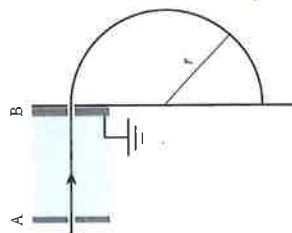


Soveltavat tehtävät

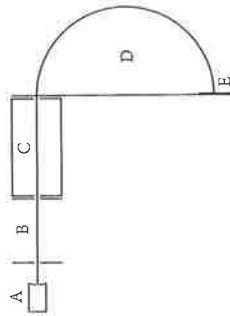
49. Alfahiukkasia (He^{2+}) kiihdytetään tyhjiössä van de Graaffin kiihdyttimellä. Jännitteellä 2,1 MV kiihdytetty α -hiukkassuihku osuu kohtisuoraan homogeeniseen magneettikenttään, jossa sen suunta muuttuu 90° siten, että hiukkasten rata-
 kääryn säde on 1,0 m. Kuinka suuri on magneettikentän magneettivuon tiheys?
 (Yo kevät 2004, teht. 7)

50. Jännitteellä 120 kV kiihdytettyjen $^{40}\text{Ar}^{3+}$ -ionien halutaan kulkevan suuntaansa muuttamatta nopeusvälittimen läpi. Kuinka suuri täytyy välittimen sähkökentän voimakkuuden olla, jos sähkökenttää vastaan kohtisuoran magneettikentän magneettivuon tiheys on 35 mT? Piirrä kuva.
 (Yo kevät 2010, teht. 12 d)

51. Kiihdyttimestä tulevan $^{12}\text{C}^{+}$ -ionisuihkun ionien energia on 65 keV. Ionit hidastetaan metallilevyn A ja B välisellä sähkökentällä (kuva) sellaiseen nopeuteen, että niiden puolilympyrän muotoisen radan säde magneettikentässä ($B = 0,147 \text{ T}$) on 48 cm. Kuinka suuri on levyn A potentiaali, kun levyn B potentiaali on 0 V? Piirrä kuva, josta ilmenee sähkökentän ja magneettikentän suunta.
 (Yo kevät 2006, teht. 8)



52. Massaspektrometrin toimintaperiaate on pääpiirteittäin ohaisen kaavion mukainen. Seltä kuvaan merkittyjen osien toiminta ionilähteestä A alkaen. Piirrä kaavio, josta ilmenevät tarvittavien sähkö- ja magneettikenttien suunnat.
 b) Tutkittaessa tinaa massaspektrometrilla todettiin $^{114}\text{Sn}^{+}$ - ja $^{115}\text{Sn}^{+}$ -ionien osuuskoktiön etäisyydeksi valokuvauksella 10,2 mm. Laske analysoivan magneettikentän magneettivuon tiheys, kun osassa C (kuvio) sähkökentän voimakkuus on 28,6 kV/m ja magneettivuon tiheys 0,110 T. (Yo kevät 1990, teht. 9)



53. Elektronisuihku ohjataan alueeseen, jossa on sekä sähkökenttä että magneettikenttä. Sähkökentän voimakkuuden suuruus on 2,5 kV/m ja magneettivuon tiheyden suuruus on 36 mT.
 a) Piirrä kuvio kenttien sijoittumisesta toisiinsa nähden, kun elektronisuihku etenee suoraan. Piirrä elektronisuihku kuvaan.
 b) Laske elektronien nopeus.
 c) Millainen elektronien rata olisi, jos elektronisuihku ohjattaisiin
 1° vain magneettikenttään tai
 2° vain sähkökenttään?

54. Ensimmäisessä rakentamassaan syklotronissa vuonna 1931 Ernest Orlando Lawrence käytti magneettia, jolla hän sai aikaan 0,35 T:n suuruisen magneettivuon tiheyden. Kiihdytyskammion säde oli 11,4 cm.
 a) Kuinka suuri oli tällä syklotronilla kiihdytettyjen protonien energia?
 b) Kuinka suuri oli syklotronin kiihdytysjännitteen taajuus? (Yo syksy 2007, teht. 11)

5 Magneettikenttä kohdistaa virtajohtimeen voiman

Suoran virtajohtimen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus

Kun mitataan magneettivuon tiheyden arvo eri etäisyyksillä virtajohtimesta, saadaan kuvaajan osoittama tulos. Magneettivuon tiheyden suuruus on kääntäen verrannollinen etäisyyteen virtajohtimesta. Kokeellinen tulos voidaan yleistää koskemaan mitä tahansa suoraa virtajohtinta. Suoran virtajohtimen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus saadaan kaavalla

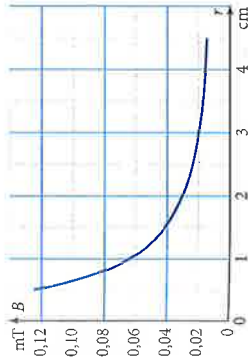
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

jossa I on johtimessa oleva sähkövirta, r etäisyys johtimesta ja μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti.

Permeabiliteetti μ kuvaa väliaineen vaikutusta magneettikenttään aivan kuten permittivisyys ϵ kuvaa väliaineen vaikutusta sähkökenttään. Tyhjiön permeabiliteetin arvo on $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$

Suoran virtajohtimen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus riippuu johtimessa kulkevan sähkövirran suuruudesta ja johtimen etäisyydestä.

- Kun sähkövirta kasvaa, magneettivuon tiheyden suuruus kasvaa eli magneettikenttä voimistuu.
- Kun etäisyys kasvaa, magneettivuon tiheyden suuruus pienenee eli magneettikenttä heikkenee.

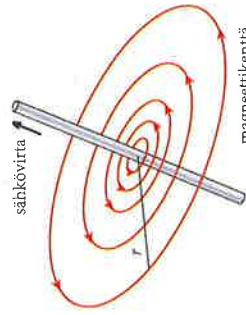


Magneettivuon tiheys suoran virtajohtimen ympärillä on kääntäen verrannollinen etäisyyteen virtajohtimesta.

