

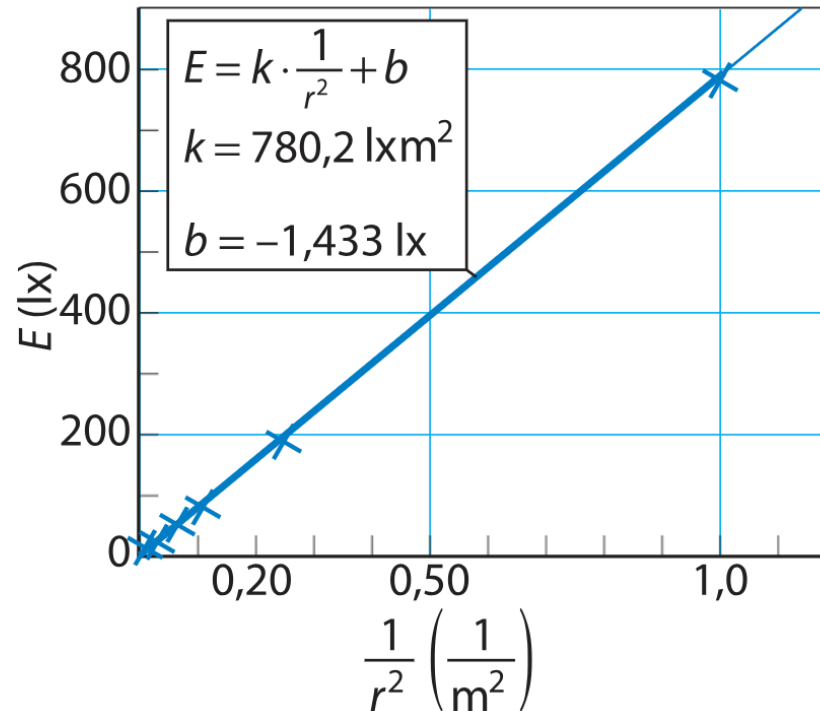
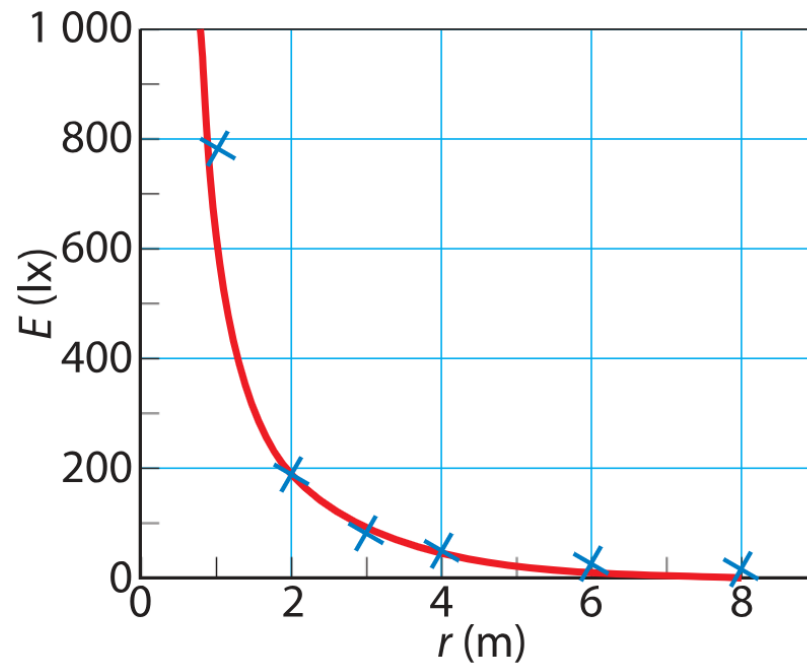
FY6

Kertaus

Valaistusvoimakkuus, E

Tehtävät 1-4 ja 1-6

Huomataan, että valaistusvoimakkuus pienenee etäisyyden kasvaessa. Tarkemmat mittaukset osoittaisivat, että valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen valolähteen etäisyyden neliöön.



$$E \sim \frac{1}{r^2}$$

Aaltoliikkeen perusyhtälö valolle

Valonnopeus

Valonnopeus $c = 299\,792\,458$ m/s on luonnonvakio. Se on sähkömagneettisten aaltojen nopeus tyhjiössä.

MAOL s. 70

Aaltoliikkeen perusyhtälö valolle

Aaltoliikkeen perusyhtälö valolle on

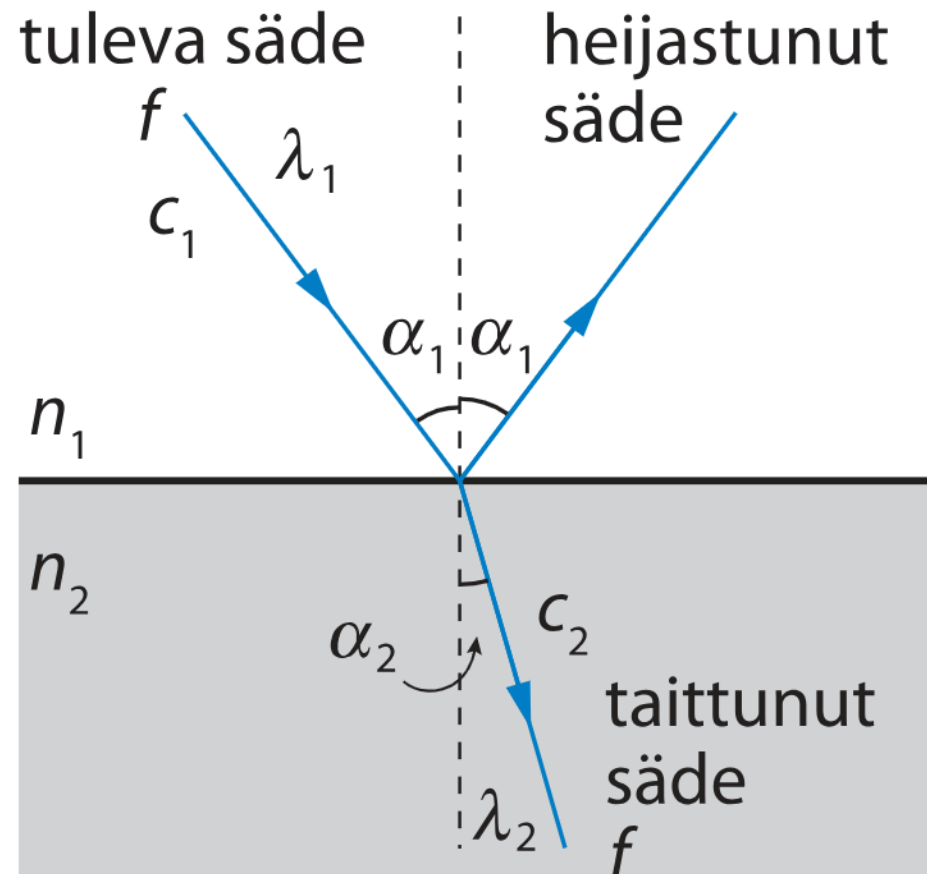
$$c = f\lambda,$$

jossa c on valon nopeus, f taajuus ja λ aallonpituus.

Löytyy yleisessä
muodossa $v = f\lambda$
MAOL s. 129

Valon kahden aineen rajapinnassa

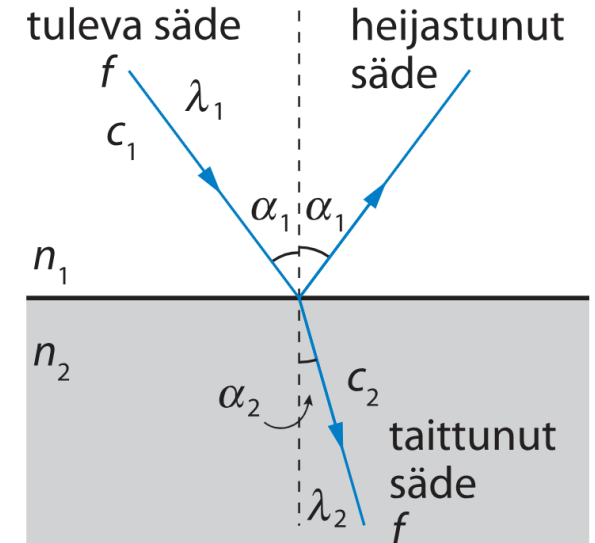
- Kun valo saapuu kahden aineen rajapintaan, **osa valosta heijastuu ja osa läpäisee rajapinnan** ja etenee toiseen aineeseen.
- Taitekulman α_2 suuruus riippuu tulokulmasta α_1 ja siitä, minkä kahden aineen rajapinnasta on kyse.



Kooste

Valon taittumislaki:

$$n_{12} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

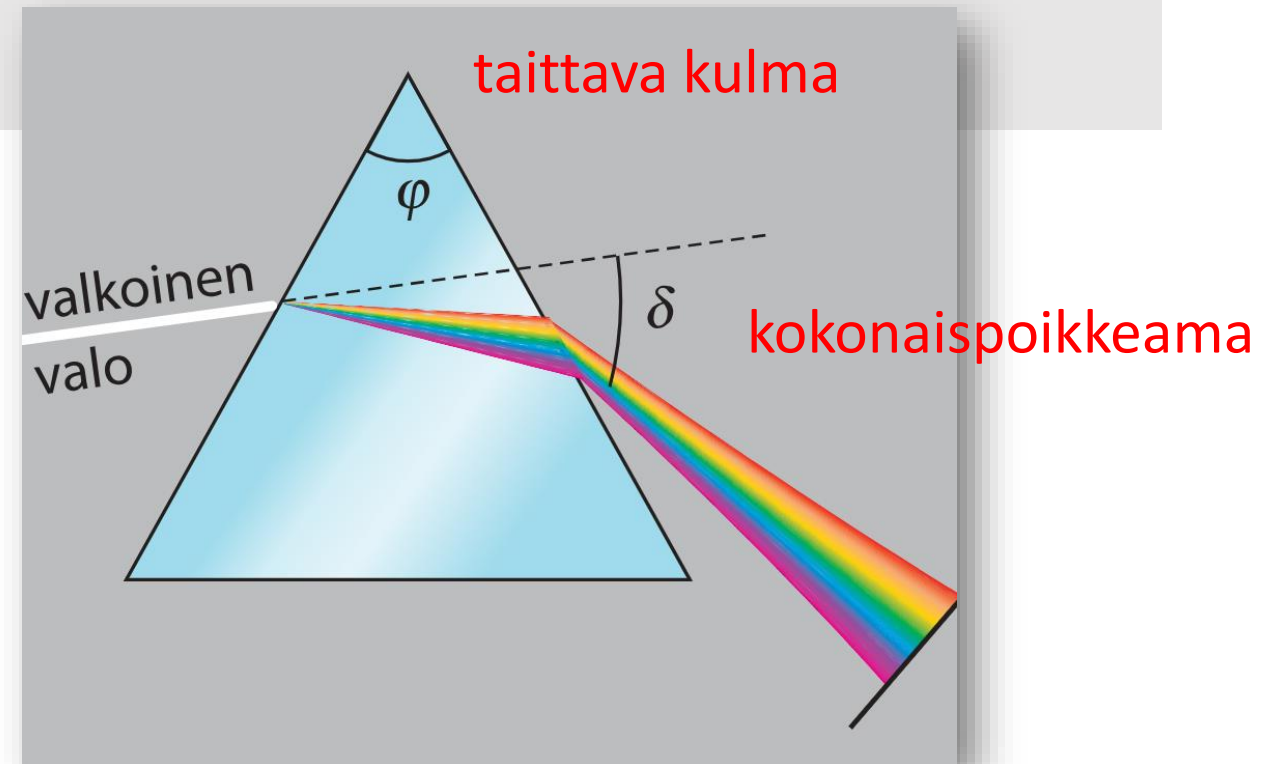


- **Tulokulma ja heijastuskulma** ovat yhtä suuret.
- **Optisesti tiheän aineen** taitekerroin, n , on suurempi kuin **optisesti harvan aineen**.
- Kun valo saapuu optisesti tiheästä aineesta optisesti harvempaan aineeseen, voi tapahtua kokonaisheijastuminen
 - **Kokonaisheijastumisen rajakulma** α_r on se tulokulma, jolla juuri ja juuri tapahtuu kokonaisheijastuminen. Tällöin taitekulma on 90° .

