

## TYÖ 4. Magneettikenttämittauksia

Johdanto: Hallin ilmiö

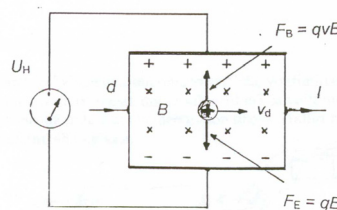
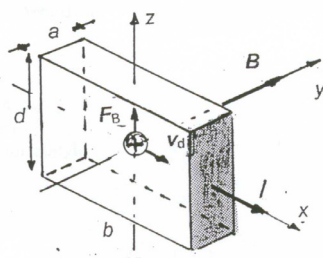
Ilmiön havaitseminen

Yhdysvaltalainen Edwin H. Hall (1855 - 1938) tutki mm. aineiden sähköjohtavuutta ja löysi menetelmän, jolla hän pystyi mittaamaan virrankuljettajien nopeutta aineissa. Hän asetti levyn muotoisen virtajohtimen kohtisuorasti homogeeniseen magneettikenttään ja havaitsi, että johdin polarisoituu kohtisuorasti sekä magneettikenttää että sähkövirran kulkusuuntaa vastaan. Johtimen reunojen välille syntyy mitattava jännite, jota sanotaan Hallin jännitteeksi  $U_H$ . Tutkimuksen mukaan jännitteen suuruus riippuu magneettivuon tiheydestä, virrankuljettajien tiheydestä ja nopeudesta aineessa. Hall havaitsi ilmiön vuonna 1879.

Tämä ns. Hallin ilmiö tekee mahdolliseksi mm. tutkia eri materiaalien, kuten metallien, puolijosteiden ja kaasujen sähkönjohtavuuteen vaikuttavia tekijöitä, virrankuljettajien nopeutta ja tiheyttä aineissa ja mitata magneettivuon tiheyttä. Hallin ilmiöön perustuvat monet hyvin herkäät virta-, jännite-, lämpö- ja painemittarit sekä säteilyn ilmaisimet.

Hallin jännite

Kuva esittää magneettikentässä olevaa Hallin levyä, jossa tapahtuvaa ilmiötä tutkitaan. Levyn mitat ovat  $a$ ,  $b$  ja  $d$ . Sähkövirran  $I$  ja magneettivuon tiheyden  $\vec{B}$  suunnat on merkitty kuvaan. Virrankuljettajiin vaikuttava magneettinen voima on  $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ . Sen suuruus on  $F_B = qvB$  ja suunta kuvassa ylöspäin. Kun levy polarisoituu, siihen syntyy sähkökenttä  $\vec{E}$ . Se vaikuttaa virrankuljettajiin voimalla  $\vec{F}_E = q\vec{E}$  suunta kuvassa alaspäin.



Virrankuljettajat liikkuvat magneettikentässä ja sähkökentässä suoraan, kun  $F_B = F_E$  eli  $qv_d B = qE$ . Nyt levyn reunojen välinen jännite  $U = Ed = v_d B d$ . Virrankuljettajien tiheys ( kpl/tilavuusyksikkö ) levyssä on

$$n = \frac{I}{qv_d A}. \text{ Levyn poikkipinta-ala } A = ad.$$

Hallin jännite, joka voidaan siis mitata, on siis

$$U_H = \frac{IB}{nqa} \text{ usein merk. } R_H = \frac{1}{nq} \Rightarrow U_H = \frac{R_H IB}{a}, \text{ missä } R_H \text{ on ns. Hallin kerroin.}$$

Metalleissa elektronien nopeus  $v_d$  on noin 1 mm/s, puolijohteissa paljon suurempi, noin 0,3 m/s. Johdeliuskaan syntyvä Hallin jännite on hyvin pieni, 20 - 30  $\mu\text{V}$ , ja puolijohteisiin esim. germanium- ja piilevyyn, muutamia millivolteja.

