

# ELEKTRIKA IN MAGNETIZEM ATOMIKA

Dejan Zupan

## REŠENE NALOGE IZ FIZIKE 3

za srednje šole

# Kazalo

<b>1</b>	<b>Elektrika</b>	<b>5</b>
1.1	Coulombov zakon . . . . .	6
1.2	Jakost električnega polja . . . . .	12
1.3	Snov v električnem polju . . . . .	28
1.4	Električna napetost in električni potencial . . . . .	30
1.5	Kondenzator . . . . .	33
1.6	Energija kondenzatorja . . . . .	43
1.7	Gibanje delcev v električnem polju . . . . .	46
1.8	Električni tok . . . . .	51
1.9	Električna upornost . . . . .	53
1.9.1	Ohmov zakon . . . . .	54
1.9.2	Vezava upornikov . . . . .	56
1.10	Merjenje električnega toka, napetosti in upornosti . . . . .	71
1.11	Električna moč . . . . .	82
<b>2</b>	<b>Magnetizem</b>	<b>91</b>
2.1	Magnetna sila na delce z električnim nabojem . . . . .	92
2.2	Magnetna sila na tokovni vodnik . . . . .	99
2.3	Navor magnetne sile . . . . .	104
2.4	Magnetno polje vodnika in tuljave . . . . .	110
2.4.1	Magnetne sile med vzporednimi vodniki . . . . .	119
2.5	Snov v magnetnem polju . . . . .	125
2.6	Magnetna indukcija . . . . .	126
2.6.1	Magnetni pretok . . . . .	126
2.6.2	Indukcija pri premikanju vodnika po magnetnem polju . . . . .	130
2.6.3	Faradayev indukcijski zakon . . . . .	134
2.6.4	Lastna indukcija . . . . .	140
2.6.5	Magnetna energija tuljave . . . . .	143
2.7	Izmenični električni tok . . . . .	145
2.8	Transformator . . . . .	148
2.9	Električni nihajni krog . . . . .	150

<b>3</b>	<b>Atomika</b>	<b>153</b>
3.1	Fotoni in fotoelektrični pojav . . . . .	154
3.2	Energijski nivoji elektronov v atomih . . . . .	159
3.3	Rentgenska svetloba . . . . .	163
3.4	Jedro atoma . . . . .	164
3.4.1	Izotopska sestava jedra . . . . .	165
3.4.2	Masni defekt jedra . . . . .	165
3.4.3	Einsteinova energijska enačba . . . . .	166
3.5	Jedrske reakcije . . . . .	169
3.6	Radioaktivnost . . . . .	171

## 2.1 Magnetna sila na delce z električnim nabojem

1. Kolikšna magnetna sila deluje na elektron, ki se giblje v homogenem magnetnem polju z gostoto  $5,0 \text{ mT}$  s hitrostjo  $13\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ? Hitrost elektrona ima smer pravokotno na silnice magnetnega polja. Kaj pa če ima hitrost elektrona smer vzporedno s smerjo magnetnih silnic?

Podatki:

$$B = 5,0 \text{ mT} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$v = 13\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 1,3 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Magnetna sila na delec z električnim nabojem  $e$ , ki se s hitrostjo  $v$  giblje pravokotno na magnetne silnice magnetnega polja z gostoto  $B$ , je podana z izrazom:

$$F = evB$$

Upoštevajmo dejstvo, da nosi elektron osnovni naboj  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$  in izračunajmo silo na elektron, ko se ta giblje pravokotno na magnetne silnice:

$$\begin{aligned} F &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1,3 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ T} = \\ &= 1,04 \cdot 10^{-14} \text{ N} = \underline{\underline{1,0 \cdot 10^{-14} \text{ N}}} \end{aligned}$$

V primeru, ko se delci z nabojem gibljejo vzporedno s silnicami magnetnega polja, nanje ne deluje magnetna sila. Magnetna sila na elektron v drugem primeru je tako:

$$F' = \underline{\underline{0 \text{ N}}}$$

### Dodatek:

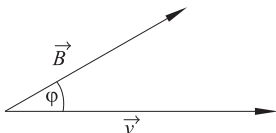
Enačba za magnetno silo na delec z nabojem  $e$ , ki se s hitrostjo  $v$  giblje skozi magnetno polje z gostoto  $B$ , se v splošnem zapiše kot vektorski produkt:

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$$

Velikost magnetne sile se pri tem izračuna z enačbo:

$$F = evB \sin \varphi$$

kjer je  $\varphi$  kot med vektorjem hitrosti in vektorjem gostote magnetnega polja:



V tej nalogi je v prvem delu, ko se elektron giblje pravokotno na smer silnic, kot  $90^\circ$ . Ker velja  $\sin 90^\circ = 1$ , dobimo enačbo:

$$F = evB$$

V drugem delu te naloge se elektron giblje vzporedno na smer silnic magnetnega polja. Takrat je  $\varphi = 0^\circ$  in velja  $\sin 0^\circ = 0$ . Od tod je sila v tem primeru nič.