Dispersio

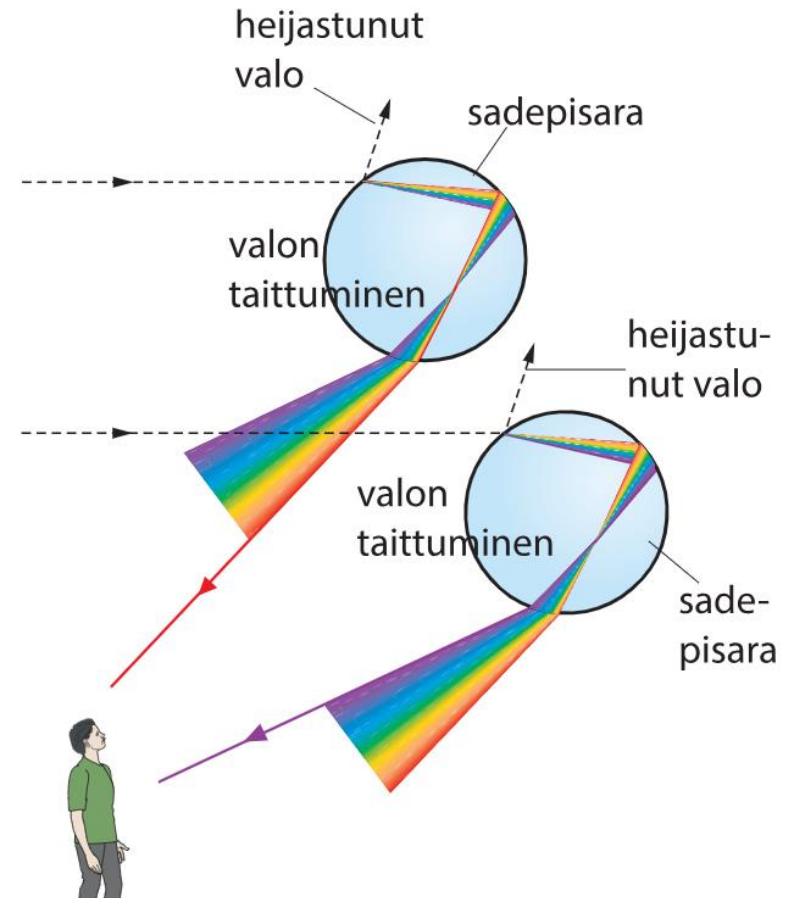
Dispersio

Valon taitekertoimen riippuvuutta valon aallonpituudesta sanotaan dispersioksi.



Sateenkaaren synty

Opettele selittämään dispersiokäsitteen avulla!



Hilayhtälö (MAOL s. 130)

Diffraktio ja interferenssi kaksoisraossa

Intensiteettimaksimi syntyy varjostimelle, kun on voimassa ehto

$$d \sin \alpha = k \lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

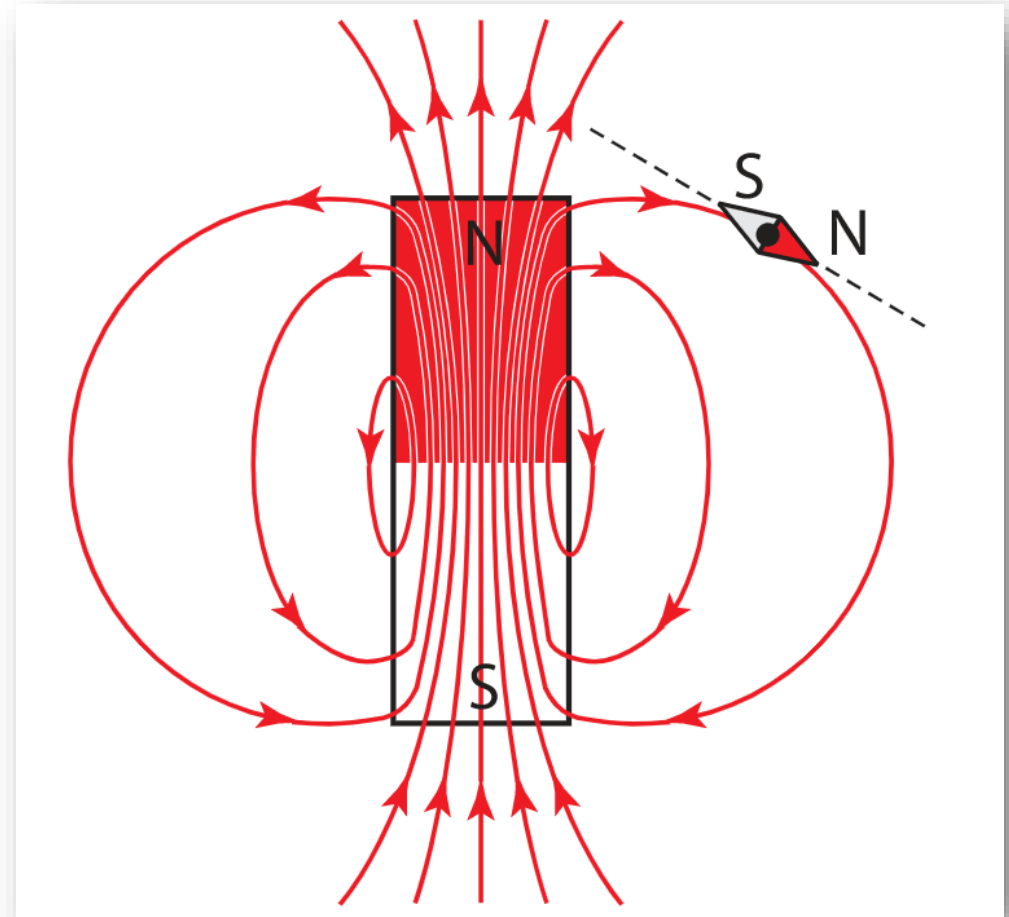
jossa d on rakojen välimatka, α taipumiskulma, λ aallonpituus ja k valoisan kohdan kertaluku.

Moniste!!

Magneettikentän suunta

Magneettikentän kenttäviivat ovat **sulkeutuvia käyriä**. Niiden suunta magneetin ulkopuolella on pohjoiskohtiosta eteläkohtioon.

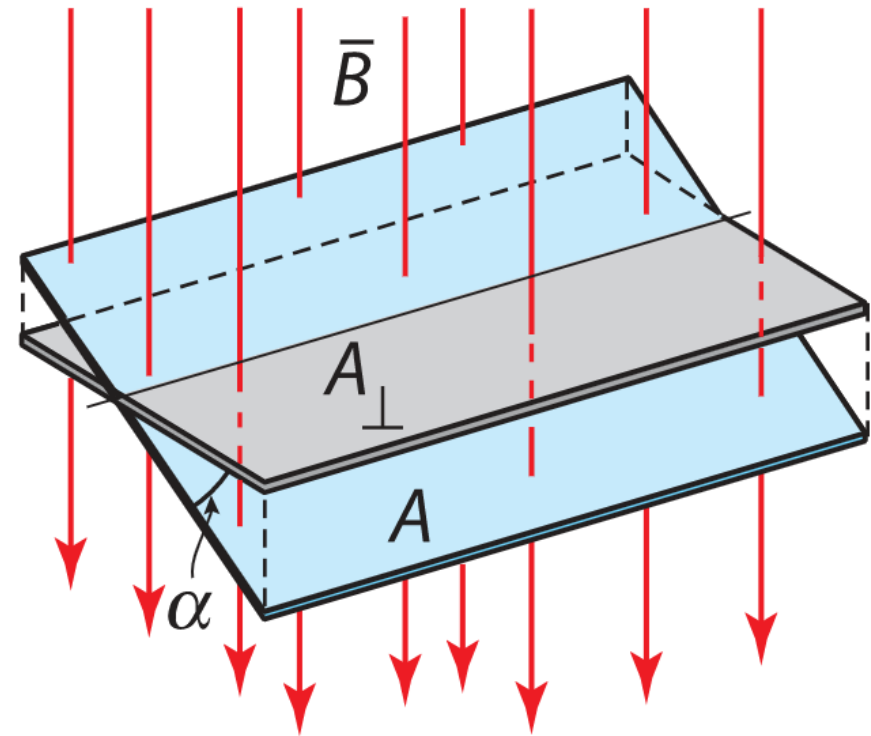
Kompassineulan pohjoiskohtio (N) osoittaa magneettikentän suunnan.



Magneettivuo

Magneettikenttää vastaan kohtisuoran pinnan läpi kulkevien kenttäviivojen lukumäärää kuvaa suure **magneettivuo**.

Suureen tunnus on Φ ja yksikkö **weber (Wb)**



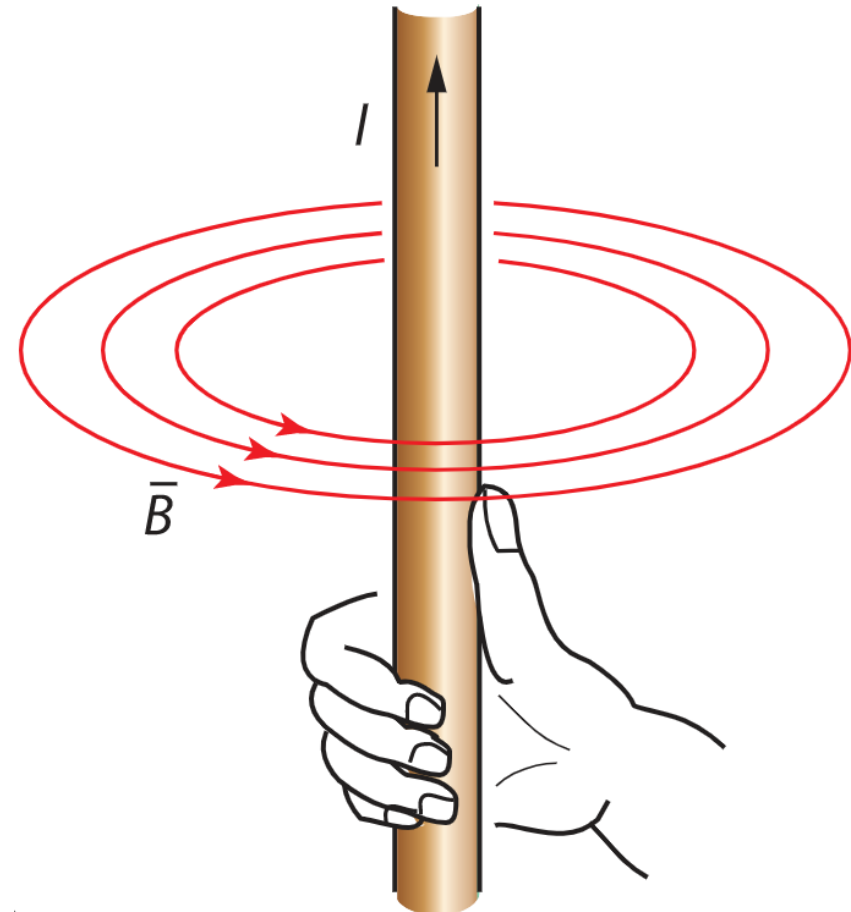
$$\Phi = A_{\perp} B = A \cos \alpha \cdot B$$

