

M. Hribar, S. Kocjančič, A. Likar, S. Oblak, B. Pajk, V. Petruna, N. Razpet, B. Roblek, F. Tomažič, M. Trampuš:

ELEKTRIKA, SVETLOBA in SNOV

Fizika za 3. In 4. letnik srednjih šol

9. Magnetno polje

Poglavje 10. Vprašanja in naloge

Stran 65, naloga 1

1. Po žici, ki jo napnemo med poloma magnetna pravokotno na smer magnetnega polja, teče tok z jakostjo 30 A. Izmerimo, da je magnetna sila na žico 3,80 N. Kolikšna je povprečna gostota magnetnega polja med poloma, če je njun premer 25 cm?

$$I = 30 \text{ A}$$

$$F = 3,80 \text{ N}$$

$$2r = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$B = ?$$

Razlaga

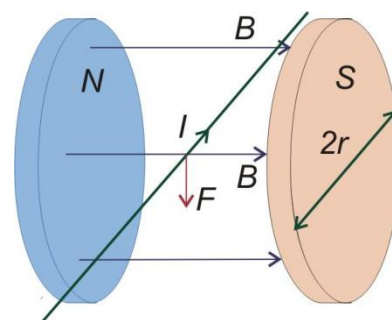
Sila na vodnik v magnetnem polju je enaka vektorskemu produktu:

$$\vec{F} = \vec{I}l \times \vec{B}$$

Smer sile lahko ločeno določimo po pravilu leve roke (magnetno polje gre v dlan leve roke, iztegnjeni prsti kažejo smer toka, iztegnjen palec pa smer sile). V tem primeru zapišemo velikost sile skalarno:

$$F = I l B$$

Kjer je l dolžina vodnika, ki se nahaja v magnetnem polju. (V našem primeru je $l = 2r$).



Rešitev:

$$B = \frac{F}{I l}$$

$$B = \frac{3,80}{30 \cdot 0,25} \left[\frac{\text{N}}{\text{A m}} = \frac{\text{kg m}}{\text{A m s}^2} = \frac{\text{kg m}^2 \text{ s}}{\text{A s}^2 \text{ m}^2 \text{ s}} = \frac{\text{V s}}{\text{m}^2} = \text{T} \right] = \underline{0,51 \text{ T}}$$

Opomba:

Enota za napetost U, je volt V. Volt ni osnovna merska enota, pač pa ga lahko izrazimo z osnovnimi enotami:

$$A = Ue \Rightarrow U = \frac{A}{e} = \frac{A}{It} \left[\frac{kg m^2 s^{-2}}{As} = \frac{kg m^2}{As^3} = V \right]$$

Stran 65, naloga 2

1. Proton se giblje po krožnem tiru pravokotno na homogeno magnetno polje z gostoto 1,40 T. Kolikšna je kinetična energija protona, če je radij tira 8,45 mm?

$$B = 1,40 T$$

$$r = 8,45 mm = 8,45 \cdot 10^{-3} m$$

$$W_k = ?$$

Razlaga

Kinetična energija je:

$$W_k = \frac{m_p v_0^2}{2}$$

kjer je masa protona:

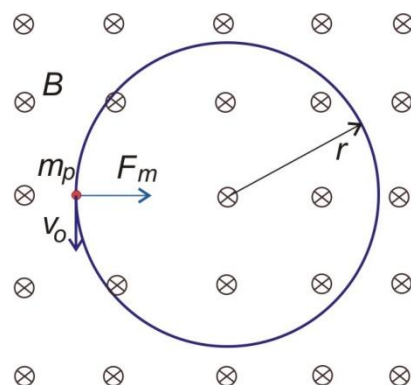
$$m_p = 1,00727 \cdot u = 1,68 \cdot 10^{-27} kg$$

Obodno hitrost protona dobimo tako, da izenačimo magnetno in radialno silo (ta je masa krat radialni pospešek):

$$F_m = F_r$$

$$e_0 v_0 B = m_p \frac{v_0^2}{r} \Rightarrow v_0 = \frac{e_0 B r}{m_p}$$

$$W_k = \frac{m_p}{2} \left(\frac{e_0 B r}{m_p} \right)^2 = \frac{(e_0 B r)^2}{2 m_p}$$



Opomba: gostotnica B je usmerjena v monitor.

