

Jakov Labor
Jasmina Zelenko Paduan

FIZIKA 3

Udžbenik iz fizike za treći razred gimnazije

3. IZDANJE



2022.



Nakladnik
ALFA d. d. Zagreb
Nova Ves 23a

Za nakladnika
Miro Petric

Direktorica nakladništva
mr. sc. Daniela Novoselić

Urednik za Fiziku u srednjoj školi
Jakov Labor

Recenzija
doc. dr. sc Ivica Smolić
mr. sc. Josip Paić

Lektura
Kristina Ferenčina

Likovno i grafičko oblikovanje
Irena Lenard
Tri jedan d.o.o.

Fotografije
Jakov Labor
Jasmina Zelenko Paduan
shutterstock.com

Ilustracija
Jasmina Zelenko Paduan
Jakov Labor
shutterstock.com

Digitalno izdanje
Alfa d. d.
Mozaik Education Ltd.

Tehnička priprema
Ivan Herceg
Alfa d. d.

Tisak
Tiskara Zelina d. d.

Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU

Udžbenik je uvršten u Katalog odobrenih udžbenika rješenjem Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske:
KLASA: UP/I-602-09/20-03/00007, URBROJ: 533-06-20-0002, od 30. travnja 2020. godine.

CIP zapis dostupan je u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem **001125876**.

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT	CIJENA
220 str.	459 g	265 mm (v) x 210 mm (š)	115,00 kn

Digitalno izdanje dostupno je na digitalnoj platformi *mozaLearn* na internetskoj adresi **www.mozaweb.com/hr** pod identifikacijskim brojem **HR-ALFA-FIZ3-2093**.

© Alfa

Ova knjiga, ni bilo koji njezin dio, ne smije se umnožavati ni na bilo koji način reproducirati bez nakladnikova pismenog dopuštenja.

Mozaik Education Ltd. zadržava intelektualno vlasništvo i sva autorska prava za komercijalne nazive *mozaBook*, *mozaWeb* i *mozaLearn*, digitalne proizvode, sadržaje i usluge proizvedene neovisno o nakladniku Alfa d. d.

Sadržaj

Magnetsko polje	Magneti i magnetsko polje.....	8
	Magnetsko polje električne struje.....	15
Magnetsko međudjelovanje	Sila na vodič kojim prolazi struja u magnetskom polju	24
	Magnetsko međudjelovanje dvaju ravnih paralelnih vodiča.....	30
	Sila na nabijenu česticu koja se giba magnetskim poljem.....	34
	Gibanje nabijene čestice u magnetskom polju.....	38
Elektromagnetska indukcija	Elektromagnetska indukcija.....	46
	Međuindukcija i samoindukcija	55
	Izmjenična struja i izmjenični napon	60
	Transformator.....	68
	Induktivni otpor (I_3).....	72
	Kapacitivni otpor (I_3).....	74
Harmonijsko titranje	Titranje	80
	Titranje tijela na elastičnoj opruzi	83
	Energija, brzina i akceleracija pri harmonijskom titranju	89
	Jednostavno (matematičko) njihalo	93
	Harmonijsko titranje i jednoliko gibanje po kružnici (I_2 , I_3).....	98
	Prigušeno i prisilno titranje	103
	Elektromagnetsko titranje (I_3).....	108
Putujući mehanički valovi	Nastanak i vrste valova	116
	Brzina širenja vala	122
	Refleksija (odbijanje) vala	125
	Lom i ogib vala	129
	Interferencija valova	134
Stojni mehanički valovi i zvuk	Stojni val	142
	Vlastite frekvencije.....	144
	Zvuk.....	148
	Jakost (intenzitet) zvuka (I_2 , I_3)	157
	Dopplerov učinak (I_2)	160
Geometrijska optika (I_2)	Širenje i refleksija svjetlosti.....	168
	Lom svjetlosti	175
	Totalna refleksija	181
	Disperzija svjetlosti.....	186
	Leće	191
	Optički uređaji.....	202
	Odgovori na pitanja	210

PREDGOVOR

Udžbenik je napisan prema Kurikulumu nastavnoga predmeta Fizika za osnovne škole i gimnazije (NN 10/2019), a namijenjen je učenicima gimnazija u kojima je Fizika zastupljena četiri godine s tri odnosno dva sata tjedno.