Suoran virtajohtimen magneettikenttä

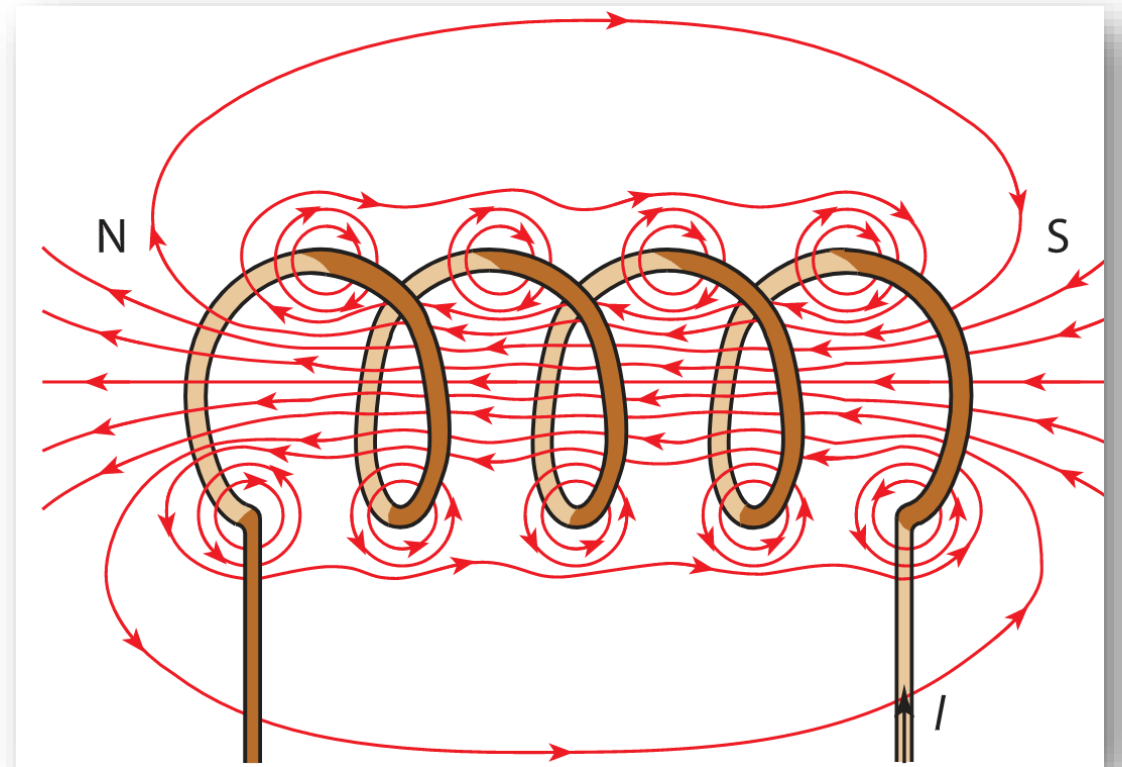
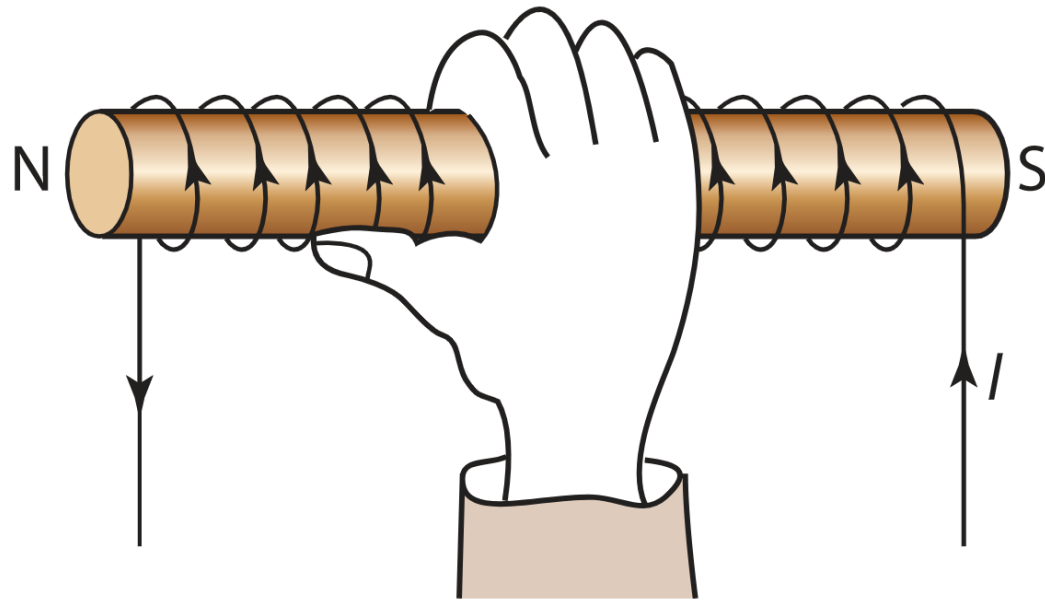
Sähkövirta synnyttää suoran johtimen ympärille magneettikentän.

Kenttä heikkenee, kun etäisyys johtimeen kasvaa.

Kentän suunta päätellään oikean käden säännön avulla.



Käämin oikean käden sääntö



Sormet osoittavat sähkövirran suunnan, peukalo osoittaa magneettikentän suunnan käämin sisällä.

Magneettisen voiman suuruus ja suunta homogeenisessä magneettikentässä

Jos **varattu** hiukkanen **liikkuu** magneettikentässä, hiukkaseen kohdistuu magneettinen voima \vec{F}_m , jonka suuruus on

$$F_m = qvB\sin\alpha$$

missä

q = hiukkasen varauksen itseisarvo

v = positiivisen hiukkasen nopeuden suuruus

B = magneettivuon tiheyden suuruus

α = magneettivuon tiheyden ja hiukkasen nopeuden välinen kulma

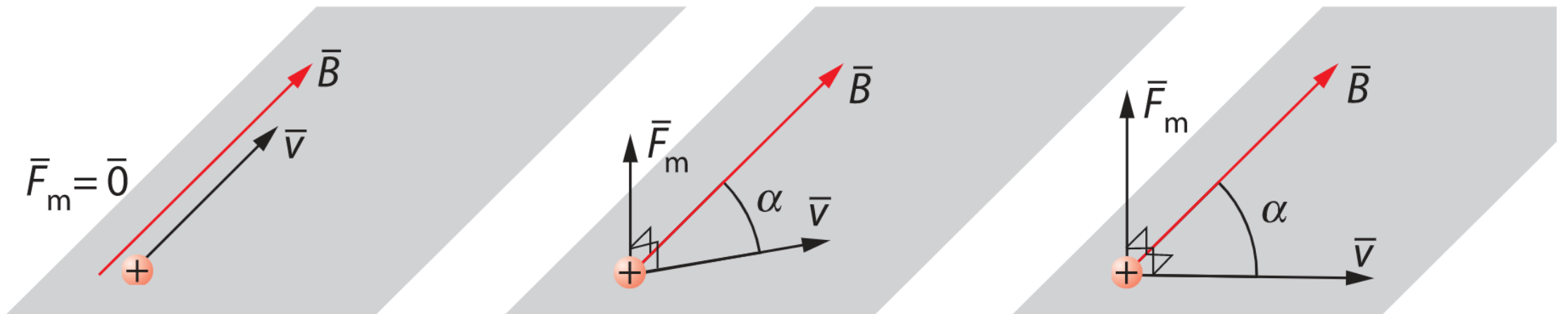


Varatun hiukkasen liike ja magneettisen voiman suuruus

Jos varattu hiukkanen liikkuu magneettikentässä

- kentän suuntaisesti (kulma $\alpha = 0^\circ$ tai $\alpha = 180^\circ$), hiukkaseen ei kohdistu magneettista voimaa eli magneettinen voima on nolla.
- kohtisuoraan magneettikenttää vastaan, magneettinen voima on suurin.

$$F_m = qvB\sin\alpha$$



Deklinaatio ja inklinaatio

Deklinaatio on magneettineulan poikkeama maantieteellisestä pohjoissuunnasta. Helsingissä se on noin 4° itään.

Inkлинаatio on magneettineulan kallistuma vaakatasosta (ks. kuva) Helsingissä se on noin 73° Maan sisään.

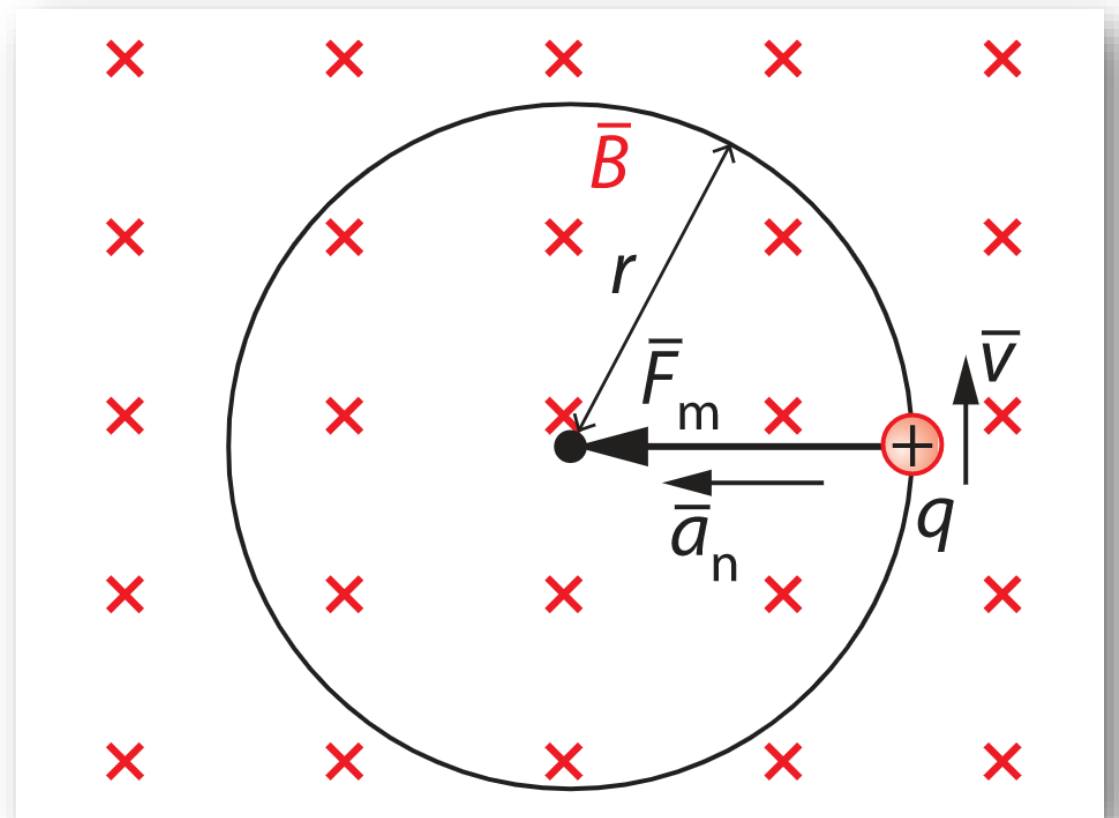


Varatun hiukkasen liike magneettikentässä

Koska hiukkanen liikkuu magneettikentässä vakionopeudella, sillä ei ole etenemisliikkeen kiihtyvyyttä. Ympyräliikkeessä olevalla hiukkasella on kuitenkin normaalikiihtyvyyttä \bar{a}_n .

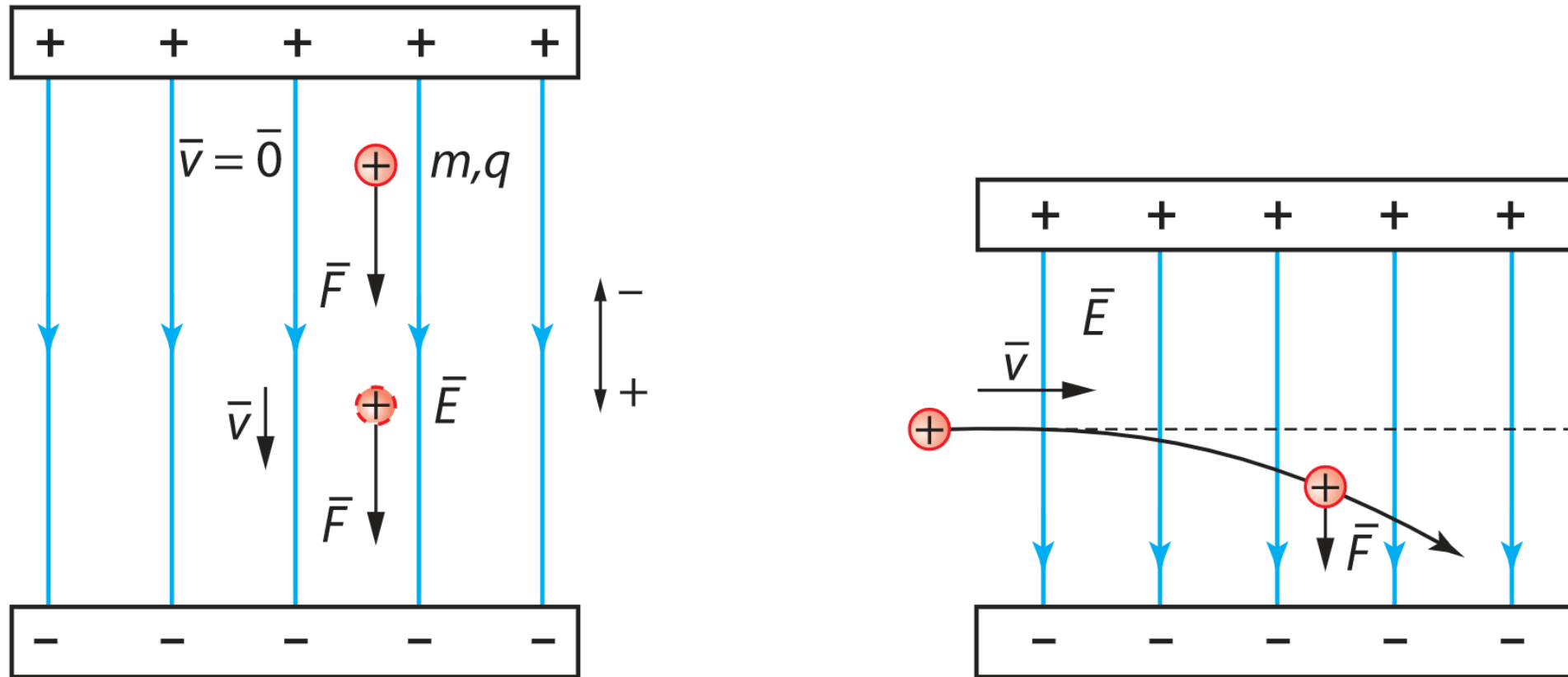
$$\text{NII:} \quad \bar{F}_m = m\bar{a}_n$$

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$



Tehtävä 7-11

Varatun hiukkasen liike sähkökentässä



Laskuissa oletetaan, että painovoima ei vaikuta hiukkaseen sähkökentässä, koska sen vaikutus on niin pieni sähköisen voiman vaikutukseen nähden.

