

4 Magneettikenttä kohdistaa virtajohtimeen voiman

4-11.

$$I = 0,75 \text{ A}, l = 0,095 \text{ m}, B = 1,8 \text{ mT}$$

Kuva tilanteesta:



Koska magneettikenttä ja johdin ovat kohtisuorassa, magneettisen voiman suuruus on

$$F_m = IlB = 0,75 \text{ A} \cdot 0,095 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ mT} \approx 0,13 \text{ mN}.$$

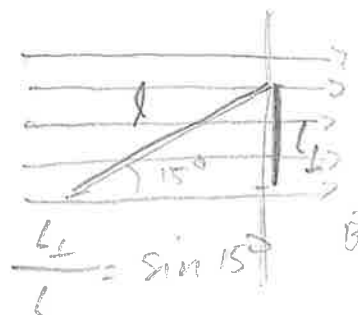
Voiman suunta on kuvan piirroksessa ylös.

4-12.

$$I = 12,5 \text{ A}, l = 0,025 \text{ m}, F = 0,12 \text{ N}, \alpha = 15^\circ$$

Yhtälöstä $F_m = IlB \sin \alpha$ saadaan magneettivuon tiheyden suuruudeksi

$$B = \frac{F_m}{Il \sin \alpha} = \frac{0,12 \text{ N}}{12,5 \text{ A} \cdot 0,025 \text{ m} \cdot \sin 15^\circ} \approx 1,5 \text{ T}.$$



4-13.

$$I_1 = I_2 = 2,5 \text{ A}, l = 1,4 \text{ m}, r = 0,19 \text{ m}$$

I_1 ja I_2 ovat johtimissa kulkevat sähkövirrat, r on johdinten välinen etäisyys, l virtajohtimien pituus ja μ_0 tyhjiön permeabiliteetti.

Koska virtajohtimissa sähkövirrat kulkevat samaan suuntaan, johtimet vetävät toisiaan puoleensa.

Virtajohtimiin kohdistuvat voimat ovat Newtonin III lain mukaan yhtä suuret ja vastakkaisuuntaiset. Voimien suuruudet ovat

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{r} l = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}}{2\pi} \cdot \frac{2,5 \text{ A} \cdot 2,5 \text{ A}}{0,19 \text{ m}} \cdot 1,4 \text{ m} \approx 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ N}.$$

Voimat ovat vetovoimia.

4-14.

$$I_1 = 25 \text{ A}, I_2 = 35 \text{ A}, r = 16 \text{ cm}/2 = 8,0 \text{ cm}$$

Sähkövirta I_1 :

Magneettivuon tiheyden suuruus on

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)} \cdot 25 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,080 \text{ m}} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

Sähkövirta I_2 :

Magneettivuon tiheyden suuruus on

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)} \cdot 35 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,080 \text{ m}} = 8,75 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

Koska johtimissa kulkevat sähkövirrat ovat vastakkaisuuntaiset, johtimien väliin syntyvät magneettikentät ovat oikean käden säännön perusteella samansuuntaiset, ja kentät vahvistavat toisiaan. Näin ollen magneettivuon tiheyden suuruus on

$$B = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ T} + 8,75 \cdot 10^{-5} \text{ T} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ T} = 0,15 \text{ mT}.$$