Sadržaj udžbenika razvrstan je u sedam cjelina koje pokrivaju tri sadržajne domene: Gibanje, Međudjelovanja i Energiju. Na slici su zorno prikazane cjeline i njihova pripadnost međusobno preklapajućim domenama.



Magnetsko polje pojavljuje se i oko magneta i oko vodiča kojima prolazi struja (**magnetsko polje**). Zbog toga magnetski mogu međudjelovati u bilo kojoj kombinaciji: magneti, vodiči kojima prolazi struja i gibajući naboji (**magnetsko međudjelovanje**). Osim toga, ne samo da električna struja stvara magnetsko polje, nego i magnetsko polje, ako je promjenjivo, stvara električnu struju (**elektromagnetska indukcija**). Jedno od važnih periodičnih gibanja u prirodi je **harmonijsko titranje**. Čestice sredstva titraju i kad kroz sredstvo koje one čine prolazi **val**. Jedan od najvažnijih mehaničkih valova jest **zvuk**. Osim mehaničkih, postoje i elektromagnetski valovi, od kojih vidimo jedino svjetlost. Ako svjetlost pojednostavljeno shvatimo kao zraku, i tada ćemo moći predvidjeti njezino ponašanje u mnogim primjenama, što proučava **geometrijska optika**.

Na početku je svake cjeline **motivirajući uvod** s najavom fizičkih koncepata koje cjelina obuhvaća te popis **nastavnih tema** i **ishoda** koje učenik može očekivati baveći se temama iz cjeline. Međupredmetna povezanost i povezanost s međupredmetnim temama navedena je na samom kraju udžbenika. Svaka je cjelina raščlanjena na nastavne teme. Svaku temu otvara **problemsko pitanje** iz svakodnevice, čime se podupire problemski usmjerena nastava. Nastavna tema sažeto je obrađena na učenicima pristupačan način. Tipične neznanstvene predrasude i pogreške

naglašene su u odlomcima naziva „Izbjegni pogrešku”. Tema završava **riješanim primjerima** te **pitanjima za samoprocjenu** koji obuhvaćaju sve razine znanja, a odgovori na pitanja navedeni su na kraju udžbenika. U elektroničkom su udžbeniku u nastavnu temu uklopljeni interaktivni zadatci višestrukog izbora, koji dodatno olakšavaju svladavanje koncepata. Povezanost tema sa svakodnevnim situacijama označena je plavom oznakom u okviru „**Primjena u svakodnevici**”, povezanost s međupredmetnim temama žutom, a međupredmetna povezanost zelenom oznakom, kao na dnu stranice. U ikoni međupredmetna povezanost naveden je i ishod. Zbog važnosti eksperimenta u nastavi Fizike vizualno su naglašeni **demonstracijski pokusi**, a na kraju teme nalaze se prijedlozi **samostalnih učeničkih pokusa** koje izvodi svaki učenik uz lako dostupan pribor. Dio pokusa je virtualan. Navedene su adrese pod kojima se nalaze. U elektroničkom se udžbeniku veći dio tih pokusa može pokrenuti klikom na odgovarajuću ikonu, a ostali učitavanjem navedene adrese. Osim toga, mnogo je prijedloga **projekata** koji su složeniji od učeničkih pokusa i u pravilu se izvode timski. Detalje projekata učenici trebaju dogovoriti sa svojim profesorima. Učenički pokusi i projekti povezuju teme s učenikovim iskustvima, suočavaju ga s neprerađenom, neidealiziranom stvarnošću, razvijaju njegove kompetencije i prirodoslovno-znanstveni način razmišljanja. Zahtjevniji projekti, predviđeni za nadarene učenike, kao i zahtjevnija pitanja i primjeri označeni su zvjezdicom. Na kraju cjeline nalazi se **Sažetak** – pregled fizičkih koncepata i zakona po temama u obliku mentalne mape. Ona pomaže učenicima u objedinjavanju i povezivanju koncepata i zakona unutar te cjeline, kao i uspoređivanju istih u međusobno srodnim cjelinama. Uz sadržaje koji su u modelu 4x2 izborni stoji (I2), uz one koji su izborni u modelu 4x3 stoji (I3), a uz one koji su izborni u oboma modelima (I2, I3). U modelu 4x2 ne obrađuju se sadržaji uz koje stoji (I3).