Työ-energiaperiaate homogeenisessa sähkökentässä

Työ-energiaperiaate homogeenisessa sähkökentässä

Jos sähkökenttä on homogeeninen ja varattuun hiukkaseen vaikuttaa vain sähköinen voima, pätee $\Delta E_k = W$ eli

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = qU,$$

jossa v_a ja v_1 ovat hiukkasen alku- ja loppunopeuksien suuruudet ja q on hiukkasen sähkövarauksen suuruus ja U kiihdytysjännite.

Tehtävä 7-6

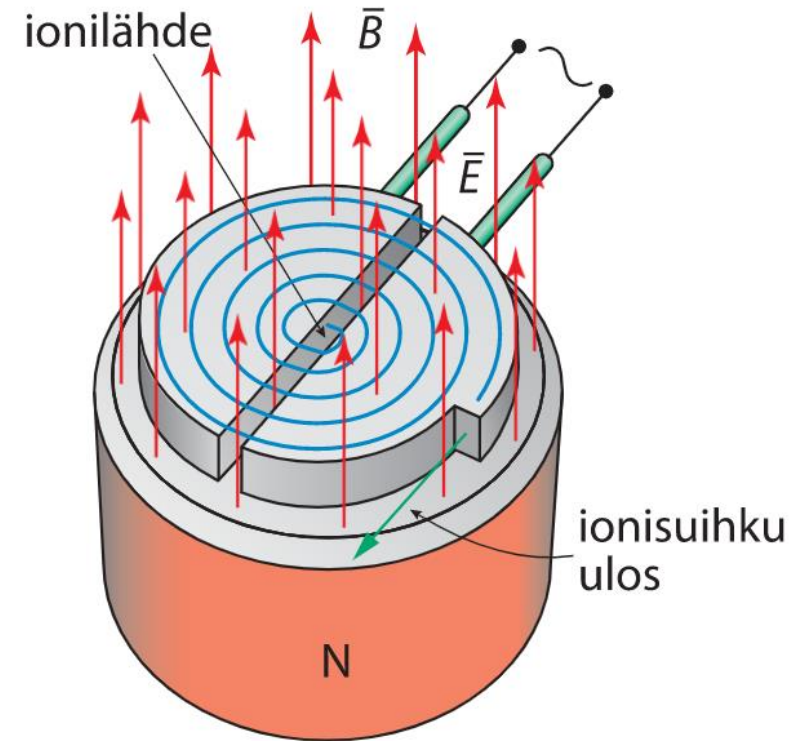
Syklotroni

$$\bar{F}_m = m\bar{a}_n,$$

$$qvB = m\frac{v^2}{r}, \text{ josta}$$

$$v = \frac{qBr}{m} \text{ tai}$$

$$r = \frac{mv}{qB}.$$



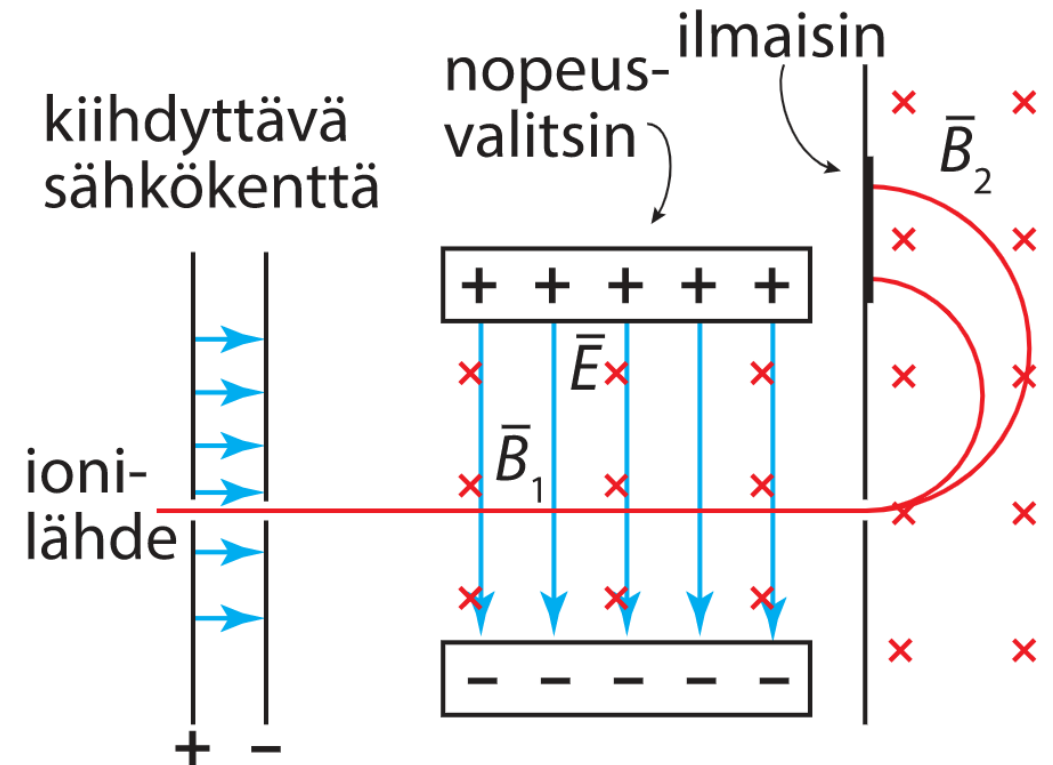
Huomaa, että piirroksesta on poistettu syklotronin ylempi magneetti.

Tehtävä 7-10

Massaspektrometri

Massaspektrometri on laite, jolla voidaan määrittää muun muassa ionien ominaisvarauksia $\frac{q}{m}$ sekä atomien ja molekyylien massoja.

Koska määritykset tehdään sähkö- ja magneettikenttien avulla, tutkittava näyte on ionisoitava.

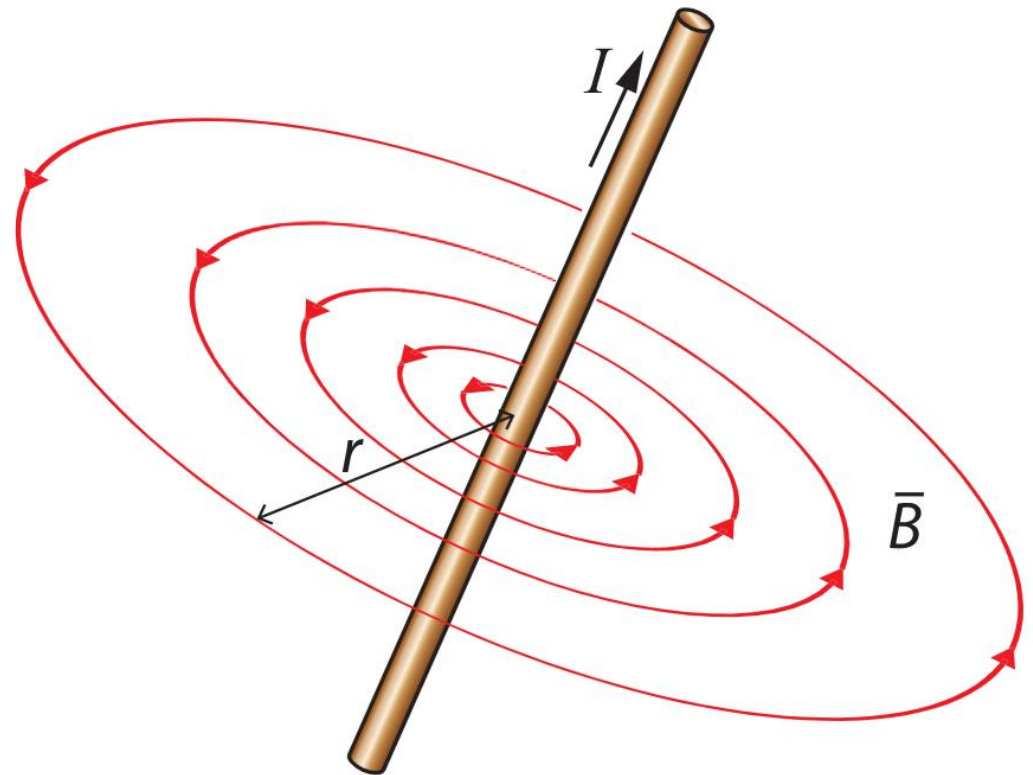


Toimintaperiaate oppikirjan sivulla 70!!

Suorajohdin ulkoisessa magneettikentässä

Magneettivuontiheys \bar{B} pienenee etäisyyden r kasvaessa.

Tämä havainto tunnetaan **Biotin-Savartin lakina**.



Biotin-Savartin laki

Biotin-Savartin laki

Suoran virtajohtimen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus etäisyydellä r johtimesta on

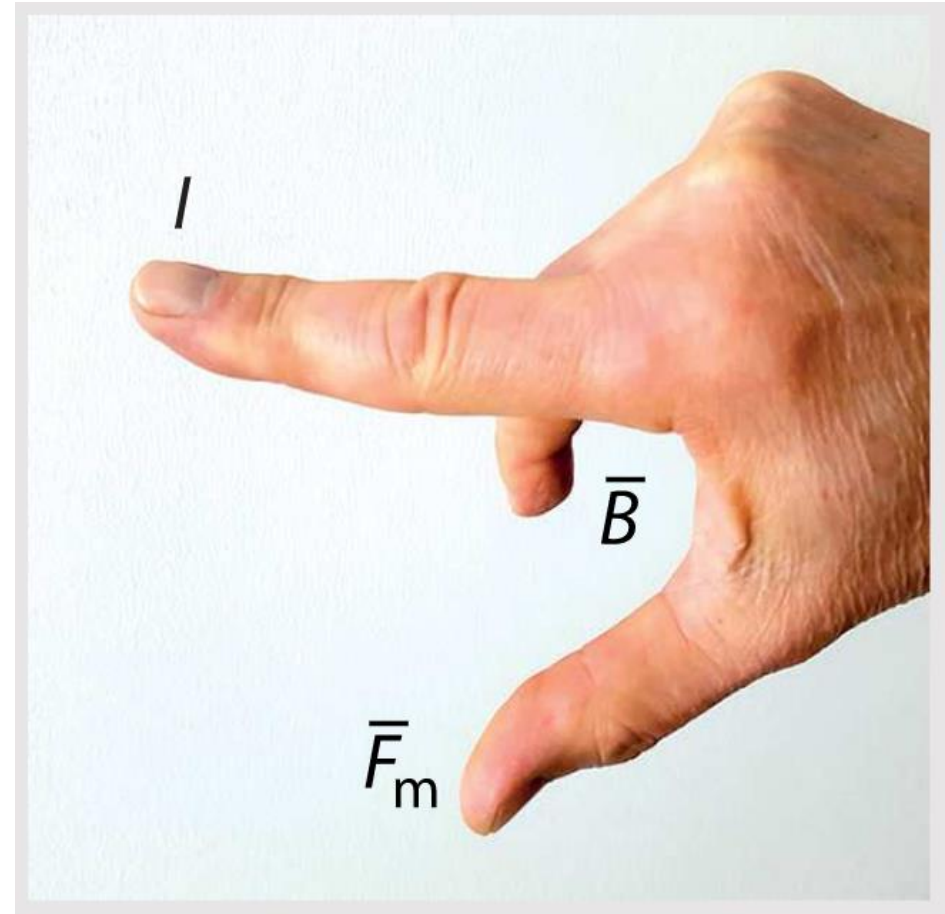
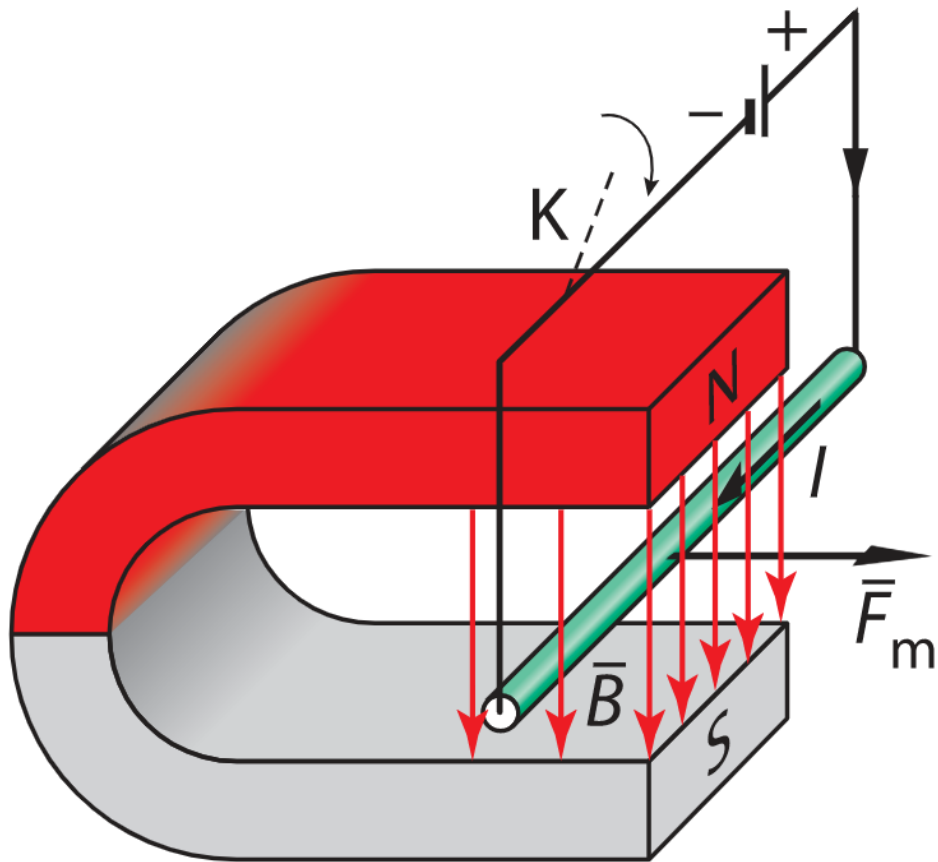
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