Suoran virtajohtimen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus

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

jossa
 I on johtimessa oleva sähkövirta,
 r on etäisyys johtimesta ja
 μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti.



Suoran virtajohtimen magneettikenttä heikkenee, kun etäisyys johtimesta kasvaa. Magneettikentän heikkeneminen osoitetaan kuvassa kenttäviivojen harvenemisena.

Kahden yhdensuuntaisen johtimen välinen etäisyys on 0,052 m. Johtimissa on samanuurainen sähkövirta vastakkaisiin suuntiin. Johtimien toisinsa kohdistamien voimien suuruudeksi mitattiin $2,56 \cdot 10^{-4}$ N. Johtimien pituus on 1,05 m. Kuinka suuri sähkövirta johtimissa on?

Ratkaisu
 $r = 0,052$ m, $F = 2,56 \cdot 10^{-4}$ N, $l = 1,05$ m,
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$, $I = ?$

Yhdensuuntaisiin sähköjohtimiin kohdistuvien voimien suuruus saadaan yhtälöstä

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} l$$

Koska johtimien sähkövirrat ovat yhtä suuret $I_1 = I_2 = I$ on

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2}{r} l$$

Ratkaistaan sähkövirta I

$$I = \sqrt{\frac{2\pi r F}{\mu_0 l}}$$

ja sijoitetaan annetut lukuarvot ja tyhjiön permeabiliteetti μ_0 , joka on likimain yhtä suuri kuin ilman permeabiliteetti,

$$I = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 0,052 \text{ m} \cdot 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ N}}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \cdot 1,05 \text{ m}}} = 7,9618 \text{ A} \approx 8,0 \text{ A}$$

Vastaus

Johtimissa on 8,0 A:n sähkövirta.

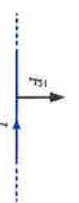
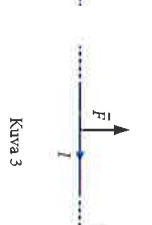
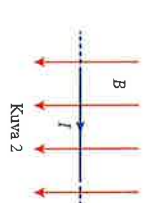
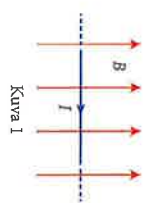
- Tiivistelmä**
- Virtajohtimen magneettivuon tiheyden suuruus on kääntäen verrannollinen etäisyyteen virtajohtimesta $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$.
 - Magneettikentässä olevaan virtajohtimeen kohdistuvan magneettisen voiman suuruus $F_m = IlB$.

- Suora virtajohtin vaikuttaa toisen yhdensuuntaisen virtajohtimen osaan voimalla, jonka suuruus on $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} l$.

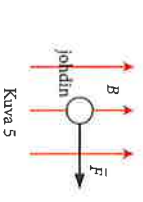
Perustehtävät

55. Kuivissa pitkä suora virtajohtin on homogeenisessa magneettikentässä. Mikä on virtajohtimeen kohdistuvan voiman suunta

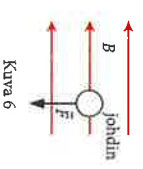
- a) kuvassa 1 ja b) kuvassa 2?
 c) 3 ja d) kuvassa 4?
 e) kuvassa 5 ja f) kuvassa 6?



Kuva 4



Kuva 5

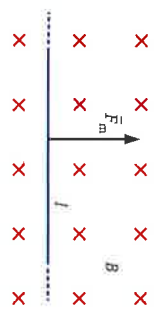


Kuva 6

56. Virtajohtimessa on 1,3 A:n sähkövirta. Laske, kuinka suuri magneettivuon tiheyden suuruus on 0,32 m:n päässä johtimesta. Esim. 1
57. Vaaka-suora virtajohtin, jonka pituus on 1,20 m, on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Sähkövirta johtimessa on 0,95 A, ja magneettivuon tiheys on 1,2 μT. Kuinka suuri voima johtimeen vaikuttaa? Esim. 2

58. Pitkä suora virtajohtin on paikallaan homogeenisessa magneettikentässä kuvan mukaisesti. Johtimessa sähkövirran voimakkuus on 35 A. Johtimen 55 cm:n pituiseen osaan vaikuttaa 19 mN:n suuruinen magneettinen voima kuvan mukaisesti.

a) Minkä suuntainen sähkövirta on johtimessa?
 b) Kuinka suuri magneettikentän magneettivuon tiheys on? Esim. 2



59. U-magneetin sisällä on homogeeninen magneettikenttä, jonka magneettivuon on 32 μWb. Homogeenisen magneettikentän leveys, korkeus ja syvyys ovat 4,0 cm. Sähkövirran avulla yritetään saada kevyt alumiinijohtin leijumaan magneettikentässä. Johtimen pituus on 4,0 cm ja massa 0,17 g.
- a) Piirrä kuva U-magneetista ja johtimesta sekä johtimeen vaikuttavista voimista.
 b) Kuinka suuri sähkövirta johtimessa pitää olla? Esim. 2
60. Kaksi yhdensuuntaista pitkä suora virtajohtinta on asetettu 5,0 cm:n etäisyydelle toisistaan. Molemmassa johtimissa on samanuurainen 25 A:n sähkövirta.
- a) Piirrä kuva, josta ilmenee kummankin johtimen muodostama magneettikenttä.
 b) Johtimien toisinsa kohdistamien voimien suunta.
 c) Kuinka suurella voimalla johtimien 1 metrin pituiset osat vaikuttavat toisinsa? Esim. 4

Soveltavat tehtävät

61. "Suorat virtajohdot vetävät toisiaan puoleensa, jos niissä olevat sähkövirrat ovat samansuuntaiset."
 Päättele tulos käyttämällä hyväksi suoran virtajohdun muodostaman magneettikentän ja magneettikentän johtimeen aiheuttaman voiman lakeja.



62. Vaakasora 12 cm pitkä alumiinitanko riippuu kevyiden johtimien varassa U-magneetin magneettikentässä. Johtimet asetuvat 3,5°-en kulmaan pystyasosta mitattuna, kun johtimen sähkövirta on 4,5 A. Alumiinitangon massa on 15 g. Kuinka suuri magneetin magneettivuon tiheys on?