Autori



U elektroničkom se udžbeniku nalaze ikone koje sadrže informacije, pitanja i zadatke te snimke pokusa (video) i poveznice na virtualne simulacije:



INFORMACIJE, PITANJA I ZADATCI



SNIMLJENI POKUSI



VIRTUALNE SIMULACIJE

1. *Magnetsko polje*



- MAGNETI I MAGNETSKO POLJE
- MAGNETSKO POLJE ELEKTRIČNE STRUJE

UVOD U CJELINU

Magneti od davnina izazivaju pažnju. U grčkoj pokrajini Magneziji bilo je magnetita, prirodnog magneta, koji je "čarobno", na daljinu, privlačio željezne predmete. Čarolija je bila još izraženija u često bezuspješnom pokušaju spajanja istoimenih polova dvaju magneta.

S druge strane, starim je Grcima bilo poznato i da natrljani jantar (na grčkom elektron) privlači lagane predmete, poput perja i kose. To električno djelovanje na daljinu s vremenom se objasnilo konceptom električnog polja.

Na sličan ćemo način magnetsko djelovanje objasniti postojanjem magnetskog polja, koje ćemo vizualizirati magnetskim silnicama. Ali to nikako nije sve.

Najbolje za našu priču dogodilo se tek prije dvjesto godina, pokusom koji često proglašavaju jednim od najvažnijih ikada, kada je Oersted otkrio povezanost električnih i magnetskih pojava: vodič kojim prolazi struja zakreće iglu kompasa. To znači da magnetsko polje ne postoji samo oko magneta, nego i oko vodiča kojim prolazi struja. Uslijedila su nova otkrića povezanosti električnih i magnetskih pojava, što je rezultiralo eksplozijom novih izuma. Fizika je dobila novo poglavlje: elektromagnetizam.

Danas je cijeli svijet napučen magnetima, ali samo djelomično stalnim, permanentnim magnetima. Veći dio magneta su jeftiniji i praktičniji magneti koji rade na struju – elektromagneti.

ODGOJNO-OBRAZOVNI ISHODI 1. POGLAVLJA

Učenik opisuje svojstva magneta i analizira vezu između električne struje i magnetizma (FIZ SŠ B.3.1.), to jest:

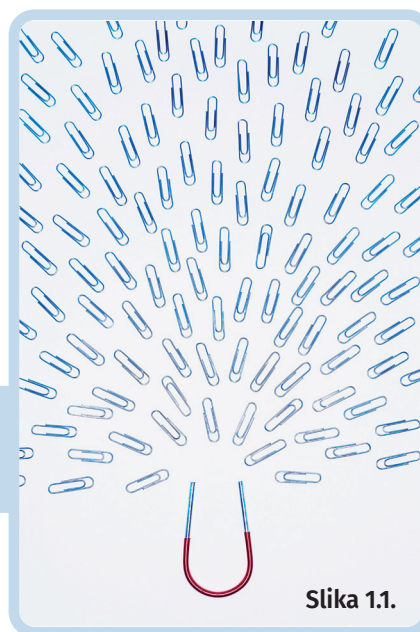
- ▶ opisuje svojstva magneta i magnetsko polje
- ▶ crta magnetske silnice oko i unutar magneta
- ▶ opisuje magnetski tok i magnetsko polje
- ▶ uspoređuje permanentne magnete i elektromagnete
- ▶ ispituje djelovanja permanentnoga magneta na različite materijale.
- ▶ istražuje utjecaj broja namotaja zavojnice na jakost elektromagneta
- ▶ (3) istražuje i mjeri magnetsko polje Zemlje izvedeći učenički projekt
- ▶ izvodi i objašnjava Oerstedov pokus
- ▶ crta magnetske silnice oko ravnog vodiča, strujne petlje i zavojnice
- ▶ računa magnetsku indukciju i magnetski tok u odabranoj točki magnetskog polja
- ▶ istražuje Zemljin magnetizam izvedeći učenički projekt
- ▶ samostalno provodi složeno istraživanje s pomoću IKT-a. (ikt C.5.1.)
- ▶ samostalno određuje ciljeve učenja, odabire pristup učenju te planira učenje (uku B.4/5.1.)