MAOL s. 132

jossa μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti, I sähköjohtimessa kulkeva sähkövirta ja r etäisyys johtimesta.

Tehtävä 8-4

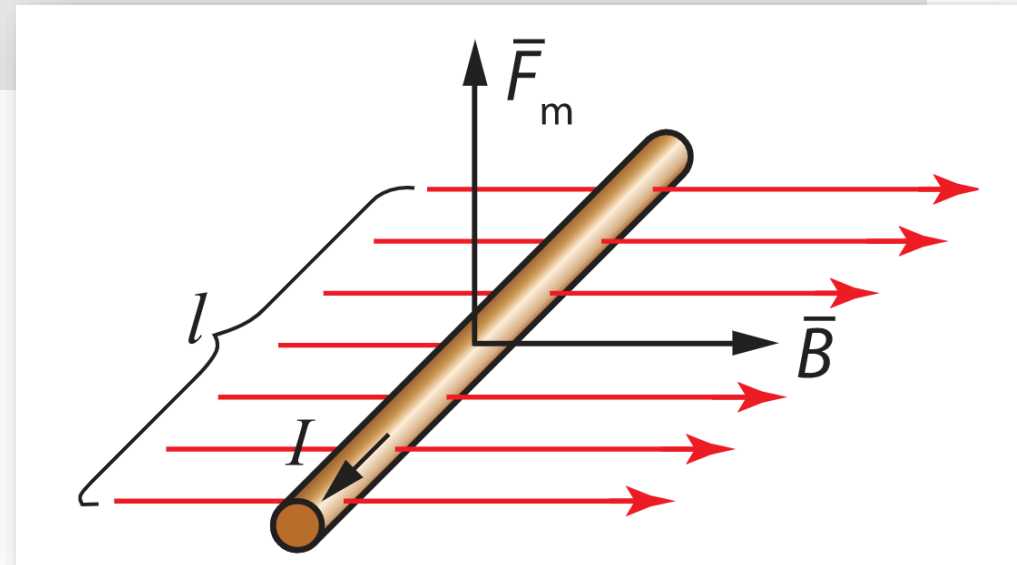
Virtajohdin ulkoisessa magneettikentässä



Mitä voimakkaampi magneetti (\vec{B}) ja mitä suurempi sähkövirta (I), sitä suurempi magneettinen voima \vec{F}_m johtimeen vaikuttaa.

Virtajohtimien ulkoisessa magneettikentässä

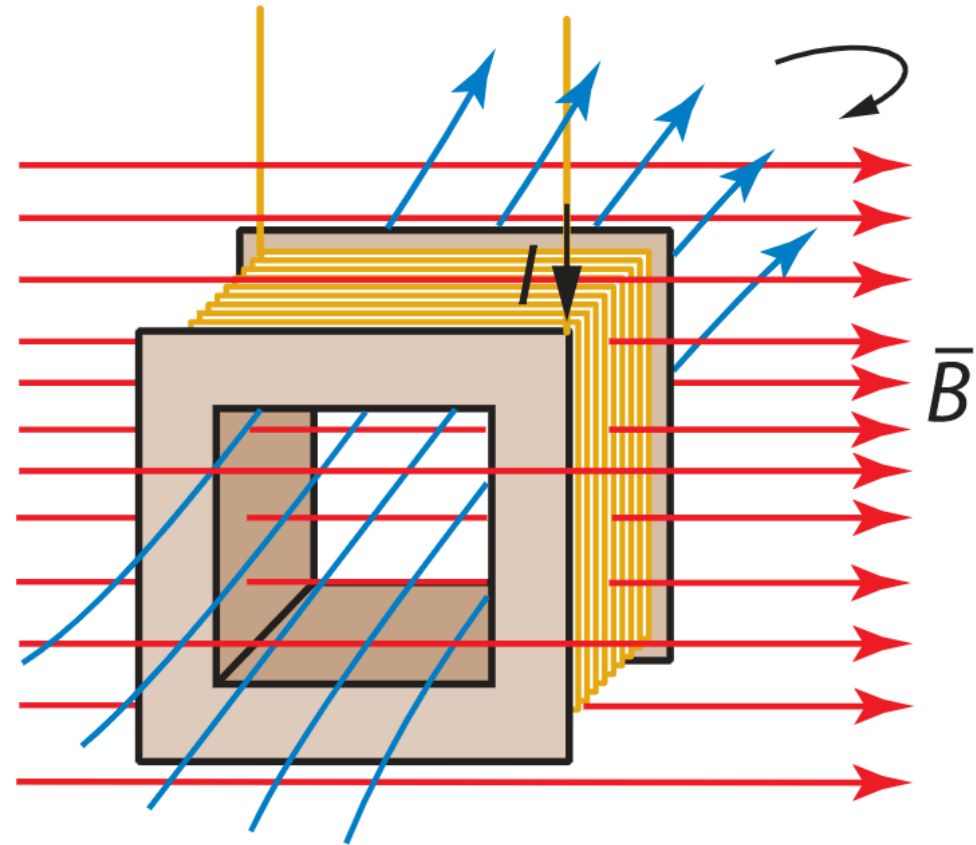
- Magneettikenttä vaikuttaa sitä vastaan kohtisuoraan virtajohtimeen voimalla \vec{F}_m , jonka suuruus on $F_m = IlB$, **MAOL s. 132** jossa I on johtimessa kulkeva sähkövirta, l johtimen magneettikentässä olevan osan pituus ja B magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus.
- Voiman suunta päätellään virtajohtimen oikean käden säännön avulla.



Tehtävä 8-2

Käämi ulkoisessa magneettikentässä

Käämi pyrkii kääntymään siten, että käämin sisäisen magneettikentän kenttäviivat ovat ulkoisen magneettikentän kenttäviivojen suuntaiset.



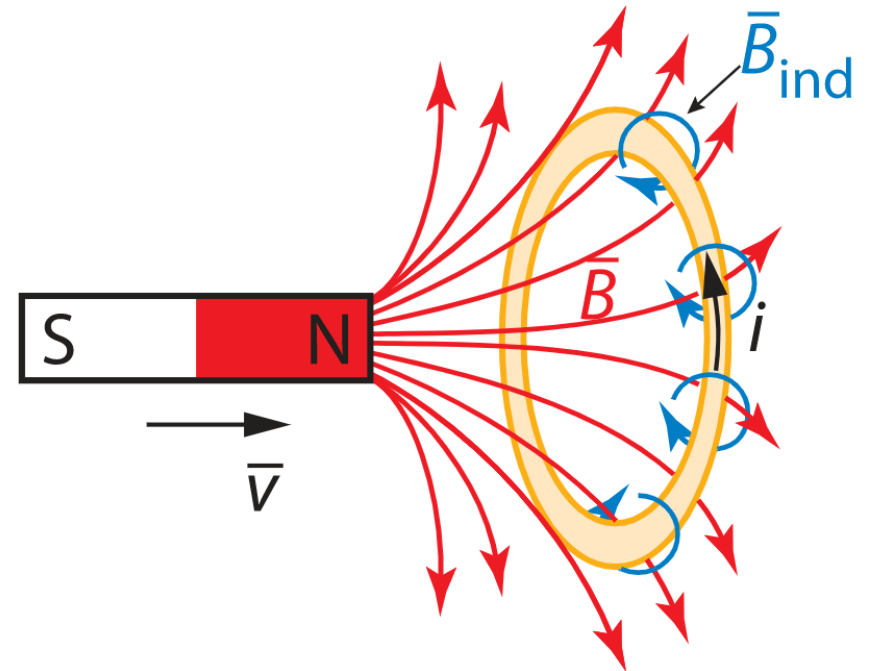
Sähkömagneettinen induktio

Sähkömagneettinen induktio

Kun johdin on muuttuvassa magneettikentässä, siihen indusoituu jännite. Tämä aiheuttaa suljettuun virtapiiriin sähkövirran (induktiovirran). Ilmiötä kutsutaan sähkömagneettiseksi induktioksi.

Huomaa, että induktiojännitettä ja -virtaa merkitään pienillä kirjaimilla e ja i .

Indusoitunutta magneettikenttää merkitään \vec{B}_{ind}



Lenzin laki

MONISTE!!

Induktiovirta on suunnaltaan sellainen, että sen vaikutukset vastustavat muutosta, josta induktio aiheutuu.

Lenzin lain mukaan

- vahvistuva ulkoinen magneettikenttä synnyttää induktiovirran, joka puolestaan synnyttää alkuperäiselle ulkoiselle magneettikentälle vastakkaissuuntaisen kentän, joka vastustaa magneettivuon kasvua renkaan sisällä.
- heikkenevä ulkoinen magneettikenttä synnyttää induktiovirran, joka puolestaan synnyttää alkuperäisen ulkoisen magneettikentän suuntaisen kentän, joka vastustaa magneettivuon pienenemistä renkaan sisällä.