Työssä mitataan Hallin antureilla erilaisia magneettikenttiä. Käytettävissä on kaksi erilaista Hallin anturia: tangentiaalinen ja aksiaalinen. Kytke jännitevahvistimeen sen oma virtalähde, volttimittari ja Hallin anturi oheisen kuvan mukaisesti.



**Hallin anturit on kalibroitu siten, että volttimittarin näytössä 1 voltti vastaa 1 milliteslaa, siis  $1\text{V} \square \text{mT}$ .** Valitse jännitevahvistimesta mitta-alue 3 mT ja volttimittarista tasajännitealue. Tällä kytkennällä mitataan magneettivuon tiheys.

**Hallin anturin tulee olla kohtisuorassa magneettikenttää vastaan.**

Jos kytket anturit Phyboxiin tulee anturit kalibroida näyttämään magneettivuon tiheyttä. Seuraavassa taulukossa magneettivuontiheyksien arvoja. **Tarkista mittarin näyttämä esim. 300 kierroksen käämin avulla käyttämällä oheisia sähkövirran arvoja. Mittaa mahdollisimman kaukana virtalähteistä tai muista magneettikentistä, voivat aiheuttaa häiriöitä.**

Kohde	$B$ [mT]
300 kierroksen käämi, rautasydän, 0,5 A virta, etäisyys 1,0 cm	3,7
300 kierroksen käämi, rautasydän, 1 A virta, etäisyys 1,0 cm	6,9
300 kierroksen käämi, rautasydän, 2 A virta, etäisyys 1,0 cm	13,5
300 kierroksen käämi, rautasydän, 3 A virta, etäisyys 1,0 cm	19,6
Faradayn häkki ( anturi folion tai metalliverkon sisällä )	0
Tavallinen tankomagneetti, etäisyys noin 5 mm	20

## Maan magneettikenttä

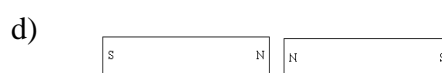
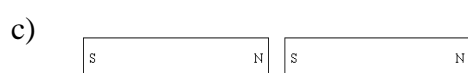
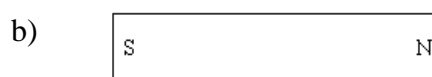
Määritetään maan magneettikentän kenttäviivojen suunta kiertämällä magneettikenttäanturin lapaa eri asentoihin. Magneettivuon tiheys on suurin silloin, kun lapa on kohtisuorassa kenttäviivoja vastaan. Arvioidaan kulma, jonka lapa muodostaa vaakatason kanssa. Inklinaatiokulmaksi sanotaan vaakatason ja magneettikentän voimaviivojen välistä kulmaa.

HUOM! Koska ympärilläsi on paljon sähkölaitteita ja olemme lähellä voimakkaita sähkökenttiä, voi se vaikuttaa oleellisesti mittaukseen. Pyri mittaamaan mahdollisimman kaukana muista laitteista.

## Kestomagneettien magneettikenttä

Missä kohtaa kestopagneetin magneettivuon tiheys on suurin ja missä pienin?

Tutkitaan kahden sauvamagneetin muodostamaa kenttää, kun ne on aseteltu kuvan mukaisella tavalla.



Tutkitaan U - magneetin muodostamaa kenttää eri kohdissa, erityisesti sakaroiden välissä.

## Käämin magneettikenttä

Kytetään käämi ( esim. 300 kierrosta ) tasavirtalähteeseen ja tutkitaan käämin aiheuttamaa magneettikenttää ja verrataan sitä sauvamagneetin kenttään. Miten käämin magneettikenttä muuttuu, kun virtaa suurennetaan/pienennetään? Miten rautasydämen laittaminen käämin sisälle vaikuttaa magneettikentän suuruuteen? Entä rautasydämen materiaalin vaikutus (kiiltävä massiivisydän, sininen laminoitu sydän)?

