I R^2}{(R^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (2)$$

missä

$\mu_0$  = tyhjiön permeabiliteetti

$N$  = kierrosten lukumäärä yhdessä kelassa

$R$  = kelojen säde

$a$  = kelojen välisen etäisyyden puolikas

$I$  = keloissa kulkeva virta

Tässä työssä ei tarvitse johtaa kyseistä lauseketta, mutta yhtälölle on annettava lähdeviite (ei kuitenkaan työn FYSP1082 / K4 ohjeeseen) sekä perustelu, tarvittavine lähdeviitteineen, sille, miksi laskuissa voidaan käyttää yhdessä pisteessä laskettua magneettikentän arvoa.

#### 4 Mittaukset ja tulosten analyysi

Laitteiston kytkentä on työpaikalla valmiina. Tarkista, että kytkentä on oikein ja että tiedät, mitä jännitteitä mittarit näyttävät. Mittausten teknisistä yksityiskohdista on kerrottu työpaikalla olevassa ohjeessa. Huomioi erityisesti ohjeet keloissa käytettävän virran suuruudesta. Tee vähintään kaksi epäidenttistä havaintosarjaa siten, että ensimmäisessä muutat kiihdytysjännitettä (magneettikenttä vakio), ja toisessa muutat magneettikenttää (kiihdytysjännite vakio). Pyri kussakin havaintosarjassa saamaan mahdollisimman monta mittauspistettä (esim. 10 kpl.), jotta ne riittävät tulosten luotettavaan tarkasteluun.

Valitse sitten jokin edellä käyttämästäsi jännite-magneettivuon tiheys -pareista ja tee seuraava tutkimus. Muuta elektronisuihkun lähtökulmaa kääntämällä katodisädeputkea telineessään, putken pituusakselin ympäri. Tutki elektronin liikerataa. Esitä työselostuksessa myös teoreettinen tarkastelu kyseiselle tilanteelle ja vertaa sitä havaintoihisi. Tarkkojen kvantitatiivisten mittausten tekeminen voi olla hankalaa, mutta tee kuitenkin kvalitatiivisia havaintoja. Mitä esimerkiksi vaikuttaa elektronin rataa katodisädeputken kiertokulman suurentaminen?

Työssä on tavoitteena ottaa huomioon tuloksissa olevat satunnaiset virheet normaaleilla analysointimenetelmillä (vrt. Laboratoriotöiden perusteet -luennot tai Fysiikan kokeelliset menetelmät -kurssi). Laitteistossa esiintyy myös merkittävä systemaattinen virhe, joka pitäisi löytää ja eliminoida. Tämän systemaattisen virheen vuoksi mittaustulosten käsittely tilastollisesti eli keskiarvon ja keskivirheen avulla

vääristää lopullista tulosta huomattavasti (vrt. kotitehtävä). Virheen eliminoimiseksi tarvitaankin graafista tarkastelua.

Piirrä kuvaajat, joista käy ilmi elektroniradan säteen riippuvuus kiihdytysjännitteestä ja toisaalta kelojen virrasta. Toisin sanoen, piirrä kuvaajat, joissa akselit ovat  $(r^2, U)$  ja  $(r^{-1}, I)$ . Kuvaajien kulmakertoimien avulla saat määritettyä suhteen  $e/m$ . Pohdi syitä akselien valinnalle. Mikä etu tästä valinnasta on? Vertaamalla kuvaajia teoreettisiin ennusteisiin totea systemaattisen virheen esiintyminen ja sen aiheuttaja (vrt. kotitehtävä). Mahdollisia systemaattisen virheen lähteitä ovat esimerkiksi kiihdytysjännitteen määrittäminen, keloissa kulkevan virran mittaaminen, magneettivuon tiheyden määrittäminen mitatun virran avulla (yhtälön 2 paikkansapitävyys) sekä elektronien ratojen ja Helmholtzin kelojen geometrian määrittäminen. Mistä suureesta systemaattinen virhe aiheutuu? Ilmoita virheen suuruus ja korjaa sen vaikutus mittaustuloksistasi. Määritä tämän jälkeen molempien mittaussarjojen korjatuista tuloksista  $e/m$  virheineen. Vertaa saamiasi tuloksia taulukkoarvoon ja toisiinsa.