Suoran johtimen induktiolaki

$$F_s = F_m$$

$$qE = qvB \quad | : q$$

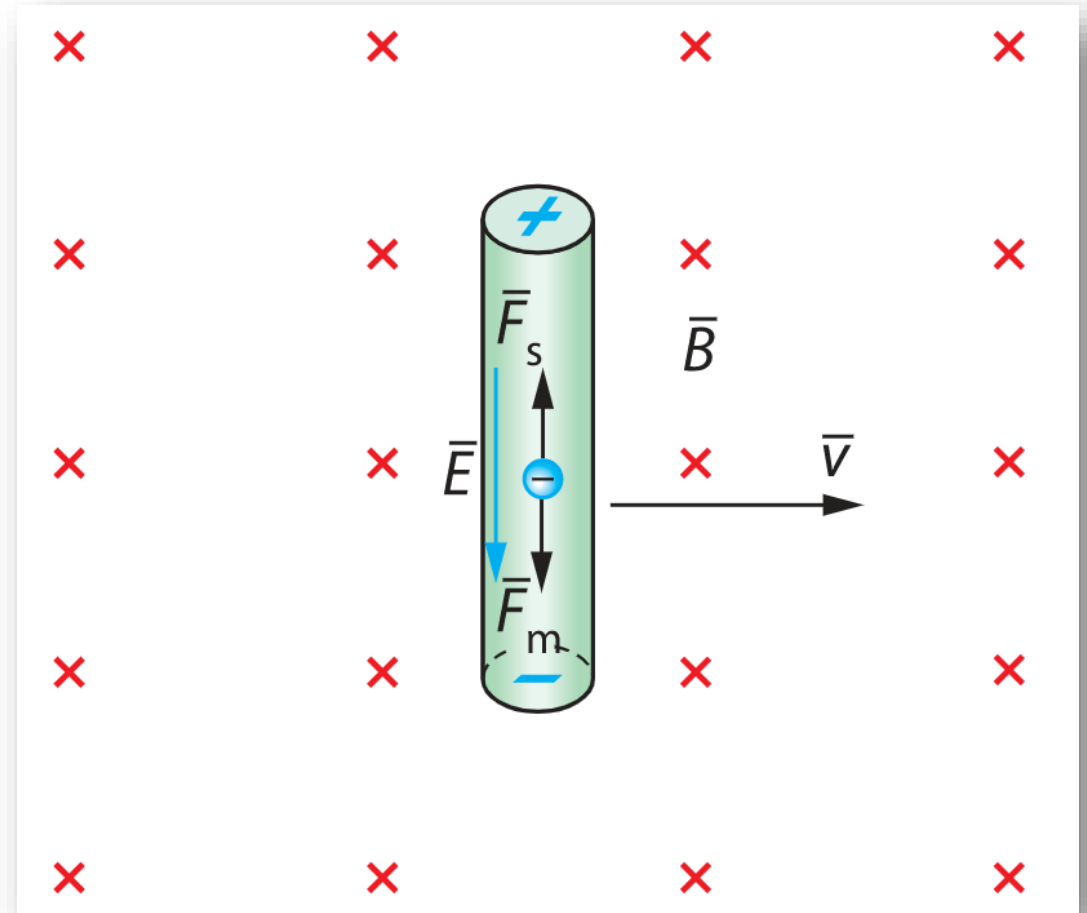
$$E = vB$$

$$\frac{e}{l} = vB \quad | \cdot l$$

$$e = lvB$$

Homogeenisen sähkökentän jännite eli potentiaaliero on $U = Ed$.

Nyt induktiojännite $e = El$, missä l on johtimen päiden välinen etäisyys



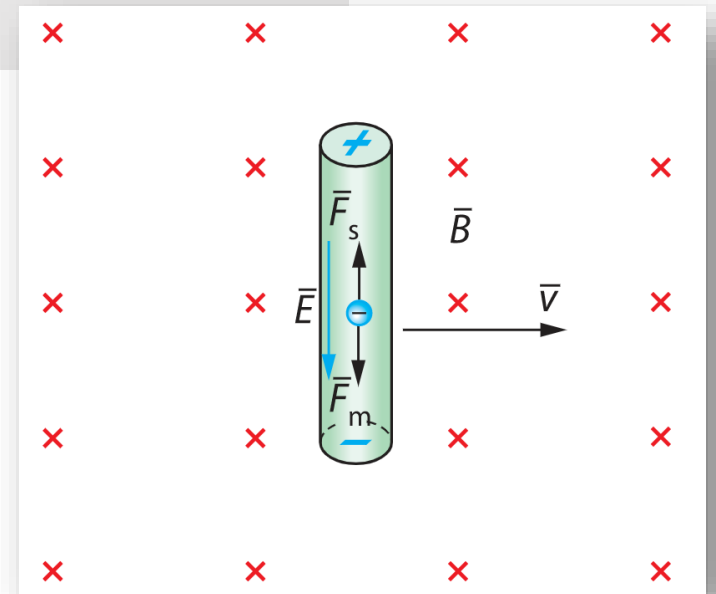
Suoran johtimen induktiolaki

Kun suora johdin liikkuu poikittain vakionopeudella kohtisuorasti homogeenista magneettikenttää vastaan, johtimen päiden välille indusoituu jännite (lähdejännite)

$$e = lvB, \quad \text{MAOL s. 132}$$

jossa l on johtimen magneettikentässä olevan osan pituus, v johtimen nopeuden ja B magneettivuon tiheyden suuruus.

Jos l , v ja B eivät ole kohtisuorassa toisiaan vastaan, valitaan sopiva kohtisuora komponentti.



Induktiolaki

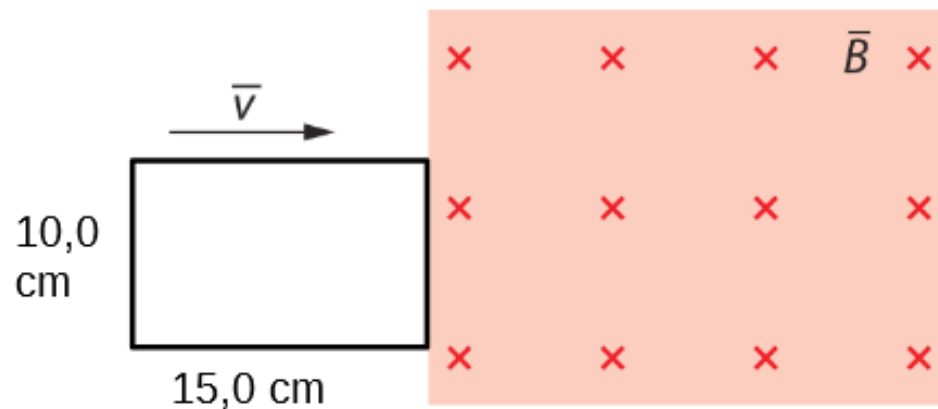
Kun magneettivuo johdinsilmukan läpi muuttuu, silmukkaan indusoituu keskimääräinen induktiojännite (lähdejännite)

$e_k = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, jossa $\Delta\Phi$ on magneettivuon muutos ja Δt vuon muutokseen kulunut aika.

Kaavassa oleva **miinusmerkki** kuvaa sitä, että indusoitunut magneettikenttä pyrkii **vastustamaan** magneettivuon muutosta.

Käämiin indusoitunut keskimääräinen jännite on

$e_k = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, kun N on käämin kierrosluku.



Pyörrevirrat

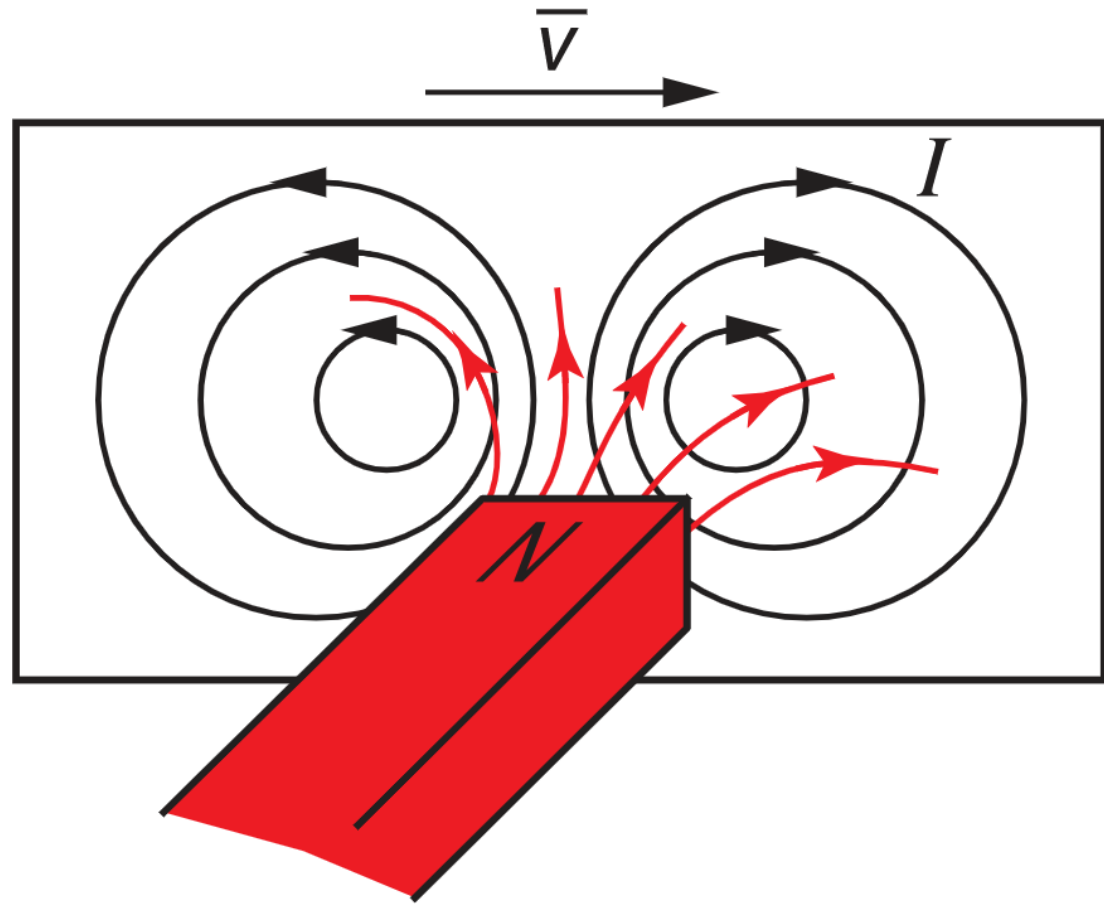
- Magneetikentässä liikkuvaan metallilevyyn indusoituu sähkövirtoja niihin alueisiin, joissa magneettivuo muuttuu. Näitä sähkövirtoja nimitetään pyörrevirroiksi.
- Pyörrevirrat aiheuttavat tehohäviöitä mm. generaattoreissa, moottoreissa ja muuntajien rautasydämissä.

Pyörrevirtojen sovellukset: induktioliesi, metallinpaljastin ym.

Pyörrevirrat

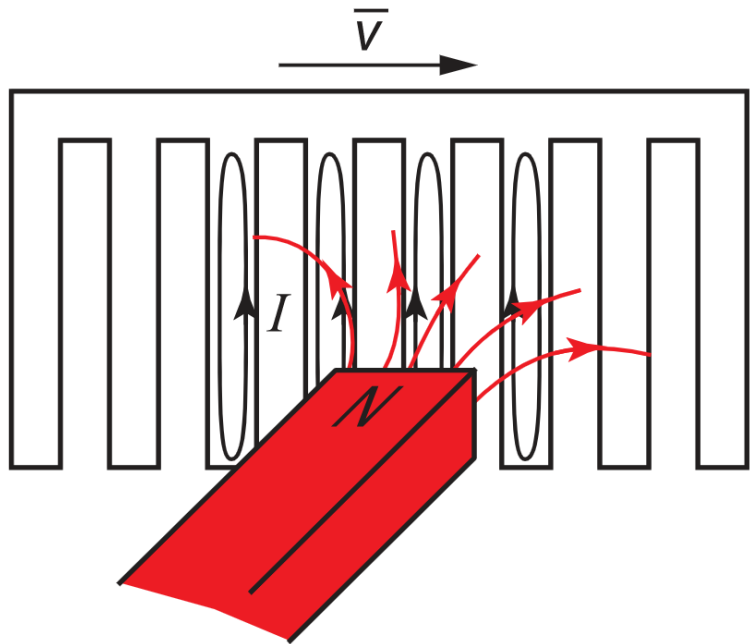
Pyörrevirtojen suunta on sellainen, että ne vastustavat magneettikentän muutosta.

Mietin ensin indusoituvan magneettikentän \vec{B}_{ind} suunta ja sitten induktiovirran suunta oikean käden säännöllä.