Prva upotreba magneta

Magneti i magnetsko polje

Prikazuje li **slika 1.1.** samo jedan magnet, dva ili više od dvaju magneta?



Magneti su nam u svakodnevnom životu poznati kao tijela koja privlače predmete od željeza. Željezo je, uz kobalt, nikel i neke njihove legure i okside, među tvarima koje pokazuju jako magnetsko djelovanje. To su **feromagnetske** tvari. Neke feromagnetske tvari mogu se trajno magnetizirati i od njih se izrađuju permanentni (stalni) magneti. **Slika 1.2.** prikazuje razne oblike permanentnih magneta.

Sustavi u kojima postoji magnetsko međudjelovanje imaju **magnetsku energiju**.



a.



b.



c.

Slika 1.2. Razni oblici magneta

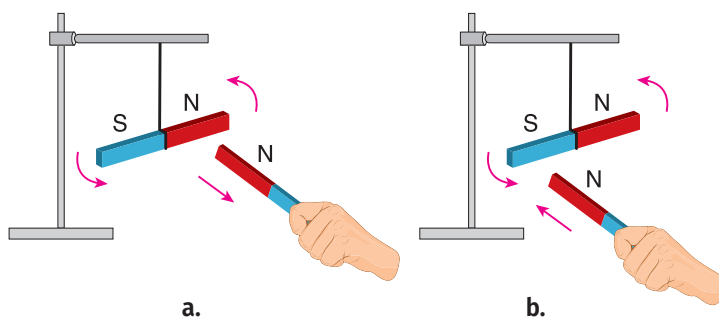
Izbjegni pogrešku!

Permanentni magneti su željezni.

Željezni predmet nema trajna magnetska svojstva. Permanentni magneti najčešće su izrađeni od čelika te legura aluminij-nikal-kobalt (**slika 1.2.a. i b.**) i neodim-željezo-bor (**slika 1.2.c.**).

Magnetska igla oslonjena u težištu jednim se krajem okreće prema sjeveru, a drugim prema jugu. Kraj magneta okrenut prema sjeveru nazivamo sjevernim polom (N), a onaj kraj koji je okrenut prema jugu južnim polom (S). Oznake N i S prva su slova engleskih naziva za sjever (north) i jug (south).

Magneti djeluju i međusobno. Raznoimeni polovi magneta se privlače (**slika 1.3.a.**), a istoimeni odbijaju (**slika 1.3.b.**).



Slika 1.3. Privlačenje i odbijanje magneta

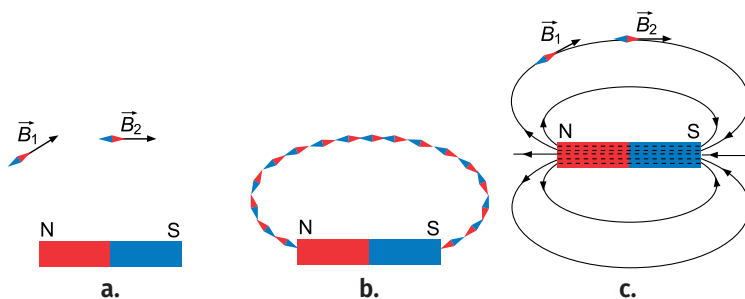
Magnetske polove ne možemo razdvojiti. Prerežemo li magnet (**slika 1.4.a.**) po spoju polova, dobit ćemo dva magneta sa sjevernim i južnim polom (**slika 1.4.b.**).



Slika 1.4. Ne postoji magnet s jednim polom.

Magnetsko polje. Kažemo da u prostoru u kojem se očituje magnetsko djelovanje postoji magnetsko polje. Ono u svakoj točki ima određeni iznos i orijentaciju. U nekoj je točki magnetsko polje ($\vec{B}$) usmjereno kao sjeverni pol magnetske igle postavljene u tu točku (**slika 1.5.a.**). Magnetsko polje iskazujemo mjernom jedinicom tesla (T).