4 Magneettikenttä kohdistaa virtajohtimeen voiman

4-10.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$$

Supran virtajohtimen magneettikentän magneettivuon tiheyden suuruus on

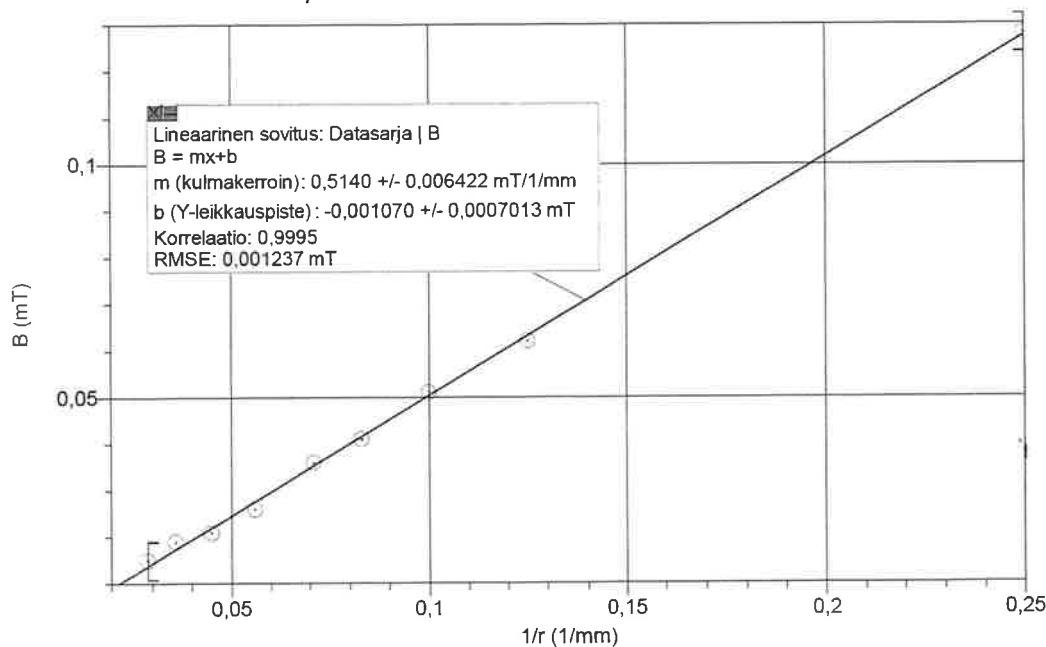
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} = \frac{\mu_0}{2\pi} I \cdot \frac{1}{r}$$

Kun mittaustulokset esitetään $\frac{1}{r}$, B -koordinaatistossa, suoran fysikaalinen kulmakerroin on $\frac{\mu_0}{2\pi} I$.

Täydennetään taulukkoon etäisyyden r käänteisarvot $1/r$:

r (mm)	$1/r$ (1/mm)	B (mT)
4	0,250	0,128
8	0,125	0,062
10	0,100	0,051
12	0,083	0,041
14	0,071	0,036
18	0,056	0,026
22	0,045	0,021
28	0,036	0,019
35	0,029	0,015

Esitetään mittaustulokset $\frac{1}{r}$, B -koordinaatistossa:



Mittausohjelman mukaan suoran fysikaalinen kulmakerroin on

$$k = 0,5140 \frac{\text{mT}}{\frac{1}{\text{mm}}} = 0,5140 \cdot \frac{10^{-3} \text{ T}}{\frac{1}{10^{-3} \text{ m}}} = 0,5140 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}.$$

Yhtälöstä $\frac{\mu_0}{2\pi} I = 0,5140 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}$ saadaan sähkövirran suuruudeksi

$$I = \frac{2\pi \cdot 0,5140 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}}{\mu_0} = \frac{2\pi \cdot 0,5140 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}} \approx 2,6 \text{ A}.$$

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

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} I \cdot \frac{1}{r}$$

$$y = k \cdot x$$

4 Magneettikenttä kohdistaa virtajohtimeen voiman

4-9.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}, I = 10 \text{ kA}$$

Oletetaan iskukanava suoraksi virtajohtimeksi, jolloin magneettivuon tiheyden suuruus etäisyydellä r

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

Magneettivuon tiheyden suuruus eri etäisyyksillä:

$$r = 10 \text{ m on } B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)} \cdot 10 \text{ kA}}{2\pi \cdot 10 \text{ m}} = 200 \text{ } \mu\text{T},$$

$$r = 100 \text{ m on } B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)} \cdot 10 \text{ kA}}{2\pi \cdot 100 \text{ m}} = 20 \text{ } \mu\text{T} \text{ ja}$$

$$r = 1 \text{ km on } B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)} \cdot 10 \text{ kA}}{2\pi \cdot 1000 \text{ m}} = 2 \text{ } \mu\text{T}.$$

Maan magneettivuon tiheyden suuruus vaihtelee paikan mukaan ja on noin $20 \text{ } \mu\text{T} - 60 \text{ } \mu\text{T}$. Kun salamaniskukanavan etäisyys on yli 100 m, salamaniskun aiheuttaman magneettivuon tiheyden suuruus on laskelmien perusteella pienempi kuin Maan magneettivuon tiheyden suuruus.

Huomaa, että samanlaiset toistuvat laskelmat voi tehdä helposti taulukkolaskentaohjelmalla.