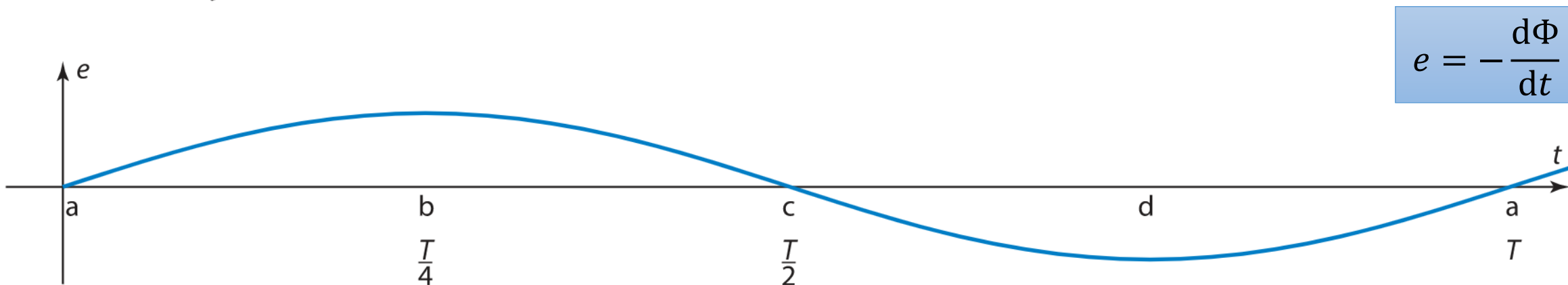
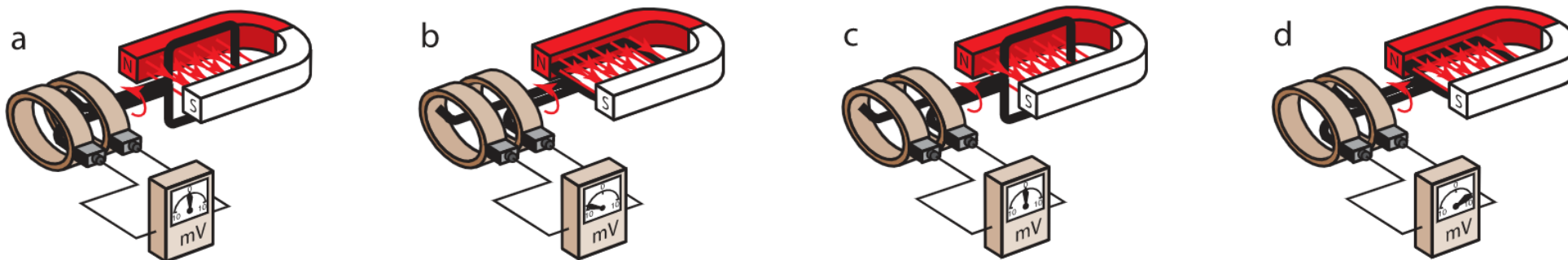
Pyörrevirtojen vähentäminen

Metallipinnan rikkonaisuus vähentää pyörrevirtoja.



Generaattorin toimintaperiaate

Kun silmukkaa pyöritetään magneettikentässä, magneettivuo silmukan läpi muuttuu koko ajan. → Silmukkaan indusoituu lähdejännite e ja siellä alkaa kulkea induktiovirta i .



Generaattorin lähdejännite

- Homogeenisessa magneettikentässä tasaisesti pyörivään käämiin indusoituu sinimuotoinen ajasta t riippuva vaihtojännite

$$e = e_0 \sin \omega t = e_0 \sin(2\pi f t),$$

MAOL s. 133

jossa vaihtojännitteen huippuarvo on $e_0 = NAB\omega = NAB \cdot 2\pi f$.

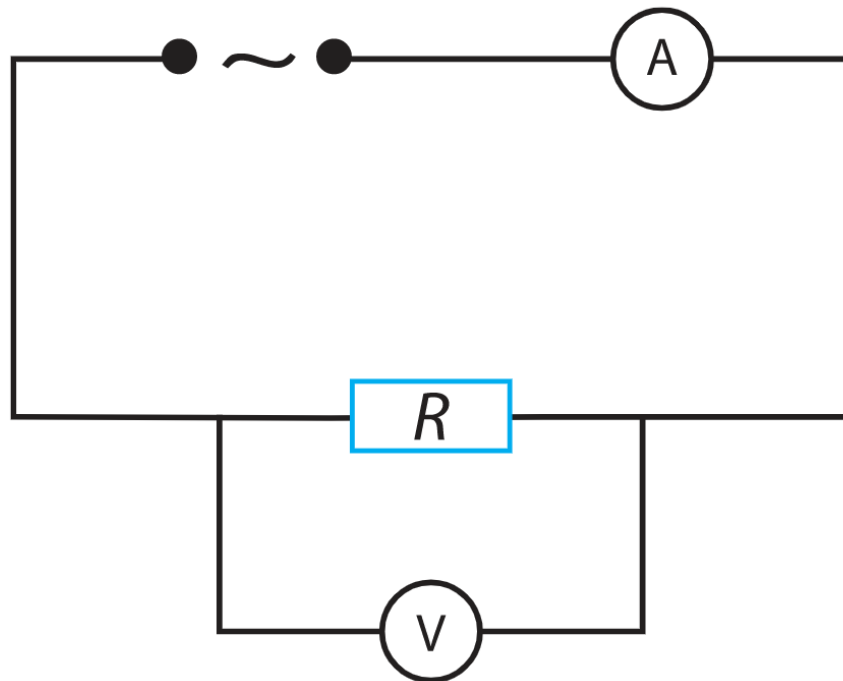
Käämin kierrosluku on N , käämin silmukan pinta-ala A ja magneettivuon tiheys B .

- Vaihtojännitteen taajuus f on yhtä suuri kuin käämin pyörimisnopeus. Pyörimisnopeuden tunnus on n ja yksikkö yleensä rpm eli r/min.
- Vaihtojännitteen huippuarvot saavutetaan niinä hetkinä, joina käämin silmukoiden taso on magneettikentän suuntainen.

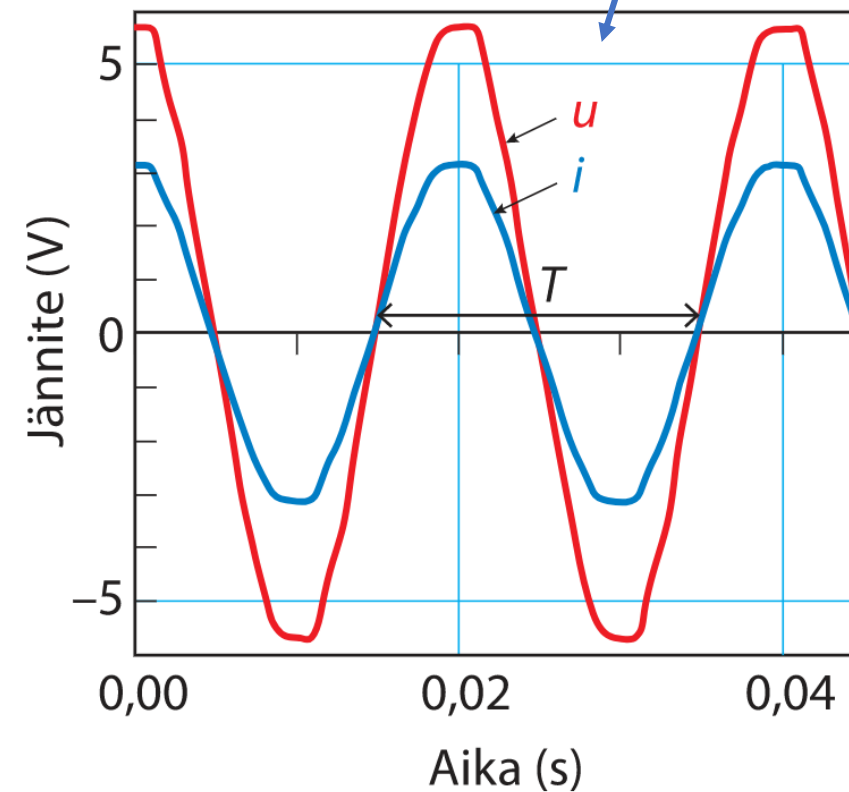
Vastus vaihtovirtapiirissä

Huomaa

- Generaattorin käämin napojen väliin indusoituva jännite on **lähdejännite** e .
- Kun generaattoria kuormitetaan kytkemällä siihen esimerkiksi vastus, käämin napojen välinen jännite on **napajännite** u .



$$u = u_0 \sin(2\pi ft), \text{ missä } u_0 = NAB2\pi f$$



Vaihtovirta

Aikaisemmin johdettiin generaattorin lähdejännitteelle kaava $e = e_0 \sin(2\pi ft)$.

Ohmin lain nojalla $U = RI \implies I = \frac{U}{R}$.

Generaattoriin indusoituneen lähdejännitteen synnyttämän induktiovirran suuruudelle saadaan siis

$$i = \frac{e}{R} = \frac{e_0 \sin(2\pi ft)}{R} = \frac{e_0}{R} \sin(2\pi ft) = i_0 \sin(2\pi ft)$$

MAOL
s. 133

Vaihtovirran ja jännitteen teholliset arvot

- Sinimuotoisen vaihtovirran tehollinen arvo on $I = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$, jossa i_0 on vaihtovirran huippuarvo.
- Vaihtojännitteen tehollinen arvo on $U = \frac{u_0}{\sqrt{2}}$, jossa u_0 on vaihtojännitteen huippuarvo.

Impedanssi

Jos virtapiirissä on pelkkä vastus, sähkövirran kulkua virtapiirissä vastustaa vastuksen resistanssi.

Ohmin lain mukaan $U = RI$ eli $R = \frac{U}{I}$.

Jos virtapiirissä on muitakin komponentteja (esim. kondensaattori tai käämi), sähkövirran kulkua vastustavia tekijöitä on enemmän. Koko piirin aiheuttamaa vastusta sähkövirran kululle kuvaa suure impedanssi Z , jonka suuruus saadaan yhtälöstä:

$$U = ZI$$

vrt. Ohmin laki

Impedanssi

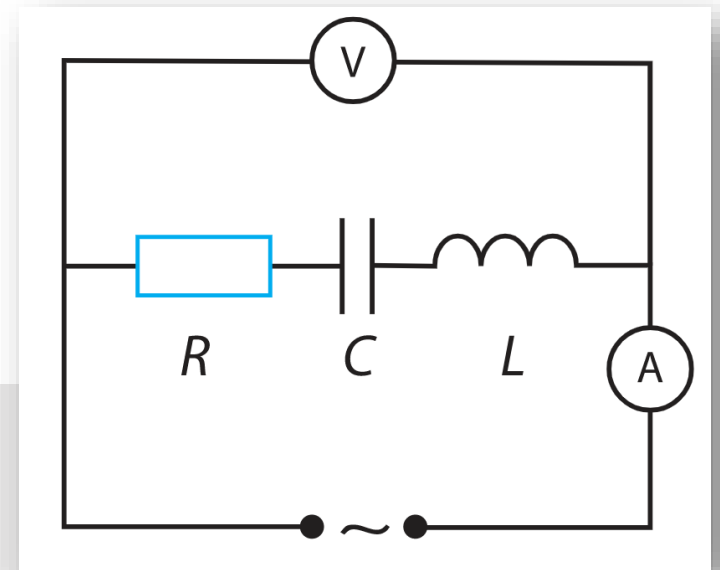
Vaihtovirtapiirin impedanssi

- Vaihtovirtapiirin impedanssi Z on

$$Z = \frac{U}{I},$$

jossa U on vaihtojännitteen tehollinen arvo ja I vaihtovirran tehollinen arvo.

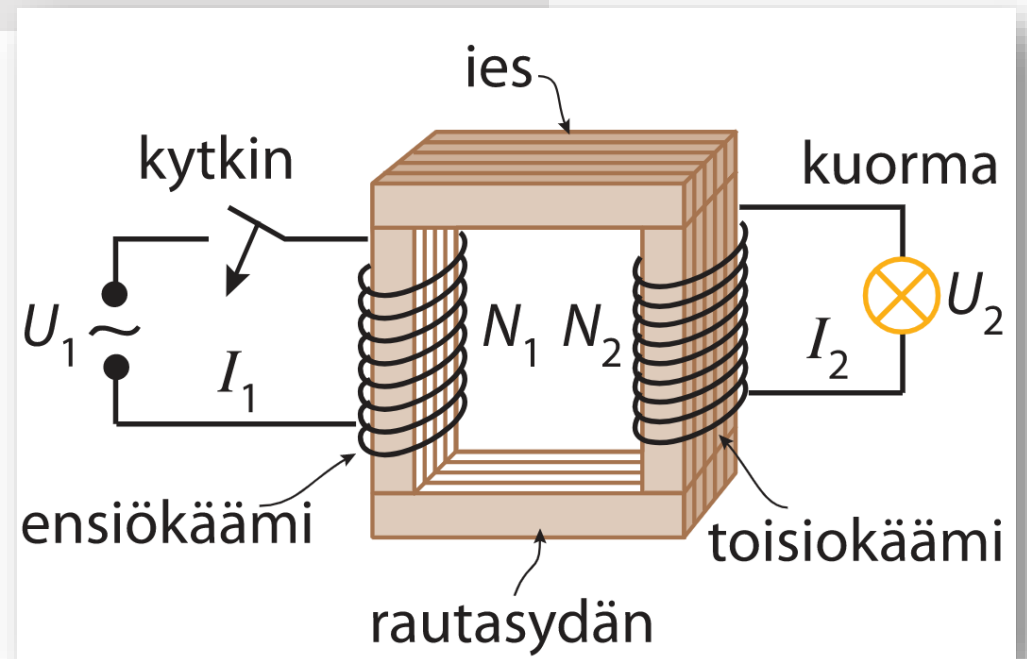
- Impedanssi kuvaa piirin aiheuttamaa vastusta vaihtovirrälle.