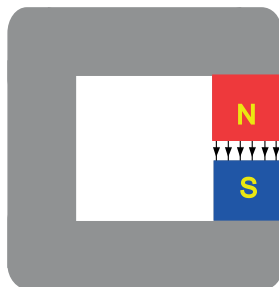
Općenito se iznos i orijentacija magnetskog polja od točke do točke mijenjaju. Promjenu orijentacije magnetskog polja možemo pratiti pomoću malene magnetske igle pomičući je od točke do točke slijedeći usmjerenje njezina sjevernog pola (**slika 1.5.b.**). Spajajući točke kojima je igla prolazila dobijemo krivulju nazvanu **magnetska silnica**. Na **slici 1.5.c.** prikazano je nekoliko silnica. U odabranoj točki silnice vektor magnetskog polja leži na tangenti koja prolazi tom točkom (**slika 1.5.c.**).



Slika 1.5. Magnetske silnice

Izvan magneta silnice izlaze iz njegova sjevernoga pola, a ulaze u južni. Budući da se magnetski polovi ne mogu razdvojiti, magnetske silnice ne mogu u polovima imati početak i kraj. One su zatvorene krivulje, što znači da su unutar magneta usmjerene od južnog pola prema sjevernom.

Silnice su gušće tamo gdje je magnetsko polje većeg iznosa. Ako je magnetsko polje u svim točkama promatranog prostora jednakoga iznosa i orijentacije, polje nazivamo **homogenim** i predočujemo ga silnicama svuda jednake gustoće. Magnetsko polje između bliskih magnetskih polova približno je homogeno (**slika 1.6.**)



Slika 1.6. Homogeno magnetsko polje

Izbjegni pogrešku!

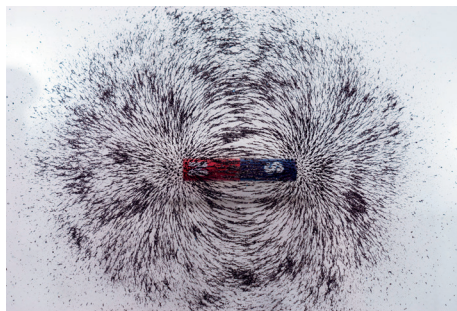
Raznoimeni magnetski polovi i raznoimeni električni naboji se privlače. Također, istoimeni magnetski polovi i istoimeni električni naboji se odbijaju. Zaključujemo da su magnetski pol i električni naboj veoma slični.

Magnetski pol i električni naboj različiti su. Jedna je od razlika mogućnost razdvajanja pozitivnoga i negativnoga naboja, a nemogućnost razdvajanja magnetskih polova. Električne silnice počinju u pozitivnom i završavaju u negativnom naboju. Magnetske silnice, naprotiv, nemaju ni početak ni kraj.

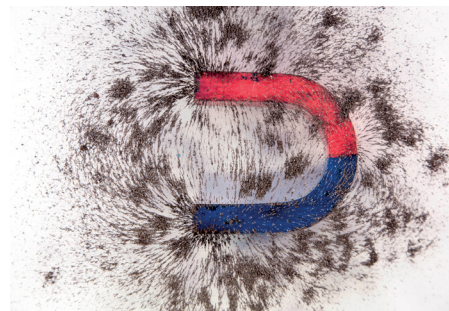
Pokusom možemo pokazati da se predmeti od željeza u magnetskom polju magnetiziraju, postaju magnetima (**slika 1.7.**). Kada se u magnetskom polju nađu zrnca željezne piljevine, ona se zbog magnetizacije ponašaju poput magnetskih igala i postavljaju se u smjeru polja. Na taj način silnice magnetskog polja postaju „vidljive” (**slika 1.8.**).