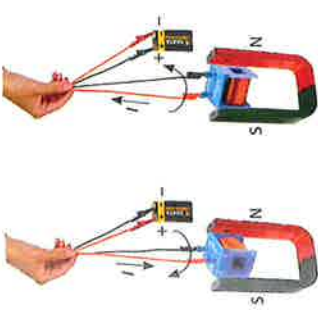
63. Magneettivuon tiheyttä mitattiin eri etäisyyksillä johtimesta ja saatiin seuraavat tulokset. Piirrä kuvaaja $\frac{1}{r}$, B -koordinaatistoon ja määritä sen avulla johtimen sähkövirta. $I = 3,0 \text{ A}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

r (cm)	B (mT)
0,5	0,110
0,7	0,102
1,0	0,063
1,3	0,053
1,8	0,035
2,0	0,031
2,5	0,022
3,0	0,019
3,5	0,017
4,5	0,015

64. Kaksi suoraa 1,2 metrin pituista virtajohdinta on 0,23 m:n etäisyydellä toisistaan. Johtimessa 1 on 1,2 A:n sähkövirta ja johtimessa 2 sähkövirta on 0,95 A. Kuinka suurella voimalla virtajohdinta 1 vaikuttaa virtajohdinteen 2? Entä virtajohdinta 2 virtajohdinteen 1?

65. Kahdessa yhdensuuntaisessa johtimessa, jotka ovat 32 cm:n päässä toisistaan, on 1,3 A:n ja 1,7 A:n sähkövirrat. Virtojen suunnat ovat vastakkaiset. Laske magneettivuon tiheyden suuruus λ .
- a) johtimien puolivälissä
 b) johtimien välissä 12 cm:n päässä johtimesta, jossa on 1,3 A:n sähkövirta.

66. Kahdessa pitkässä suorassa johtimessa on yhtä suuret sähkövirrat. Johtimet ovat lähekkäin, mutta eivät koske toisiaan. Johtimet ovat kohtisuorassa kuvan osoittamalla tavalla. Missä kohdissa magneettivuon tiheys on nolla?



67. Kuvan tilanteissa A, B, C ja D kahdessa johtimessa on 1 A:n sähkövirta joko paperista ulospäin (•) tai paperin sisälle (x). Mihin suuntaan osoittaa magneettivuon tiheys pisteessä P?

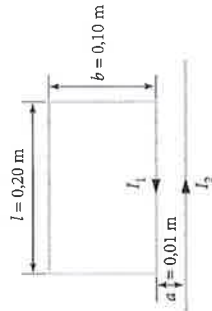
A) • • • • • •

B) • • • • • •

C) • x x x x x

D) • x x x x x

68. Suorakulmainen johdinsilmukka ja virtajohdin ovat samassa tasossa. Johdinsilmukassa on 1,0 A:n sähkövirta ja johtimessa 0,70 A:n sähkövirta. Laske silmukkaan vaikuttavan voiman suuruus.



Sähkömoottorin käämi on magneettikentässä

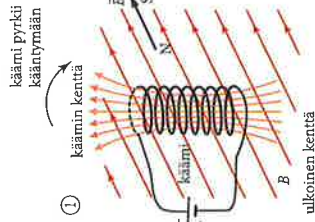
Johdinsilmukkaan vaikuttaa magneettikentässä momentti

Monissa koneissa on sähkömoottori. Esimerkiksi vatkaimissa, pyöräkeskoneissa ja monissa muissa kodinkoneissa on sähkömoottori.

Viereinen kuva esittää sähkömoottoreiden yksinkertaistettua rakennetta: käämi, jossa on tasavirta, kääntyy magneettikentässä. Kun käämissä on tasavirta, käämistä tulee sähkömagneetti. Kestomagneettin ja käämin magneettisesta vuorovaikutuksesta seuraa, että silmukka pyrkii kääntymään siten, että sen magneettikentän kenttäviivat ovat samansuuntaiset kuin kestomagneetin magneettikentän kenttäviivat. Tämä ilmiö vastaa sitä, kun kompassineula kääntyy magneettikentässä kentän suuntaisesti. Käämin kääntyminen voidaan selittää tarkastelemalla käämin johdinsilmukoihin kohdistuvien voimien momenttia.

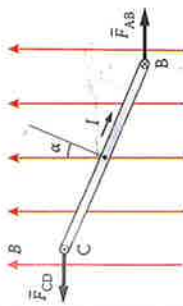
Magneettiset voimat aiheuttavat virtasilmukkaan vaikuttavan momentin $M = ABI \sin \alpha$, jossa A on virtasilmukan poikkipinta-ala, B on ulkoisen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus, I on virtasilmukan sähkövirta ja α on virtasilmukan normaalin ja ulkoisen magneettikentän välinen kulma.

Käämi koostuu yksittäisistä johdinsilmukoista, joita on N kappaletta. Käämiin vaikuttava momentti on N -kertainen.



Kestomagneetin ja käämin magneettisesta vuorovaikutuksesta seuraa, että silmukka pyrkii kääntymään siten, että sen magneettikentän kenttäviivat ovat samansuuntaiset kuin kestomagneetin magneettikentän kenttäviivat.

Magneettikentässä olevaan käämiin vaikuttava momentti

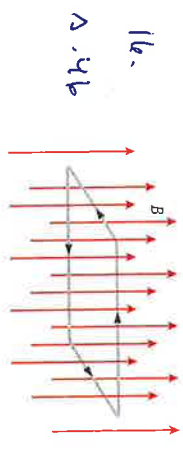


$M = NABI \sin \alpha$,

jossa
 N on käämin kierrosten lukumäärä,
 A on käämin poikkipinta-ala,
 B on ulkoisen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus,
 I on käämin sähkövirta ja
 α on virtasilmukan normaalin ja ulkoisen magneettikentän välinen kulma.

Soveltavat tehtävät

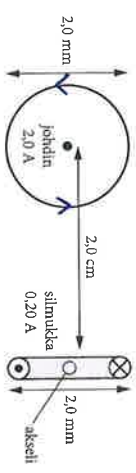
74. Suorakulmion muotoinen johdinsilmukka on kuvan mukaisesti kohitusorassa magneettikenttää vastaan. Silmukan sähkövirta on nuolen osoittamaan suuntaan.