Rešitev:

$$W_k = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,40 \cdot 8,45 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 1,68 \cdot 10^{-27}} \left[\frac{A^2 s^2 V^2 s^2 m^2}{m^2 kg} = \frac{A s^3 V^2 s A}{kg m^2} = \frac{V^2 As}{V} = V As = J \right] = 1,07 \cdot 10^{-15} J = 6,7 keV$$

Opomba:

Pretvorba Joule v elektronvolt in obratno:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \text{ oziroma } 1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

Stran 65, naloga 3

1. Kvadratna zanka s stranico 3 cm potisnemo med pola elektromagneta tako, da je ravnina zanke vzporedna z magnetnim poljem. Ko teče po zanki tok 4,5 A, deluje nanjo magnetno polje z navorom 0,001 Nm. Kolikšna je gostota magnetnega polja med poloma?

$$a = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$$

$$I = 4,5 \text{ A}$$

$$M = 0,001 \text{ Nm}$$

$$B = ?$$

Razlaga

Na zanko v magnetnem polju, ki je vzporedno z ravnino zanke deluje maksimalni navor:

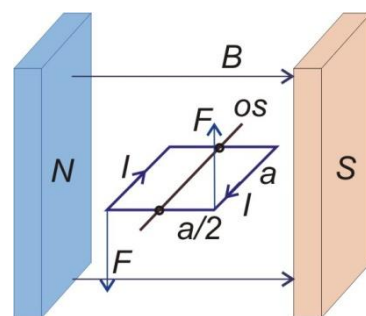
$$M = 2 \cdot F \cdot \frac{a}{2} = F \cdot a = I \cdot a^2 \cdot B$$

Pri tem je

$$F = I \cdot a \cdot B \quad \text{silna na vodnik v magnetnem polju}$$

Dobimo B:

$$B = \frac{M}{I a^2}$$



Zanka v magnetnem polju

Rešitev:

$$B = \frac{0,001}{4,5 \cdot 0,03^2} \left[\frac{\text{Nm}}{\text{Am}^2} = \frac{\text{N}}{\text{Am}} = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2 \text{ Am}} = \frac{\text{kg}}{\text{A s}^2} = \text{T} \right] = \underline{0,25 \text{ T}}$$

Opomba:

a) Kako smo enoto za gostoto magnetnega polja $B[T]$ izrazili z osnovnimi merskimi enotami $[m, kg, s, A]$?

$$B \left[T = \frac{Vs}{m^2} = \frac{kg\ m^2\ s}{A\ s^3\ m^2} = \frac{kg}{A\ s^2} \right]$$

Pri tem smo vzeli da je enota za napetost V :

$$A = Ue \Rightarrow U = \frac{A}{e} = \frac{A}{It} \left[\frac{kg\ m^2\ s^{-2}}{As} = \frac{kg\ m^2}{As^3} = V \right]$$

Stran 65, naloga 4

4. Po dveh dolgih vzporednih žicah, ki sta 10,0 cm narazen, tečeta tokova 25 A v isti smeri. Kolikšna je gostota magnetnega polja v točki, ki je na zveznici žic 15 cm od prve in 5 cm od druge žice?

$$d = 10,0\ cm = 0,10\ m$$

$$I = 25\ A$$

$$r_1 = 15\ cm = 0,15\ m$$

$$r_2 = 5\ cm = 0,05\ m$$

$$B = ?$$

Razlaga

Magnetno polje okoli vodnika, po katerem teče električni tok ima obliko koncentričnih krogov in smer, ki jo določimo po desnosučnem vijaku – smer uvijanja vijaka je smer toka, smer vrtenja vijaka pa smer silnic magnetnega polja.

Gostota magnetnega polja okoli tokovnega vodnika je sorazmerna toku in obratno sorazmerna dolžini silnice (obsegu kroga):

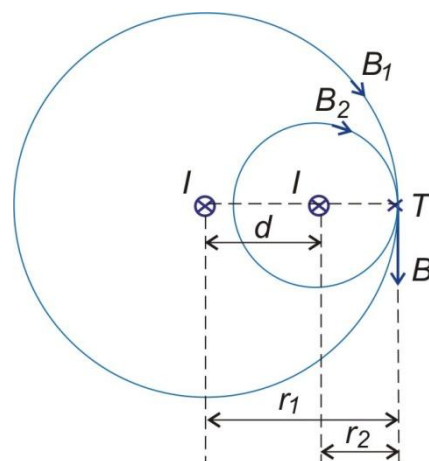
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Pri tem je

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \quad \text{indukcijska konstanta}$$

Gostota magnetnega polja v točki T je vsota polj obeh tokovodnikov:

$$B = B_1 + B_2$$



Magnetno polje okoli ravnih tokovodnikov

Rešitev:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} + \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 25}{2\pi} \left(\frac{1}{0,15} + \frac{1}{0,05} \right) \left[\frac{VsA}{Am\ m} = \frac{Vs}{m^2} = T \right] = \underline{1,33 \cdot 10^{-4} T}$$