Slika 1.7. Magnetizacija



Slika 1.8. Vizualizacija magnetskih silnica

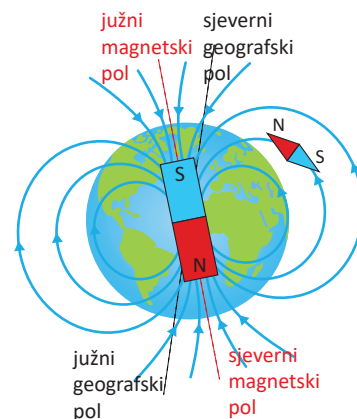


Usmjerenost magnetske igle duž pravca sjever-jug upućuje na zaključak da je Zemlja magnet. Budući da se raznoimeni polovi privlače, sjeverni magnetski pol Zemlje blizu je južnom zemljopisnom polu, dok je južni magnetski pol blizu sjevernom zemljopisnom polu (**slika 1.9.**). Kut što ga zatvaraju magnetska i zemljopisna os nazivamo **magnetskom deklinacijom**. Zemljino magnetsko polje pri njezinoj površini iznosi između $2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ i $7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

Izbjegni pogrešku!

Najveći magnet je i najjači.

Iako je Zemlja nemjerljivo veća od malenog neodimskog magneta, njegovo je magnetsko polje nekoliko desetaka tisuća puta veće od magnetskog polja Zemlje.



Slika 1.9. Zemlja je veliki magnet simbolički prikazan štapnim magnetom. Sjeverni pol kompasa pokazuje (približno) prema sjeveru.

Magnetski tok. Prolaze li silnice homogenog magnetskog polja ravnom plohom okomitom na silnice (slika 1.10.a.), tada umnožak magnetskog polja (B) i površine plohe (S) zovemo **magnetskim tokom** (Φ):

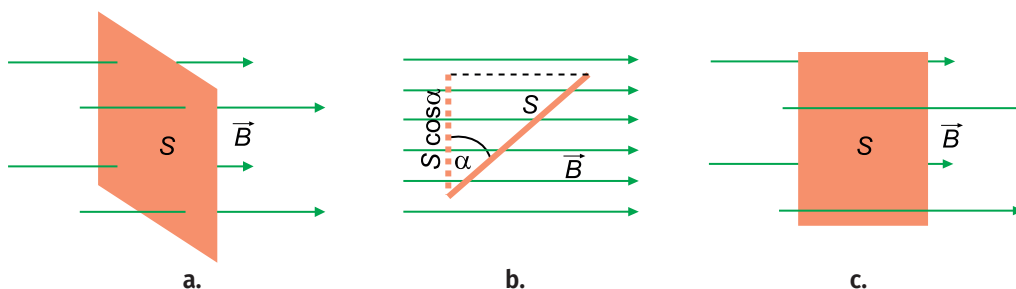
$$\Phi = B S.$$

Dok je magnetsko polje proporcionalno gustoći silnica, magnetski tok proporcionalan je broju silnica kroz plohu.

Ako plohu zakrenemo tako da nije okomita na silnice, broj se silnica, a time i magnetski tok, smanji. Zato magnetsko polje u tom slučaju množimo s površinom projekcije plohe na ravninu okomitu na silnice (slika 1.10.b.). Obilježimo li kut između plohe i njezine projekcije s α , površina projekcije plohe je $S \cos \alpha$, a magnetski tok:

$$\Phi = B S \cos \alpha.$$

Mjerna jedinica za magnetski tok jest veber ($\text{Wb} = \text{T m}^2$).

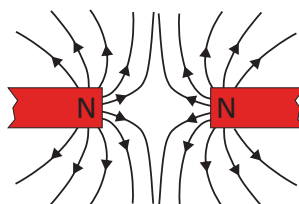


Slika 1.10. Magnetski tok maksimalan je kada su silnice okomite na plohu kroz koju prolaze (a.), a jednak nuli kada su silnice paralelne s plohom (c.).

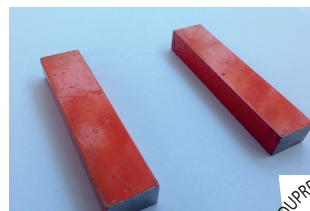
Magnetski tok može se mijenjati promjenom magnetskog polja, promjenom površine plohe i promjenom orijentacije plohe u odnosu na magnetsko polje. Kada je ploha paralelna sa silnicama, kroz nju ne prolaze silnice (slika 1.10.c.), stoga nema ni magnetskoga toka.