Mikä seuraavista väitteistä on totta?

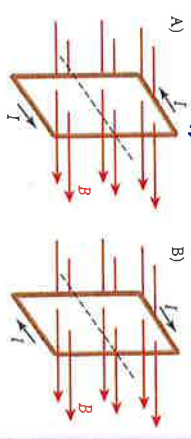
1. Magneettikenttä aiheuttaa silmukkaan kohdittuvan kokonaisvoiman, joka ei ole nolla.
2. Magneettikenttä aiheuttaa kokonaismomentin, joka ei ole nolla.
3. Magneettikenttä aiheuttaa kokonaisvoiman ja momentin, jotka eivät ole nolla.
4. Magneettikenttä aiheuttaa kokonaisvoiman ja momentin, jotka ovat nolla.

75. a) Kuinka suuri momentti kohdistuu pienen neulion muotoiseen silmukkaan kuvan tilanteessa? Silmukan akseli on näkyvän särmän keskellä. Johtimessa on 2,0 A:n sähkövirta ja silmukassa on 0,20 A:n sähkövirta.
 b) Missä tilanteessa silmukkaan kohdistuva momentti on nolla?



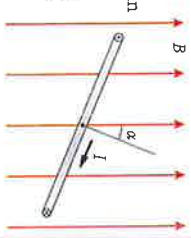
76. Kuvassa on kaksi virtasilmukkaa, joihin on piirretty akselit. Silmukat ovat kaukana toisistaan, eivätkä ne ole vuorovaikutuksessa keskenään. Perustele miksi **A**

- a) silmukka **1** pysyy paikallaan
- b) silmukan **2** lähtee mahdollisesti pyörimään.



77. Tasavirtamoottorin käänmissä, jonka poikkipinta-ala on 20,0 cm², on 500 kierrosta. Käänmissä on 1,00 A:n sähkövirta. Käämi on kuvan mukaisesti magneettikentässä, jonka magneettivuon tiheys on 10,0 mT.

- a) Piirrä laskeimmalla käännin vaikuttavan momentin kuvaaja kulman funktiona. (Sovella lauseketta $M = NABl \sin(\alpha)$)



78. Suorakulmion muotoisen käännin sivut ovat 4,5 cm ja 7,5 cm. Käänmissä on 58 kierrosta. Käänmissä on 3,6 A:n sähkövirta. Käämi on magneettikentässä, jonka magneettivuon tiheyden suuruus on 35 mT. Kuinka suuri käännin kohdistuva momentti on, kun

- a) käänin silmukoiden taso on yhdensuuntainen magneettikentän kanssa
- b) käänin silmukoiden taso on kohitusorassa magneettikenttää vastaan
- c) käänin silmukoiden tason ja kenttävirvojen välisen kulma on 57°?

7 Induktioilmiossa muuttuva magneettikenttä synnyttää jännitteen

Michael Faraday oivalsi induktioilmiön

Kun 1820-luvun alussa oli havaittu, että sähkövirta synnyttää magneettikentän, ryhdyttiin selvittämään, voiko magneettikentän avulla saada aikaan sähkövirtaa. Kymmenen vuoden aikana monet fyysikot tekivät erilaisia kokeita ja pohivat magnetismin ja sähkövirran välisiä yhteyksiä. He eivät kuitenkaan onnistuneet ratkaisemaan ongelmaa. Osaltaan syynä oli se, ettei heillä ollut käytössä kunnollista sähkö- ja magneetti-ilmiöitä selittävää teoriaa, joka olisi ohjannut kokeiden suunnittelua.

Michael Faraday onnistui vuonna 1831 synnyttämään sähkövirran suljetun virtapiirin magneetin avulla. Hän havaitsi, että virta piiriin syntyi sähkövirta, kun piirissä oleva käämi oli magneettikentässä, joka muuttui. Faradayn havaitsemana ilmiö johtuu sähkömagneettisesta induktiosta.

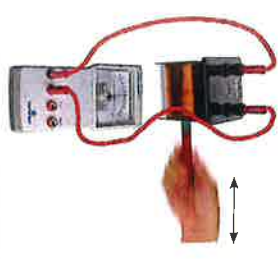
Muuttuva magneettikenttä indusoi jännitteen

Induktiolimiö tapahtuu, kun magneettikenttä muuttuu. Magneettikentän muutoksesta seuraa silmukan lävistävän magneettivuon Φ muutos. Magneettivuon määriteltiin lausekkeella $\Phi = BA$, jossa B on magneettivuon tiheyden suuruus ja A magneettikenttää vastaan kohitusorassa oleva pinta-ala. Magneettivuon muutos voi siis aiheutua joko silmukan pinta-alan A tai magneettivuon tiheyden B muutoksesta tai magneettikentän kääntymisestä silmukan suhteen.

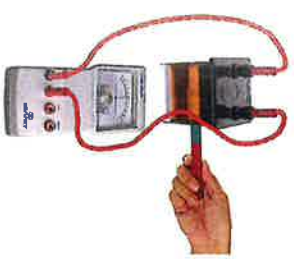
Jos silmukan pinta-ala A ei muutu, magneettikentän muutos tarkoittaa magneettivuon tiheyden B muutosta. Magneettivuon tiheyttä voidaan muuttaa silmukassa esimerkiksi viemällä saavamagneetti silmukan sisään ja vetämällä tulos. Jos lähdejännite indusoituu suljetun virtapiiriin tai sen osana olevaan johtimeen, jännite saa virtapiirissä aikaan sähkövirran.

Induktiossa magneettivuon muutos synnyttää sähkökentän. Sähkökenttä saa sinä olevat varaukset hirtkaset liikkeelle. Jos sähkökenttä syntyy suljetun virtapiiriin tai sen osaan, virtapiiriin syntyy sähkövirta.