**Rezultat vektorskega produkta dveh vektorjev je vektor.** To pomeni, da dobimo poleg velikosti rezultata tudi njegovo smer. Smer rezultata je vedno pravokotna na ravnino, ki jo določata vektorja v produktu. S tem imamo dve možnosti za smer rezultata. Pravo smer določimo s **pravilom desnega vijaka**. Ta pravi, da ima rezultat smer, v katero bi se pomaknil desni vijak, če bi ga postavili v prijemališče obeh vektorjev in ga zavrteli od prvega vektorja v produktu po najkrajši poti do drugega vektorja v produktu. Podrobneje bomo pravilo spoznali pri kasnejših nalogah.

2. Proton se giblje v homogenem magnetnem polju z gostoto  $0,054 \text{ T}$  pravokotno na magnetne silnice. S kolikšno hitrostjo se giblje, če nanj deluje magnetna sila  $7,4 \cdot 10^{-16} \text{ N}$ ?

Podatki:

$$B = 0,054 \text{ T}$$

$$F = 7,4 \cdot 10^{-16} \text{ N}$$

Uporabimo enačbo za magnetno silo na naboj  $e$ , ki se s hitrostjo  $v$  giblje pravokotno na smer magnetnih silnic magnetnega polja z gostoto  $B$ :

$$F = evB$$

Od tod je hitrost protona:

$$v = \frac{F}{eB} = \frac{7,4 \cdot 10^{-16} \text{ N}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 0,054 \text{ T}} = 85\,650 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{86 \frac{\text{km}}{\text{s}}}}$$

Za naboj elektrona smo vstavili osnovni naboj  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ .

3. Delec z nabojem enakim dvema osnovnima nabojema se giblje v homogenem magnetnem polju z gostoto  $0,35 \text{ mT}$  s hitrostjo  $85\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Kolikšna je magnetna sila, ki deluje na delec, če njegova hitrost oklepa kot  $30^\circ$  s silnicami magnetnega polja?

Podatki:

$$B = 0,35 \text{ mT} = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$v = 85\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 8,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

Za izračun velikosti magnetne sile v tem primeru uporabimo enačbo, ki smo jo zapisali v dodatku k prvi nalogi. Naboj delca je enak dvema osnovnima nabojema:

$$e = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

Tako dobimo:

$$\begin{aligned} F &= evB \sin \varphi = \\ &= 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 8,5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \sin 30^\circ = \\ &= 4,76 \cdot 10^{-15} \text{ N} = \underline{\underline{4,8 \cdot 10^{-15} \text{ N}}} \end{aligned}$$

4. Delec se s hitrostjo  $28\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  giblje v homogenem magnetnem polju z gostoto  $0,47 \text{ T}$ . Kolikšen kot oklepa smer hitrosti delca s smerjo magnetnih silnic, če je velikost sile, ki deluje na delec,  $2,0 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ ? Naboj delca je enak dvema osnovnima nabojema.

Podatki:

$$v = 28\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$B = 0,47 \text{ T}$$

$$F = 2,0 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

Iz enačbe  $F = evB \sin \varphi$  izračunajmo sinus kota, ki ga smer hitrosti delca oklepa s smerjo silnic magnetnih silnic. Ne pozabimo, da je naboj delca enak dvema osnovnima nabojema,  $e = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ :

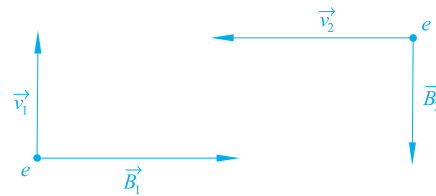
$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{F}{evB} = \frac{2,0 \cdot 10^{-12} \text{ N}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 2,8 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,47 \text{ T}} = \\ &= 0,4749 \end{aligned}$$

Kot  $\varphi$  je torej:

$$\varphi = \arcsin 0,4749 = 28,35^\circ = \underline{\underline{28^\circ}}$$

5. Delec s pozitivnim nabojem se giblje v magnetnem polju. Dana sta dva primera smeri hitrosti delca in silnic magnetnega polja.

Kakšno smer ima v obeh primerih magnetna sila na delec? Kaj pa če ima delec negativni naboj?

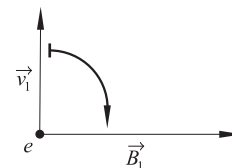


V dodatku k prvi nalogi smo omenjali smer vektorskega produkta. Magnetno silo namreč izračunamo z vektorskim produktom:

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$$

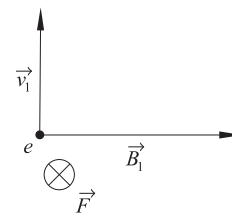
Smer vektorja magnetne sile tako določata smer vektorja hitrosti in smer vektorja gostote magnetnega polja. Rezultat vektorskega produkta (magnetna sila) ima smer, ki je pravokotna na ravnino, v kateri ležita vektorja, ki ju vektorsko množimo (hitrost in magnetno polje). To pomeni, da je vektor sile v obeh danih primerih pravokoten na ravnino lista, saj ležita vektorja hitrosti in gostote magnetnega polja na ravnini lista. Ali ima magnetna sila smer v list ali iz lista, določimo s pravilom desnega vijaka. Prvi vektor v produktu (hitrost) po najkrajši poti zasučemo v drugi vektor v produktu (gostota magnetnega polja). Magnetna sila je pri tem usmerjena v smer, v katero bi se pomaknil desni vijak, če ga zasučemo (privijemo oziroma odvijemo) v tej smeri.