Pitanja:

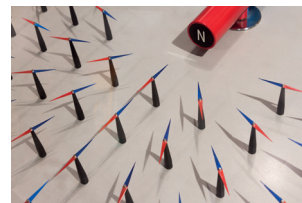
1. Zbog magnetskoga međudjelovanja, razmak se između dvaju magneta može smanjiti i povećati. Kako se u svakom od slučajeva promijeni iznos potencijalne energije magneta koju oni imaju zbog magnetskog međudjelovanja?
2. Hoće li magnet kada ga približimo elektroskopu proizvesti otklon igle elektroskopa?
3. Zašto igla kompasa ne leži točno na pravcu sjever-jug?
4. Mali nepomični magnet skriven je u tenisku loptu. Kako biste otkrili položaj sjevernog i južnog pola magneta u lopti?
5. Kada komad metala približimo magnetskom polu, javlja se privlačna sila. Kako biste ustanovili je li komad metala trajni magnet?
6. Je li ispravno reći da se magnetske silnice na slici međusobno odbijaju?



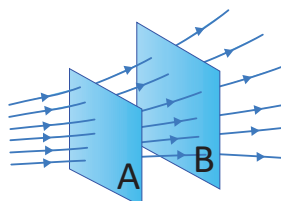
7. Posjeduješ dva metalna štapa identičnoga izgleda (slika). Kako ćeš otkriti radi li se o dvama permanentnim magnetima ili o jednom permanentnom magnetu i o željeznom predmetu?



8. Drugi naziv za magnetsko polje ($\vec{B}$) je gustoća magnetskog toka. Navedi izraz koji opravdava taj naziv.
9. Zašto je u blizini otočića Jabuke i Brusnika (zapadno od otoka Visa) kompas neupotrebljiv?
10. Što će se dogoditi s orijentacijama magnetskih igala na slici kada permanentni magnet sasvim udaljimo: postat će međusobno paralelne, međusobno okomite ili će biti nasumično orijentirane, svaka na svoju stranu?



11. Magnetske silnice prolaze kroz dvije plohe, A i B. Usporedi:
 - a. magnetsko polje i
 - b. magnetski tok kroz plohe A i B.



12. Kako možemo promijeniti magnetski tok ne mijenjajući magnetsko polje ni površinu plohe kroz koju prolaze silnice?



Wilhelm Weber (1804. – 1891.) njemački je fizičar. Proučavao je elektricitet i magnetizam. Skupa s Gaussom konstruirao je prvi telegraf na temelju djelovanja elektromagneta na inklinacijsku iglu. Po njemu je nazvana jedinica za magnetski tok.



UČENIČKI POKUS:

Istraži magnetom koje od hrvatskih kovanica imaju u svojem sastavu značajniji udio feromagnetskih materijala. Usporedi svoja opažanja sa službenim podacima o sastavu kovanica.



UČENIČKI POKUS:

Bočicu s dječjim uljem napuni željeznom piljevinom, protresi, približi magnet i promatraj magnetsko polje u prostoru. Fotodokumentiraj za različite oblike magneta. Ako imaš na raspolaganju feromagnetski fluid (slika), demonstriraj u razredu.



UČENIČKI POKUS:

Pomoću 6 prstenastih magneta napravi levitirajuću horizontalnu olovku.

UČENIČKI POKUS:

Nabavi samoljepljivu magnetsku traku, magnete u obliku prstena, diska, kocke i kugle i istraži gdje su njihovi magnetski polovi. Usporedi njihovu jakost brojeći koliko spajalica za papir može držati magnetska sila na polu.

UČENIČKI POKUS: PRAVILO DESNE RUKE

Otvori interaktivnu simulaciju na adresi:

<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=magnet-and-compass&locale=hr> i u izborniku lijevo odznači *Prikaži polje*, pa priloženim kompasom istraži oblik i smjer silnica magnetskog polja izvan i unutar magneta. Svoj rezultat možeš provjeriti tako da klikneš na *Prikaži polje* i *Unutar magneta*.

Zatim klikni na *Prikaži polje Zemlje* i istraži magnetsko polje izvan i unutar zemaljske kugle.