Induktio seurauksena voidaan havaita joko indusoitunut sähkökenttä, lähdejännite tai sähkövirta. Siksi voidaan sanoa, että muuttuva magneettikenttä indusoi sähkökentän tai lähdejännitteen tai sähkövirran.



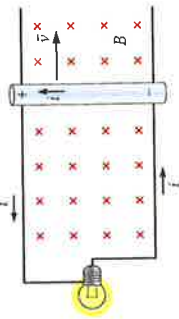
Kestomagneetti tehdään käännin sisällä. Käännin indusoituu lähdejännite, kun kestomagneettia liikutetaan käänin sisällä.



Kestomagneetti ei liiku käänin sisällä.

Sähkömagneettinen induktio
 Kun magneettikenttä muuttuu johdinsilmukan sisällä, johdinsilmukkaan indusoituu lähdejännite.

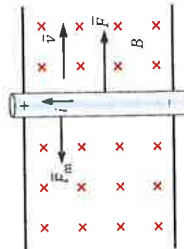
Magneettikentässä liikkuvan sauvan ja johdinsilmukan muodostamaan virtapiiriin on kytketty taskulampun polttimo kukaan osoittamalla tavalla.



Polttimossa on lukema 3,0 V/1,5 W. Silmukan johtimien resistanssi on merkittävän polttimon resistanssiin verrattuna. Johdinkiskojen väli on 1,2 m ja magneettikentän voimakkuus on 2,1 T.

- Kuinka suurella nopeudella sauvan tulisi liikkua, jotta lampun teho olisi 1,5 W?
- Kuinka suurella voimalla tulisi sauvaa silloin työntää?

Voimakuvio



Ratkaisu

$U = 3,0 \text{ V}, P = 1,5 \text{ W}, l = 1,2 \text{ m}, B = 2,1 \text{ T}, v = ?, F = ?$

- Magneettikentässä liikkuvan sauvan indusoituu lähdejännite. Polttimon merkintä 3,0 V/1,5 W tarkoittaa, että lampun teho on 1,5 W, kun jännitehäviö on 3,0 V. Koska teho on $P = ui$, kirkkaasti loistavassa polttimossa on sähkövirta

$$i = \frac{P}{u} = \frac{1,5 \text{ W}}{3,0 \text{ V}} = 0,5 \text{ A}.$$

Kirkkaan polttimon resistanssi on *Ohmin lain mukaisesti*

$$R = \frac{u}{i} = \frac{3,0 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 6,0 \Omega.$$

Koska johtimissa olevan sähkövirran aiheuttaa sauvaan indusoitunut lähdejännite $e = lvB$, sähkövirran suuruus on

$$i = \frac{e}{R} = \frac{lvB}{R},$$

josta sauvan nopeudeksi saadaan

$$v = \frac{iR}{lB} = \frac{0,5 \text{ A} \cdot 6,0 \Omega}{1,2 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ T}} = 1,1905 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

- Oletetaan, että sauvan ja johtimien välinen kitka on merkityksellön. Jotta sauva liikkuisi nopeudella v , sitä täytyy työntää yhtä suurella voimalla F kuin magneettisen vastustavan voiman suuruus on $F = F_m = ilB$. Koska johtimessa olevan sähkövirran suuruus on

$$i = \frac{lvB}{R},$$

sauvaa on työnnettävä voimalla, jonka suuruus on

$$F = \frac{v^2 B^2}{R}.$$

Sijoitetaan lukuarvot

$$F = \frac{1,1905 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (1,2 \text{ m})^2 \cdot (2,1 \text{ T})^2}{6,0 \Omega} = 1,2600 \text{ N} \approx 1,3 \text{ N}.$$

tai suoraan $F = ilB = F$

Vastaus

- Sauvan vauhdin tulisi olla 1,2 m/s.
- Sauvaa pitäisi vetää 1,3 N:n voimalla.

Tivistelmä

- Sähkömagneettisessa induktiossa magneettivuon muutos indusoi johdinsilmukkaan lähdejännitteen.
- Indusoituneen sähkövirran suunta Lenzin lain mukaan on sellainen, että sähkövirran vaikutukset vastustavat muutosta, joka aiheuttaa induktion.

Perustehtävät

- Millainen ilmiö sähkömagneettinen induktio on?
- Kerro esimerkki tilanteesta, jossa sähkömagneettinen induktio havaitaan.

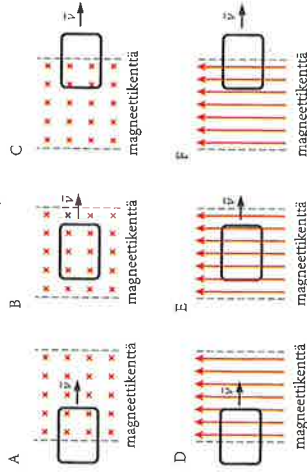
80. Mikä on induktiollmion suunta Lenzin lain mukaan? Esim. 1

- Kultainen rannerengas on ripustettu kuvan osoittamalla tavalla. Selitä, miksi rannerengas heilahtaa, kun sen sisään työnnetään voimakas kestopagneetti.
- Kestomagneetti vedetään pois rannerengastaan. Kestomagneetti vedetään pois rannerengastaan. Miten nopeammin kuin se vietiin sen sisään. Miten rengas nyt heilahtaa? Perustele vastauksesi. Esim. 1



- Mikä on sähkövirran suunta vastuksessa, kun
- magneetti 1 on paikoillaan
 - magneetti 1 liikkuu pois päin käämistä
 - magneetti 2 liikkuu kohti käämiä
 - magneetti 2 liikkuu pois päin käämistä?

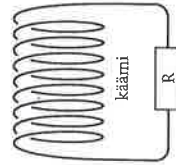
83. Ohessa on esitetty kuusi tilannetta, joissa käämi liikkuu vakionopeudella magneettikentässä. Käämit ovat samanlaisia ja magneettivuon tiheys on yhtä suuri kaikissa tilanteissa. Missä tilanteessa käämiin indusoituu lähdejännite?



- Metallitanko liikkuu nopeudella 20,5 m/s kattomasti U-muotoisen johdinsilmukan päällä. Johdinsilmukan kiskot ovat 5,0 cm:n päässä toisistaan. Silmukka on vaakatasossa ja magneettikentän suunta on alas päin. Magneettivuon tiheys on 0,85 T.