## Suoran virtajohtimen magneettikenttä

Tutkitaan kuinka magneettikenttä säteilee virallisesta johtimesta. **Työtä varten tarvitset tehovastuksen ja suuremman virtalähteen, jotka saat pyytämällä ohjaajalta. Työssä on myös syytä käyttää paksumpia suojattuja johtimia, joita löytyy luokan seinältä.**

Kytke tehovastus virtalähteen tasajännitenaparuuveihin (20 VDC, 6 A). Kytke piiriin myös virtamittari. Ennen mittauksen aloittamista mittaa tehovastuksen arvo resistanssimittauksella. Resistanssin tulisi olla noin  $1 \Omega$ .

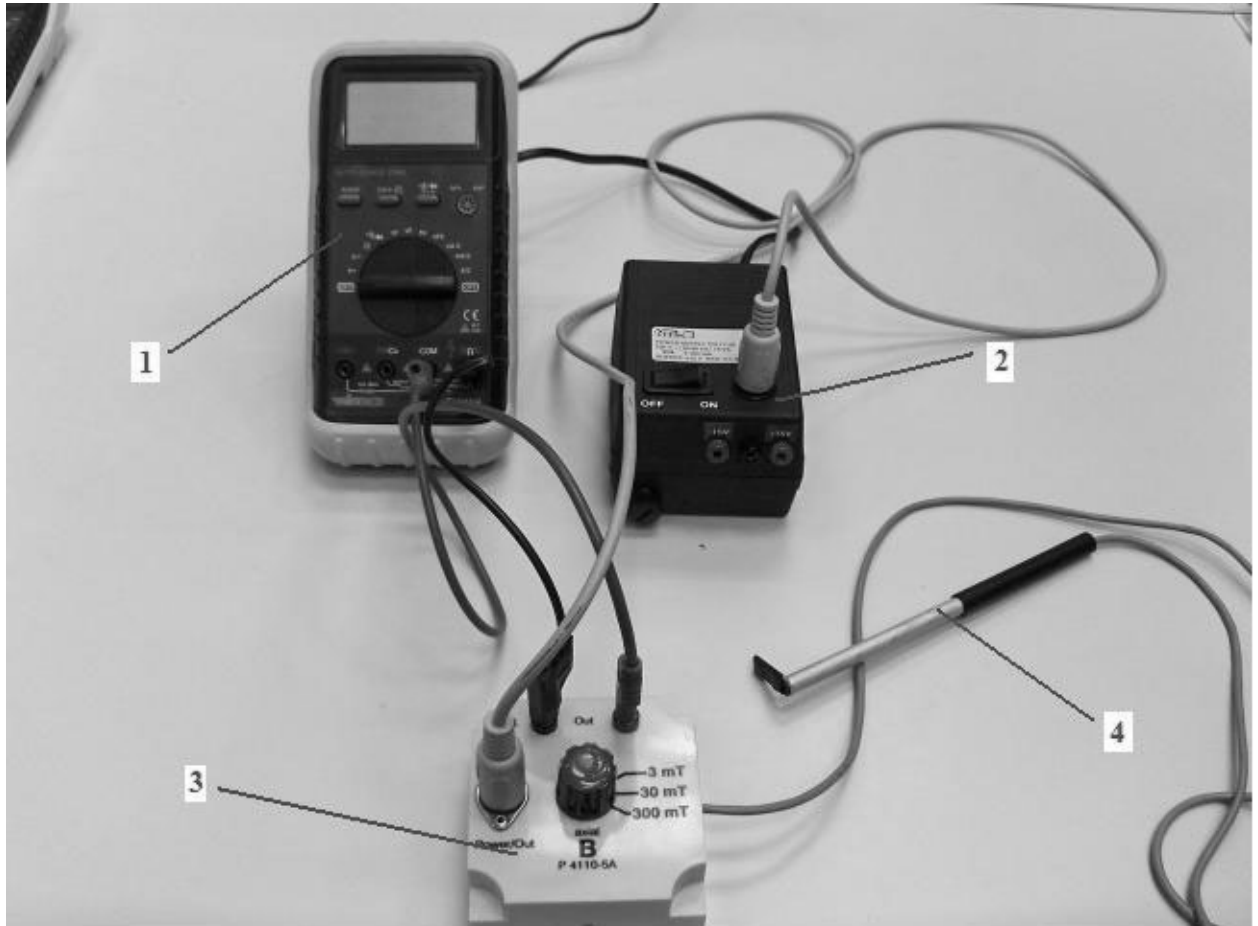
Valmistele sitten magneettikenttäanturin kytkentä. Lyhyt kuvallinen kytkentäohje on seuraavalla sivulla. **Tässä mittauksessa on hyvä käyttää aksiaalista anturia, koska sillä saadaan parempia tuloksia.**