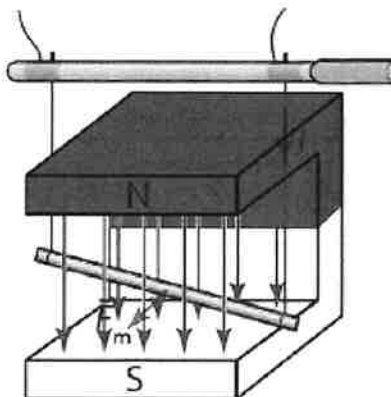
SUMMA		$\sum$	$\times$	$\checkmark$	$= (4 \cdot \text{PII}() \cdot 1\text{E}-7 \cdot 10\text{E}3) / (2 \cdot \text{PII}() \cdot \text{A}3)$	
	A	B	C	D	E	
1	10	2,00E-04				
2	100	2,00E-05				
3	1000	$= (4 \cdot \text{PII}() \cdot 1\text{E}-7 \cdot 10\text{E}3) / (2 \cdot \text{PII}() \cdot \text{A}3)$				
4						

4 Magneettikenttä kohdistaa virtajohtimeen voiman

4-15.

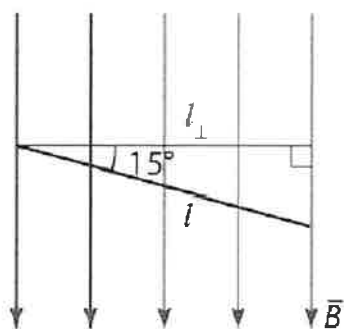
$$B = 25 \text{ mT}, I = 3,1 \text{ A}, l = 9,0 \text{ cm} = 0,090 \text{ m}$$

Koska sauva heilahtaa poispäin magneetista (eli likimain kohti katsojaa), magneettisen voiman suunta on poispäin magneetista (ks piirros). Oikean käden säännön perusteella sähkövirran suunta on sauvassa oikealta vasemmalle.



Sauvasta on magneettikentässä 9,0 cm pituinen osa, siksi kenttäviivoja vastaan kohtisuoran osan pituus on $l_{\perp} = l \cos 15^{\circ}$.

Tilanne edestä katsottuna:

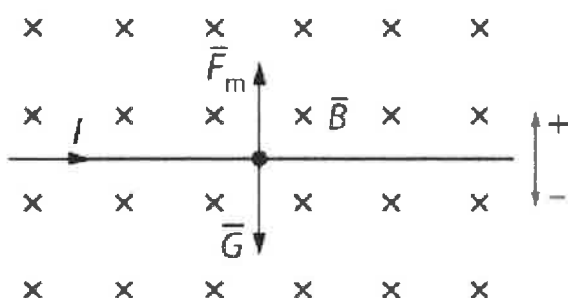


Magneettisen voiman suuruus on $F_m = Il_{\perp}B = 3,1 \text{ A} \cdot 0,090 \text{ m} \cdot \cos 15^{\circ} \cdot 25 \text{ mT} \approx 6,7 \text{ mN}$. Sähkövirran suunta on kuvassa oikealta vasemmalle.

4-16.

$$B = 0,56 \text{ T}, r = 0,50 \text{ mm}$$

- a) Koska johdin pysyy paikallaan (leijuu) vaakasuorassa asennossa, on magneettisen voiman suunnan oltava painon suunnalle vastakkainen.



virran suunta
oikealle
oikean käden sääntö!

- b) Newtonin II lain mukaan on $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$ eli $\vec{F}_m + \vec{G} = \vec{0}$. Kun suunta ylös valitaan positiiviseksi, skalaariyhtälö on $F_m - G = 0$, joka saadaan muotoon $F_m = G$ eli $IlB = mg$. Johdin on muodoltaan suora ympyrälieriö, joten sen tilavuus on $V = \pi r^2 l$. Johtimen massa voidaan kirjoittaa muotoon $m = \rho V = \rho \pi r^2 l$, jossa ρ on alumiinin tiheys. Johtimessa kulkevan sähkövirran suuruus on

$$I = \frac{mg}{Bl} = \frac{\rho \pi r^2 l g}{Bl} = \frac{\rho \pi r^2 g}{B} = \frac{2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,50 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,56 \text{ T}} \approx 37 \text{ mA}.$$