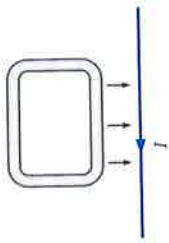
- Kuinka suuri jännite indusoituu tankoon?
- Minkä merkisesti tangon päät varautuvat? Esim. 2

- Kuvassa on kaksi samanlaista magneettia ja käämi, joka muodostaa vastuksen kanssa suljetun virtapiirin. Kun magneetti 1 liikkuu kohti käämiä, indusoituneen sähkövirran suunta vastuksessa on vasemmalle.

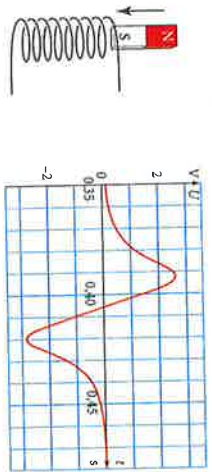


magneetti 1 S N
magneetti 2 N S

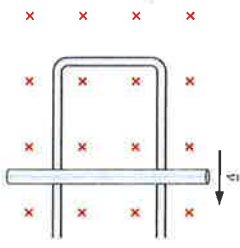
85. Suorassa pitkässä johtimessa on muuttumaton sähkövirta I . Suorakulmion muotoinen, johtavasta materiaalista valmistettu silmukka on samassa tasossa johtimen kanssa. Suorakulmion kaksi sivua ovat samansuurtaista johtimen kanssa ja kaksi ovat kohtisuorassa johtinta vasten. Silmukkaa työnnetään kohti johtinta. Perustelee, onko silmukkaan indusoitunut sähkövirta myötäpäivään vai vastapäivään.



86. Sauvamagneetti pudotetaan käänniin läpi. Käänin pään välisiä jännitettä mitattiin käänniin kytketyllä jänniteanturilla. Miksi kuvaajassa on kaksi huippua?



90. Metalliranko liikkuu nopeudella 13,5 m/s kitkattomasti U-muotoisen johdinsilmukan päällä. Silmukan leveys on 15,6 cm. Silmukka on vaakatasossa ja magneettikentän suunta on alaspäin. Magneettivuon tiheyden suuruus on 0,85 T. Tangon resistanssi on 3,2 Ω .

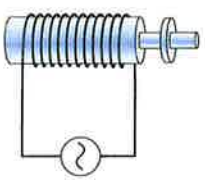


- a) Kuinka suuri sähkövirta indusoituu silmukkaan?
 b) Mikä on sähkövirran suunta?
 c) Kuinka suurella teholla silmukasta siirtyy lämpöä ympäristöön?

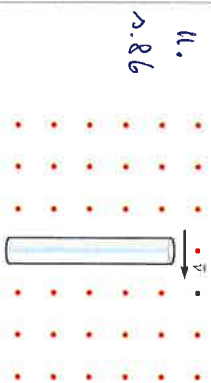
91. Kun sähköä johtava tanko liikkuu magneettikentässä nopeudella 5,3 m/s, siihen indusoituu 0,045 V:n jännite. Magneettikenttä on kohtisuorassa tangon akselia ja tangon liikesuunta vastaan. Mikä on magneettikentän suunta ja magneettivuon tiheyden arvo? Johtimen pituus on 10,0 cm.



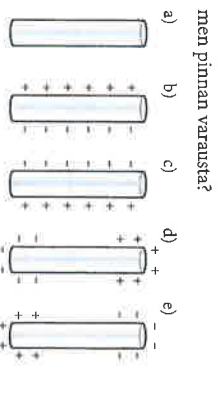
93. Käänni rautasydämineen on pysyksenrossa. Rautasydämen ympärillä on alumiinirengas. Kun käännin johdetaan nopeasti vaihtuva sähkövirta, rengas nousee ylöspäin. Selitä ilmiö.



94. Metallirankoa liikutetaan pitkän U-muotoista kiskoja kohtisuorassa magneettikentässä vastaan. Kiskot ovat 10,0 cm:n päässä toisistaan. Systemin kokonaisresistanssi on 0,22 Ω . Kun tankoa liikutettiin 1,1 N:n voimalla, tehonkulutus oli 4,2 W.
 a) Kuinka suuri johdimen nopeus oli?
 b) Kuinka suuri magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus oli?



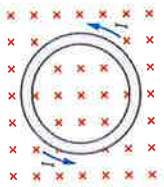
95. Varaamaton metalliranko liikkuu vakionopeudella homogeenisessä magneettikentässä.



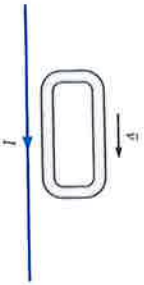
Mikä seuraavista kuvista parhaiten esittää johdimen pinnan varausta?

Soveltavat tehtävät

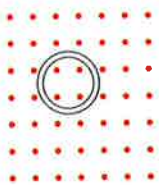
87. Magneettikentässä olevassa johdinsilmukassa on sähkövirta kuvan osoittamaan suuntaan. Sähkövirta synnyttää induktion seurauksena. Onko magneettikentän magneettivuon tiheys kasvamassa, pienentymässä vai vakio?



88. Suljettu johdinsilmukka liikkuu tasaisella nopeudella pitkän, suoran johtimen vieressä. Johtimessa on sähkövirta I . Indusoitumko silmukkaan sähkövirtä? Jos indusoituu, niin mikä on sähkövirran suunta?



89. Johdinsilmukka on magneettikentässä kuvan mukaisesti. Päättele Lenzin lakia käyttäen, mihin suuntaan silmukassa on sähkövirtä, kun magneettivuon tiheys



b) pienenee



c) kasvaa



(Kuvassa silmukkaa katsotaan sivusta.)

92. Maan magneettivuon tiheyden arvo on $5,0 \cdot 10^{-5}$ T. Millä vauhdilla pitäisi ajaa henkilöautolla, jotta 1,0 m pitkään antenniin synnytyisi 1,0 V:n jännite? Oletetaan, että antenni liikkuu kohtisuorassa magneettikenttää vastaan.