Stran 66, naloga 5

5. Trije dolgi vzporedni vodniki potekajo pravokotno na ravnino skozi oglišča enakokrakega trikotnika s stranico 27,0 cm. Kolikšne so sile med vodniki, če tečeta po prvih dveh tokova po 30 A v isto smer, po tretji pa enak tok v nasprotno smer?

$$a = 27,0 \text{ cm} = 0,27 \text{ m}$$

$$I_1 = I_2 = 30 \text{ A}$$

$$I_3 = -30 \text{ A}$$

$$F_{1,2,3} = ?$$

Razlaga

Magnetno polje okoli vodnika, po katerem teče električni tok ima obliko koncentričnih krogov in smer, ki jo določimo s pomočjo desnosučnega vijaka – smer uvijanja vijaka je smer toka, smer vrtenja vijaka pa smer silnic magnetnega polja. Uporabimo lahko tudi pravilo desne roke – stegnjen palec desne roke je smer toka, skrčeni prsti kažejo smer magnetnega polja

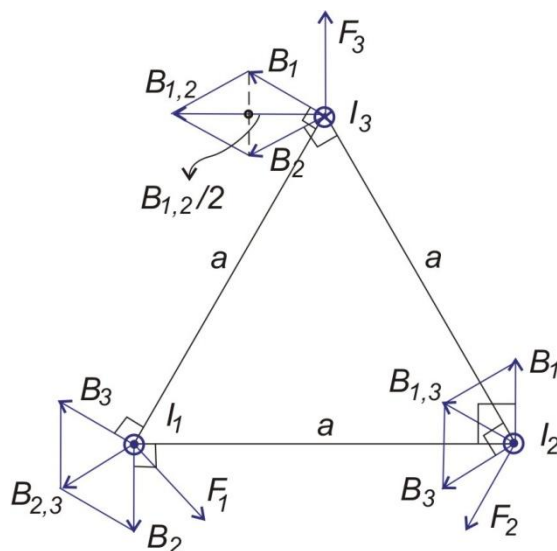
Gostota magnetnega polja okoli tokovnega vodnika je sorazmerna toku in obratno sorazmerna dolžini silnice (obsegu kroga):

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

Pri tem je

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \quad \text{indukcijska konstanta}$$

Magnetni polji v posameznem oglišču povzročata tokova v ostalih dveh ogliščih. Vsoto dobimo tako, da ju vektorsko seštejemo.



Magnetna polja v posameznih ogliščih geometrijsko seštejemo, kot kaže skica

$$\vec{B}_{2,3} = \vec{B}_2 + \vec{B}_3$$

$$\vec{B}_{1,3} = \vec{B}_1 + \vec{B}_3$$

$$\vec{B}_{1,2} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

Smer sile v posameznih ogliščih dobimo z vektorskim produktom:

$$\vec{F}_1 = \vec{I}_1 l \times \vec{B}_{2,3} \quad \text{ali skalarno} \quad F_1/l = I_1 B_{2,3}$$

$$\vec{F}_2 = \vec{I}_2 l \times \vec{B}_{1,3} \quad \text{ali skalarno} \quad F_2/l = I_2 B_{1,3}$$

$$\vec{F}_3 = \vec{I}_3 l \times \vec{B}_{1,2} \quad \text{ali skalarno} \quad F_3/l = I_3 B_{1,2}$$

Če računamo skalarno, moramo smer sile posebej določiti s pomočjo pravila leve roke. Če gre magnetno polje v dlan leve roke, stegnjeni prsti kažejo smer toka in stegnjen palec pokaže smer sile.

Rešitev:

Absolutne vrednosti vektorjev gostot električnega polja dobimo s pomočjo enakostraničnih trikotnikov:

$$B_{2,3} = B_{1,3} = B_1 = B_2 = B_3 = \frac{\mu_0 I}{2 \pi a} \quad \text{stranice enakostraničnega trikotnika (glej skico)}$$

$$B_{2,3} = B_{1,3} = \frac{4\pi 10^{-7} \text{Vs } 30\text{A}}{Am 2\pi 0,27m} = 2,22 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = T \right]$$

$$B_{1,2} = 2 \cdot \frac{B_1 \sqrt{3}}{2} = 2 \cdot \frac{B_2 \sqrt{3}}{2} = \frac{\mu_0 I \sqrt{3}}{2 \pi a} \quad \text{dvakratna višina enakostraničnega trikotnika (glej skico)}$$

$$B_{1,2} = \frac{4\pi 10^{-7} \text{Vs } 30\text{A} \sqrt{3}}{Am 2\pi 0,27m} = 3,85 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = T \right]$$