Muuntajan toiminta

Muuntajan toimintaperiaate

Muuntajan ensiökäämin muuttuva sähkövirta synnyttää muuttuvan magneettikentän, joka läpäisee muuntajan toisiokäämin. Muuttuva magneettikenttä indusoi toisiokäämiin vaihtojännitteen.



Muuntajan muuntosuhde

Tehtävä 15-3

Ideaalisen muuntajan muuntosuhde

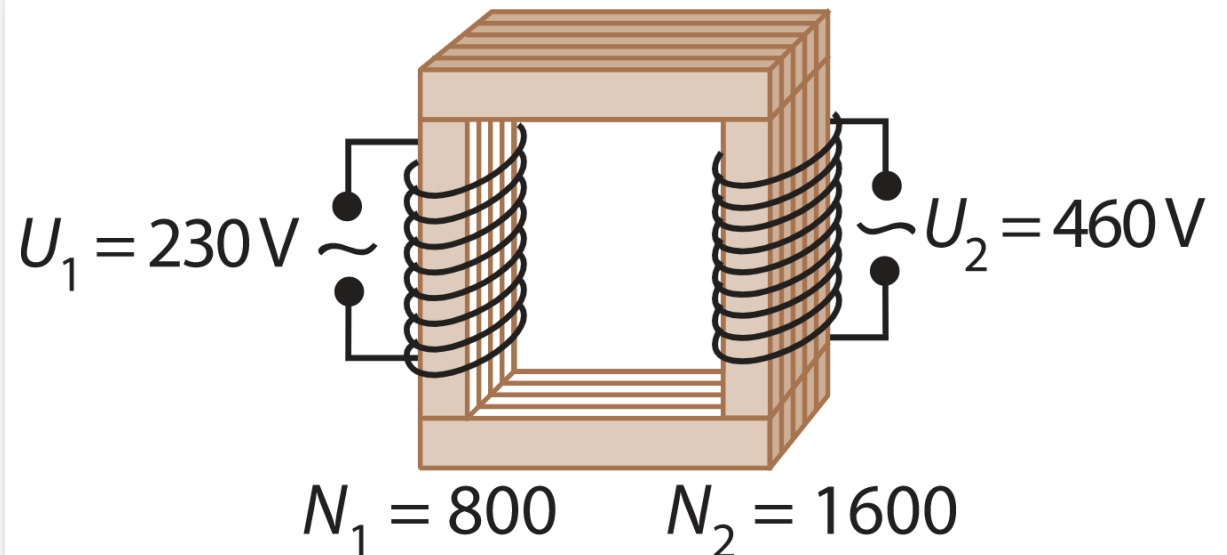
Ideaalisen muuntajan muuntosuhde on $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$,

jossa N_1 ja N_2 ovat ensiö- ja toisiopuolen kierrosluvut, U_1 ja U_2 jännitteiden teholliset arvot ja I_1 ja I_2 sähkövirtojen teholliset arvot.

Käämin kierrosten lkm. vaikuttaa indusoituvan jännitteen suuruuteen.

Viereisessä kuvassa, toisiokäämin kierrosten lukumäärä on 2-kertainen ensiökäämiin verrattuna

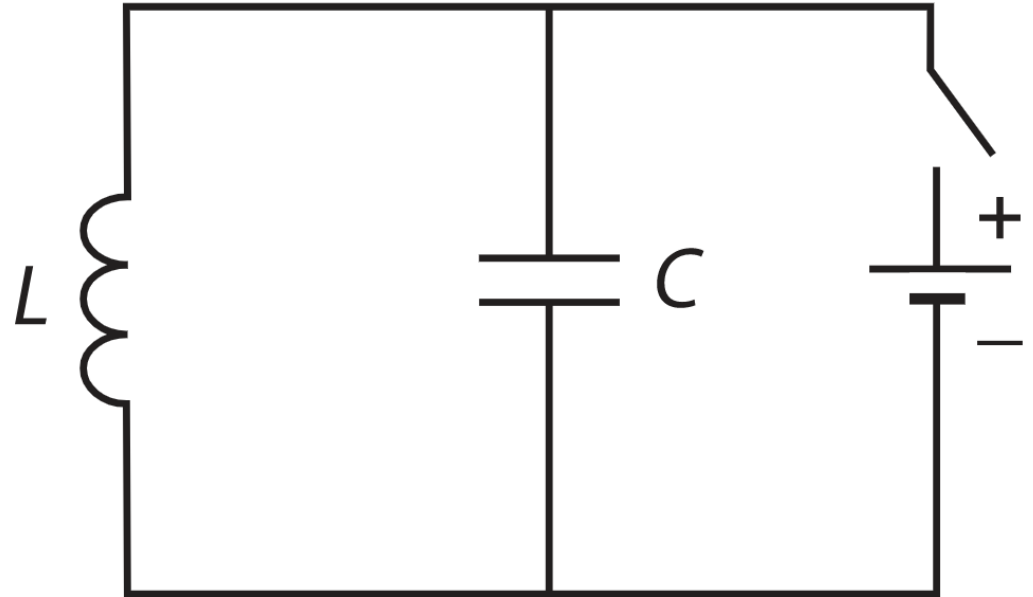
→ Jännite kaksinkertaistuu.



Sähkömagneettinen värähtelypiiri

Kondensaattorin ja käämin muodostamaa virtapiiriä eli LC-piiriä kutsutaan **värähtelypiiriksi**.

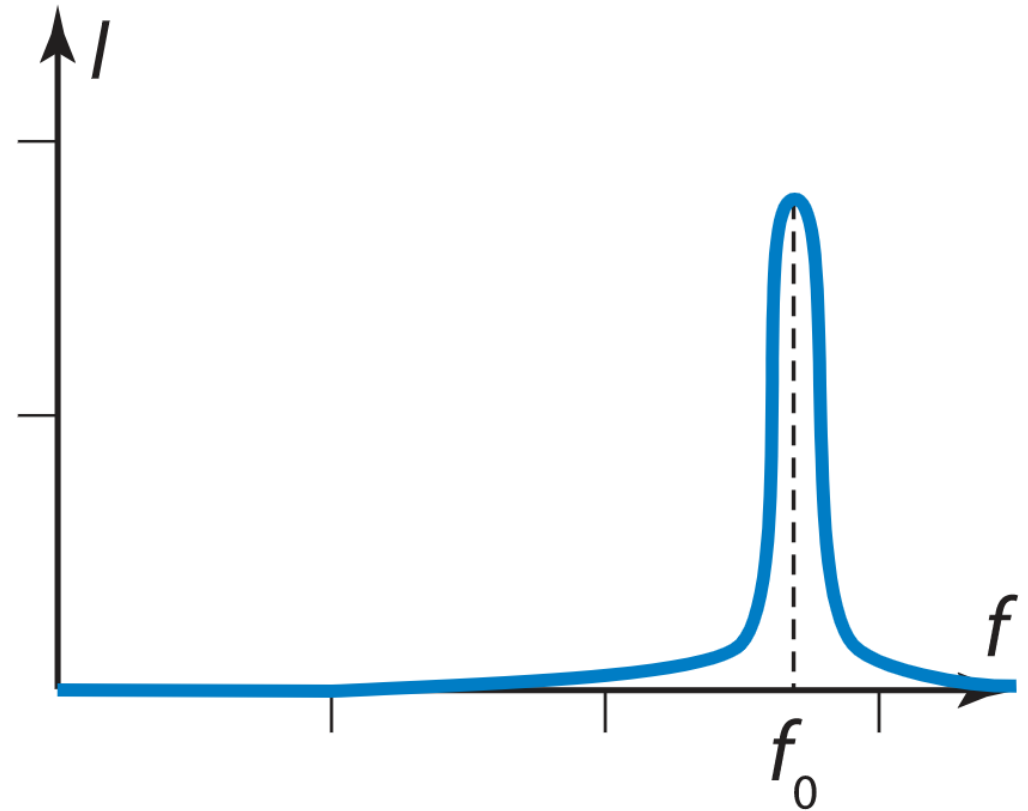
Värähtelypiirejä käytetään esim. radiolähettimissä ja antenneissa.



Värähtelypiirin resonanssitaajuus

Värähtelypiirin resonanssitaajuus on se taajuus f_0 , jolla sähkövirta saavuttaa suurimman arvonsa.

Resonanssitaajuus riippuu siitä, millaisesta käämistä ja kondensaattorista värähtelypiiri muodostuu.



Värähtelypiirin resonanssitaajuus

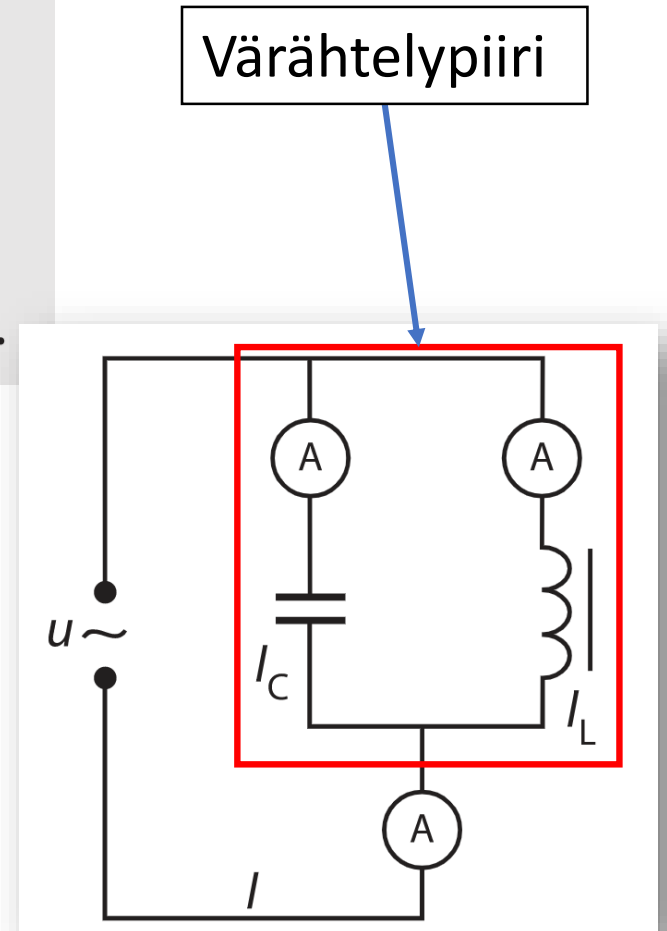
Värähtelypiirin resonanssitaajuus

Sähkömagneettisen LC-värähtelypiirin resonanssitaajuus on

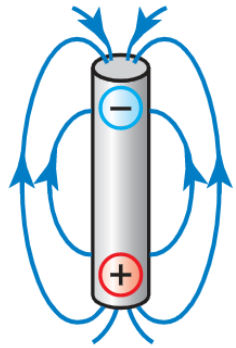
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

jossa L on käämin induktanssi ja C kondensaattorin kapasitanssi.

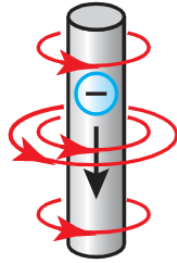
Tehtävät 16-3 ja 16-4



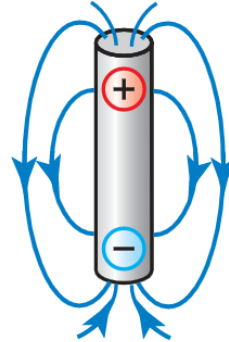
Antenni värähtelypiirinä



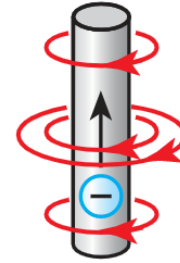
$t = 0$



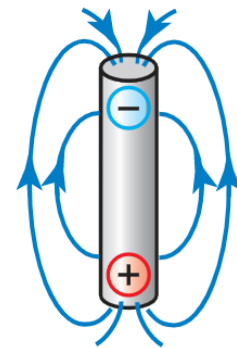
$t = T/4$



$t = T/2$



$t = 3 T/4$



$t = T$

Dipoliantennin lähettämän aallon aallonpituus

Värähtelypiirin antennin lähettämän sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus on

$$\lambda = 2l,$$

jossa l on antennilangan pituus.

Tehtävä 16-5