Ratkaisu

$A_{\text{alku}} = 0,030 \text{ m}^2$, $A_{\text{loppu}} = 0,015 \text{ m}^2$, $B = 0,15 \text{ T}$, $\Delta t = 0,50 \text{ s}$,
 $\epsilon_k = ?$

Magneettivuon $\Phi = AB$. Koska magneettikenttä on homogeeninen, magneettivuon tiheys B ei muutu. Magneettivuon muutos seuraa renkaan pinta-alan muutoksesta ΔA , joka nyt on negatiivinen, koska pinta-ala pienenee.

Siten $\Delta \Phi = \Delta A \cdot B$.

Induktiolain mukaan

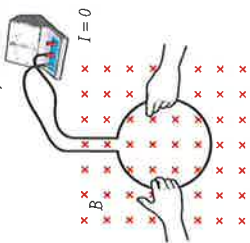
$$\begin{aligned} \epsilon_k &= - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta AB}{\Delta t} = - \frac{(A_{\text{loppu}} - A_{\text{alku}}) B}{\Delta t} \\ &= - \frac{(0,015 \text{ m}^2 - 0,030 \text{ m}^2) \cdot 0,15 \text{ T}}{0,50 \text{ s}} \\ &= - \frac{-0,015 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \text{ T}}{0,50 \text{ s}} \\ &= 0,0045 \text{ V}. \end{aligned}$$

Vastaus

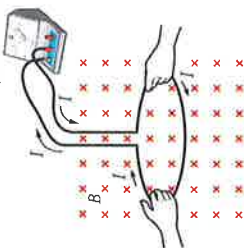
Lähdējännite on 4,5 mV.

Metallirengas, jonka pinta-ala on $0,030 \text{ m}^2$, on homogeenisessa magneettikentässä. Rengas on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Magneettivuon tiheys on $0,15 \text{ T}$. Rengasta venytetään siten, että sen pinta-ala puolittuu $0,50$ sekunnissa. Laske renkaaseen indusoituneen keskimääräisen lähdejännitteen arvo.

jännitemittari



jännitemittari



Tiivistelmä

- Kun johdinsilmukan läpäisevä magneettivuon muuttuu, Faradayn induktiolain mukaan silmukkaan indusoituu keskimääräinen lähdejännite on $\epsilon_k = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$.
- Miinusmerkki ilmaisee Lenzin lain: induktiojännitteen aiheuttama sähkövirta synnyttää magneettikentän, joka vastustaa magneettivuon muutosta.

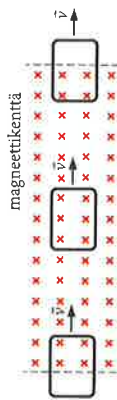
Perustelut

96. Pitkässä johtimessa on sähkövirta. Suorakulmion muotoiset johdinsilmukat liikkuvat kuvan osoittamalla tavalla johtimen määräämässä tasossa. Missä tilanteissa silmukkaan indusoituu sähkövirta?



97. Johdinsilmukan läpi kulkeva magneettivuon muuttuu $1,2$ m:ssä arvosta $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Tm}^2$ arvoon $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Tm}^2$. Kuinka suuri lähdejännite indusoituu silmukkaan? Esim. 1

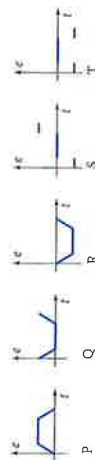
98. Johdinsilmukka liikkuu vakionopeudella homogeenisessa magneettikentässä kuvan mukaisesti.



a) Mikä kuvaajista esittää parhaiten magneettikentän vuon muuttumisen silmukassa alkuhetkestä loppuhetkeen?



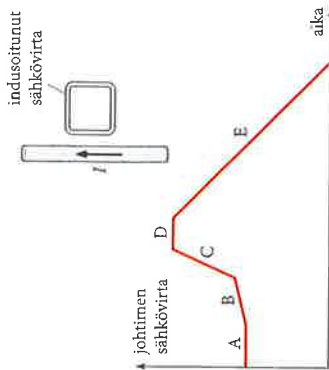
b) Mikä kuvaajista esittää parhaiten silmukkaan indusoituneen lähdejännitteen alkuhetkestä loppuhetkeen?



99. Ympyrän muotoisen johdinsilmukan, jonka säde on $10,5 \text{ cm}$, normaali on magneettikentän suuntainen. Magneettikentän magneettivuon tiheys muuttuu $3,8 \text{ m:ssä}$ tasaisesti arvosta 23 mT arvoon 12 mT .
 a) Kuinka suuri lähdejännite indusoituu johdinsilmukkaan?
 b) Kuinka suuri sähkövirta silmukassa on, jos silmukka on puhdasta kuparia? Johtimen säde on $0,5 \text{ mm}$. Esim. 1

100. Homogeenisessa magneettikentässä, jonka magneettivuon tiheys on 310 mT , on ympyrän muotoinen silmukka. Ympyrän säde on 17 cm . Johdinsilmukka on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan.
 a) Kuinka suuri on silmukan läpäisevä magneettivuon?
 b) Kuinka paljon magneettivuon muuttuu, jos silmukan säde kutistuu 12 cm:iin ?
 c) Kuinka suuri lähdejännite indusoituu silmukkaan, jos silmukka kutistuu 12 cm:iin $5,2$ sekunnissa? Esim. 3

101. Pitkän, suoran johtimen vieressä on suorakulmion muotoinen johdinsilmukka. Johtimen sähkövirta vaihtelee kuvajan mukaisesti. Tarkastele eri aikaväleillä A, B, C, D, E johdinsilmukkaan indusoitunutta sähkövirtaa. Järjestä aikavälit indusoituneen sähkövirran perusteella suurimmasta pienimpään.