V prvem primeru zasučemo vektor hitrosti proti vektorju magnetnega polja v desno (v smeri urinega kazalca).

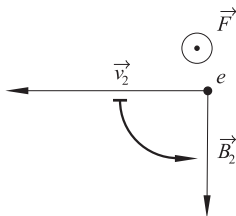


V tem primeru bi desni vijak privili in bi se pomaknil v list. Magnetna sila ima tako smer v list. To označimo z oznako

⊗:



V drugem primeru ob zasuku vektorja hitrosti proti vektorju magnetnega polja po najkrajši poti sučemo vektor hitrosti v nasprotni smeri urinega kazalca, kar bi desni vijak odvijalo, tako da bi se pomikal iz lista. V tem primeru je magnetna sila tako usmerjena iz lista, kar označimo z oznako  $\odot$ :



Oglejmo si še primer, če bi bil naboj delca negativen. V enačbo  $\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$  vstavimo  $-e$  in dobimo:

$$\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$$

Velikost vektorskega produkta oziroma magnetne sile ostane enaka, spremeni pa se njena smer. Če je imela magnetna sila na pozitivni naboj smer v list, ima za negativni naboj iz lista in obratno.

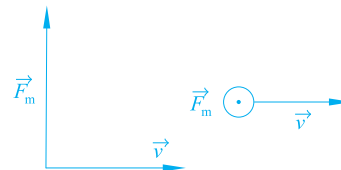
Za dana primera to pomeni, da bi imel vektor magnetne sile na delec z negativnim nabojem v prvem primeru smer iz lista, v drugem primeru pa v list.

#### Dodatek:

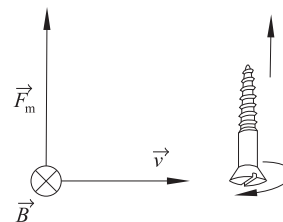
Ponavadi je lažje smer vektorskega produkta določati s palcem, kazalcem in sredincem desne roke. Palec in kazalec desne roke iztegnemo in usmerimo tako, da palec kaže smer prvega vektorja v produktu (hitrosti), kazalec pa smer drugega vektorja v produktu (gostote magnetnega polja). Če sredinec iztegnemo tako, da je pravokoten na palec in kazalec, je usmerjen v smeri rezultata vektorskega produkta (magnetne sile).

Preverimo ta način na zgledih za delec s pozitivnim nabojem v tej nalogi. V prvem primeru iztegnjena palec in kazalec desne roke postavimo tako, da je palec usmerjen navzgor po listu, kazalec pa desno. Če sredinec iztegnemo tako, da je pravokoten na palec in kazalec, je usmerjen v list. Magnetna sila je tako v prvem primeru usmerjena v list. V drugem primeru palec usmerimo levo, kazalec pa navzdol. Sredinec, iztegnjen tako, kot smo se dogovorili, kaže iz lista. V drugem primeru je sila torej usmerjena iz lista.

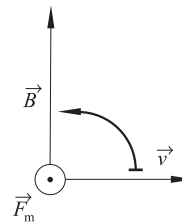
6. Proton se giblje v magnetnem polju. Na sliki sta dva primera hitrosti delca in magnetne sile na delec. Določi smer silnic magnetnega polja v obeh primerih.



V tej nalogi imamo podani smeri magnetne sile in hitrosti delca, poiskati pa moramo smer gostote magnetnega polja. To pomeni, da moramo vektor magnetnega polja postaviti tako, da bi se pri zasuku vektorja hitrosti proti vektorju gostote magnetnega polja desni vijak pomaknil v smer magnetne sile. V prvem primeru je vektor gostote magnetnega polja tako usmerjen v list, saj moramo vektor hitrosti zasukati proti smeri v list, da bi se desni vijak pri tem zasuku pomaknil navzgor, v smeri magnetne sile:



V drugem primeru mora imeti gostota magnetnega polja smer navzgor, da se bo pri zasuku vektorja hitrosti v vektor magnetnega polja (v nasprotni smeri urinega kazalca) desni vijak pomaknil iz lista, kot je smer magnetne sile:



7. Proton se giblje v magnetnem polju, katerega silnice so usmerjene proti zahodu. Magnetna sila, ki deluje na proton, ima smer proti jugu. Kakšno smer ima hitrost delca?