Kiinnitä anturi jalustaan. Anturi viedään aluksi aivan johtimen viereen. Anturia siirretään kahden millimetrin välein anturia kauemmaksi ja taulukoidaan etäisyyttä vastaava magneettivuon tiheyden arvo. Anturin tai jalustan alle voi laittaa

millimetripaperin helpottamaan etäisyyden mittausta. Piirretään kuvaaja ( $r, B$ )-koordinaatistoon. Minkälainen riippuvuus on etäisyyden ja magneettivuon tiheyden välillä?

$r$ [mm]											
$B$ [mT]											

### Mitta-anturin käytöstä



Yllä olevassa kuvassa näet käytettävän mitta-anturin kytkennän. Kytkentä koostuu yleismittarista (1), anturin virtalähteestä (2), jännitevahvistimesta (3) ja itse anturista (4). Yleismittaria käytetään osoittamaan magneettikentän voimakkuutta. Kuten ohjeessa aiemmin mainittiin, mittarin näytöllä 1 V vastaa 1 mT. Anturi tarvitsee toimiakseen myös virtalähteen (2). Virtalähde kytketään kaapelin avulla anturin jännitevahvistimeen (3) kuvan mukaisesti. Anturi on valmiiksi kiinni jännitevahvistimessa, joten sille ei tarvitse tehdä mitään. Antureita on kaksi erilaista: tangenciaalinen ja aksiaalinen (kuvassa).



Anturin etäisyys johtimesta  $r =$        $cm$

Magneettivuon tiheys etäisyydellä  $r$  johtimesta on  $B = \frac{\mu_0}{2\pi r} I$

Kuvaajan fysikaalinen kulmakerroin on  $\frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu_0}{2\pi r}$ , josta ratkaistaan  $\mu_0$  ja verrataan saatua arvoa kirjallisuudesta saatavaan arvoon.

Valitse kuvaajalta virran arvoa vastaava magneettivuon tiheyden arvo ja vertaa sitä laskettuun arvoon.

Määritä kulmakertoimen avulla tyhjiön permeabiliteetti.

### Pitkän käämin magneettikenttä

Vaihda johtimen paikalle pitkä käämi. Aseta magneettikenttäanturi käämin keskelle (sisäpuolelle). Mittaa taas sähkövirtaa vastaava magneettivuon tiheyden arvo ja kirjaa tulokset taulukkoon. Mittaa myös käämin pituus ja johdinkierrosten lukumäärä. Piirrä kuvaaja  $(I, B)$  –koordinaatistoon. Vertaa mitattua arvoa laskettuun arvoon. Määritä kuvaajan avulla tyhjiön permeabiliteetti ja vertaa sitä kirjallisuudesta saatuun arvoon.

$I$ [A]								
$B$ [mT]								

Käämin pituus  $l =$        $cm$ .

Johdinkierrosten lukumäärä  $N =$

Magneettivuon tiheys pitkän käämin sisällä on  $B = N \frac{\mu_0}{l} I$

Kuvaajan fysikaalinen kulmakerroin  $\frac{\Delta B}{\Delta I} = N \frac{\mu_0}{l}$

Valitse kuvaajalta virran arvoa vastaava magneettivuon tiheyden arvo ja vertaa sitä laskettuun arvoon.

Määritä kulmakertoimen avulla tyhjiön permeabiliteetti.