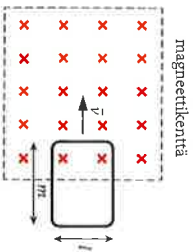
Soveltavat tehtävät

102. Laske johdinsilmukan läpäisevä magneettivuon

- kun
 a) suorakulmion muotoisen silmukan sivujen pituudet ovat 2,5 cm ja 4,2 cm
 b) silmukka on ympyrän muotoinen ja silmukan säde on 1,4 cm.

Silmukat ovat kohtisuorassa homogeenisen magneettikentän kenttäviivoja vastaan. Magneettivuon tiheyden suuruus on 560 mT.

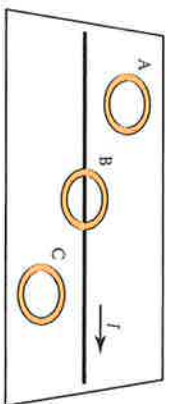
103. Käämi tulee homogeeniseen magneettikenttään vakionopeudella. Käämin sivujen pituudet ovat m ja l . Käämissä on N kierrosta.



Vastaa kysymyksiin käyttämällä seuraavia lauseita:
 Se on nelinkertainen.
 Se on kaksinkertainen.
 Se pysyy samansuuruisena.
 Se on puolet alkuperäisestä.
 Se on neljäsosa alkuperäisestä.

Mitä tapahtuu indusoituvalle lähdejännitteelle, jos

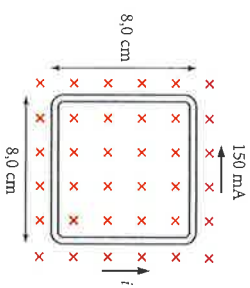
- magneettivuon tiheys muutetaan kaksinkertaiseksi?
 - käämin leveys l muutetaan kaksinkertaiseksi?
 - käämin pituus m muutetaan kaksinkertaiseksi?
 - käämin nopeus muutetaan kaksinkertaiseksi?
 - käämin johdinkierrosten lukumääriä muutetaan kaksinkertaiseksi?
- 104.** Johdin, jossa on sähkövirta, on asetettu lasilevyn alle. Lasilevyn päällä on kolme kullasormusta.
 a) Minkä suuntaisen sähkövirta indusoituu sormuksiin kohdissa A, B ja C?



b) Piirrä kuva, jolla perustelut päätelmäsi.

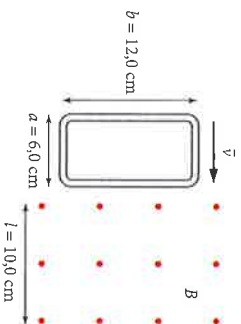
105. Kuvan johdinsilmukka, jonka resistanssi on $0,10 \Omega$, on muuttuvassa magneettikentässä.

- Kasvaako vai pienenykö magneettivuon tiheys?
- Mitä nopeudella muutos tapahtuu?

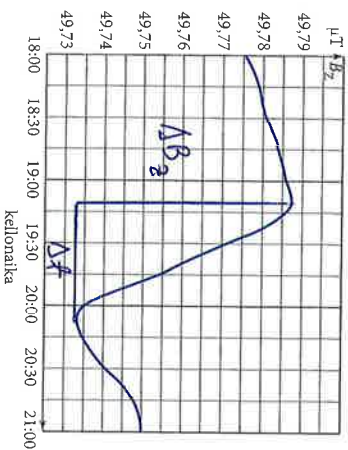


106. Johdinsilmukkaa vedetään vakionopeudella $6,5 \text{ cm/s}$ kohtisuoraan magneettikenttää vastaan. Magneettivuon tiheyden suuruus on 12 mT ja silmukan resistanssi $5,0 \Omega$. Olkoon silmukka alussa juuri magneettikentän ulkopuolella.

- Esitä graafisesti ajan funktiona
- silmukan läpäisevä magneettivuon
- indusoitunut lähdejännite
- vetämiseen tarvittava voiman suuruus.



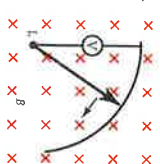
107. Oheinen yksinkertaisesti kuvaaja esittää Aurington aktiivisuudesta johtuvaa maapallon magneettikentän magneettivuon tiheyden pysyvyyskomponentin vaihtelua. Kuinka suuren sähkövirran tämä voi suurimmillaan aiheuttaa kuvan esittämään Suomen kantaverkon silmukkaan? Oletetaan silmukka ympäristöstään eristetyksi ja sen johtimien keskimääräiseksi resistanssiksi pituus/suikkoa kohti $8,6 \mu\Omega/\text{m}$. (Yo syksy 2008, teht. 8)



18:00 18:30 19:00 19:30 20:00 20:30 21:00
kellonaika



108. Johdinsilmukka koostuu kahdesta suorasta johtimesta ja ympyräkaaren muotoisesta johtimesta. Se on kuvan mukaisesti kohtisuorassa magneettikenttää vastaan.



Oikeapuoleinen suora johdin kiertyy myötäpäivään kulmanopeudella $12,6 \text{ rad/s}$ pisteen I ympäri. Suorien johtimien pituus on 36 cm , ja magneettivuon tiheys on 76 mT . Laske jännitemittarin näyttämä jännite. (Yo kevät 2013, teht. 8 a)

109. Tiepalveluauto ajaa nopeudella 95 km/h Tampereella suoraan länteen. Kuinka suuri jännite syntyy auton $1,5 \text{ m}$ pitkän pystysuoran antennin päiden välille, kun Maan magneettikentän magneettivuon tiheys on $54 \mu\text{T}$ ja inkliinaatio 72° ? Deklinaatio voidaan olettaa nolllaksi. Kumpi antennin pää on korkeammassa potentiaalissa? (Yo kevät 2007, teht. 8)

o luvun p tehtiin

110. Sauvamagneetti pudotetaan käämin läpi, jolloin käämin kytketyllä jännitemittarilla saadaan tietokoneen ruudulle oheinen kuvaaja.

- Selitä ilmiö ja kuvaajan muoto.
- Miten kuvaaja muuttuu, jos magneetti pudotetaan toinen pää edellä?
- Miten kuvaaja muuttuu, jos magneetti pudotetaan korkeammalta? (Yo syksy 2009, teht. 8)