Izračunamo še absolutne vrednosti sil:

$$\frac{F_1}{l} = \frac{F_2}{l} = 30 \cdot 2,22 \cdot 10^{-5} \left[\frac{A \text{Vs}}{\text{m}^2} = \frac{Nm}{\text{m}^2} = \frac{N}{\text{m}} \right] = \underline{6,66 \cdot 10^{-4} \frac{N}{\text{m}}}$$

$$\frac{F_3}{l} = 30 \cdot 3,85 \cdot 10^{-5} \left[\frac{A \text{Vs}}{\text{m}^2} = \frac{Nm}{\text{m}^2} = \frac{N}{\text{m}} \right] = \underline{1,15 \cdot 10^{-3} \frac{N}{\text{m}}}$$

Stran 66, naloga 6

6. Na ekvatorju so silnice magnetnega polja skoraj vzporedne in usmerjene od juga proti severu. Gostota magnetnega polja je okoli $5,0 \cdot 10^{-5} T$. Kolikšna sila deluje na 20 m dolgo žico, ki leži v smeri vzhod – zahod, če je v njej tok 30 A?

$$B = 5,0 \cdot 10^{-5} T$$

$$d = 20 m$$

$$I = 30 A$$

$$F = ?$$

Razlaga

Sila na vodnik v magnetnem polju je:

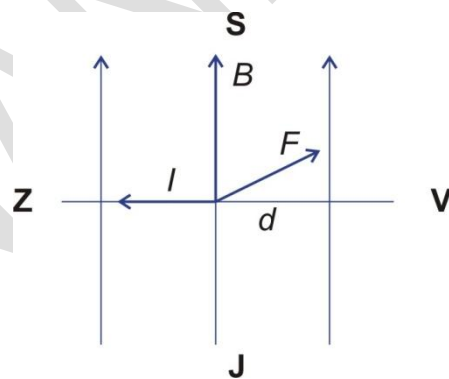
$$\vec{F} = I \vec{d} \times \vec{B}$$

Vektorski produkt lahko zapišemo tudi skalarno:

$$F = I d B$$

V tem primeru moramo posebej določiti smer sile – če naloga to zahteva. Uporabimo pravilo leve roke: magnetno polje gre v dlan leve roke, stegnjeni prsti kažejo smer toka, stegnen palec pa smer sile.

Če bi bila tok v smeri vzhod – zahod, bi bila sila usmerjena proti zemlji, pri obrnjeni smeri toka pa navpično stran od zemlje.



Rešitev:

$$F = \frac{30 A \cdot 20 m \cdot 5 \cdot 10^{-5} T}{m^2} \left[\frac{VAs}{m} = \frac{Nm}{m} = N \right] = \underline{0,03 N}$$

Stran 66, naloga 7

1. Tuljavica s 100 ovoji in presekom 5 cm^2 je v homogenem magnetnem polju gostote 1 T vrtljiva okoli osi, ki je pravokotna na silnice. Po tuljavi teče tok 2 A. V kateri legi je magnetni navor na tuljavico največji in kolikšen je? Kako moramo tuljavico zasukati, da navora ni?

$$N = 100$$

$$S = 5 \text{ cm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$B = 1 \text{ T}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$M = ?$$

Razlaga

Na tuljavo v magnetnem polju, ki je vzporedno z ravnino zanke deluje maksimalni navor:

$$M = 2 F \frac{a}{2} = F \cdot a = N I a b B = N S I B$$

kjer je

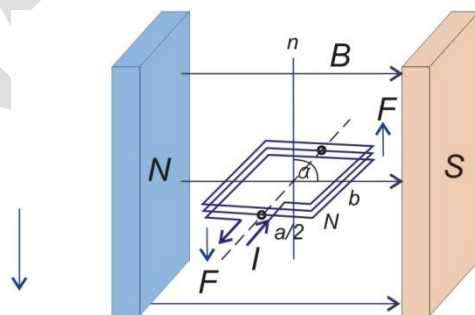
S presek tuljave

N število ovojev

V koliko S ni vzporeden s silnicami magnetnega polja, je navor

$$M = N S I B \sin \alpha$$

Kjer je α kot med normalo (pravokotnico na presek tuljave) n in silnicami magnetnega polja B .



Maksimalni navor tuljave

Rešitev:

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow M = N S I B \quad \text{presek } S \text{ je vzporeden z } B$$

$$M = 100 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \left[\frac{\text{m}^2 \text{ A V s}}{\text{m}^2} = V A s = \frac{\text{Nm}}{\text{As}} A s = \text{Nm} \right] = 0,1 \text{ Nm}$$

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow M = 0 \quad \text{pravokotnica } n \text{ je vzporedna z } B$$