Alternativa: Na mrežnoj stranici <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/magnet-and-compass>

možeš otvoriti Java verziju simulacije koja radi brže. Klikni na TRANSLATIONS i naći ćeš simulaciju na hrvatskom jeziku.

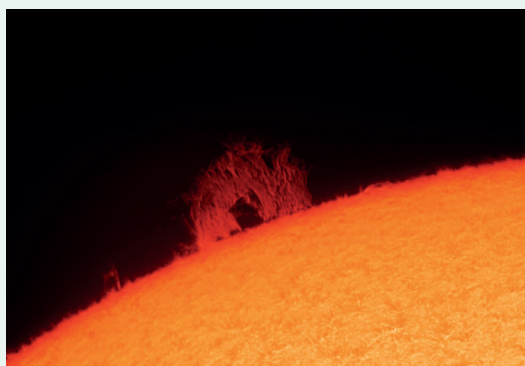
UČENIČKI POKUS: MAGNETIZAM KONZERVE

Pronađi konzervu koja nije dulje vrijeme pomicana. Polagano pomiči vertikalno okrenut kompas postrance niz limenku. Efekt je malen, ali primjetan: gornji dio limenke je slabi sjeverni, a donji dio limenke slabi južni pol. Pokušaj objasniti opaženo. Što bismo opazili da smo na južnoj Zemljinoj polutki?

UČENIČKI PROJEKT

Istraži i prezentiraj **ZANIMLJIVOSTI MAGNETIZMA** u tri točke:

1. Istraži deklinaciju u ovisnosti o geografskoj širini i dužini (prikaži krivulje jednake deklinacije). Otkrij kolika je deklinacija za mjesto u kojem živiš. Objasni na primjeru kompasa kako pronaći pravac (geografski) sjever-jug. Istraži kako se deklinacija mijenjala tijekom posljednjih 300 godina. Opiši preokretanje magnetskih polova Zemlje u prošlosti i način na koji su to znanstvenici otkrili. Opiši i prikaži kako nas magnetsko polje Zemlje štiti od Sunčeva vjetra.
2. Opiši ponašanje životinja koje reagiraju na magnetsko polje (životinje koje migriraju, termite).
3. Istraži magnetizam u svemiru. Komentiraj oblik Sunčevih prominencija (slika).



MEĐUPREDMETNA TEMA
**informacijska i
komunikacijska
tehnologija**

MEĐUPREDMETNA POVEZANOST
geografija
objašnjava posljedice
rotacije Zemlje

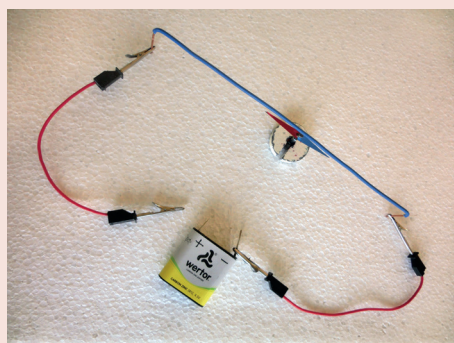
Magnetsko polje električne struje



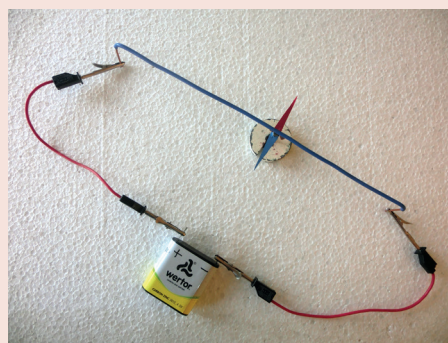
Donji dio dizalice prikazan na **slici 1.11.** označen brojem 2 povezan je s njezinim gornjim dijelom (broj 1) dvjema vezama, od kojih je jedna ostvarena lancem. Čime je ostvarena druga veza i koja je njezina svrha?

Neposredno iznad magnetske igle, koja se može okretati oko osi, postavimo ravni vodič (**slika 1.12.a.**). Uzdužna os igle i vodič leže na pravcu sjever-jug. Propustimo li vodičem struju, opažamo da se igla zakreće (**slika 1.12.b.**).

Opisani pokus poznat je kao **Oerstedov pokus**.



a.



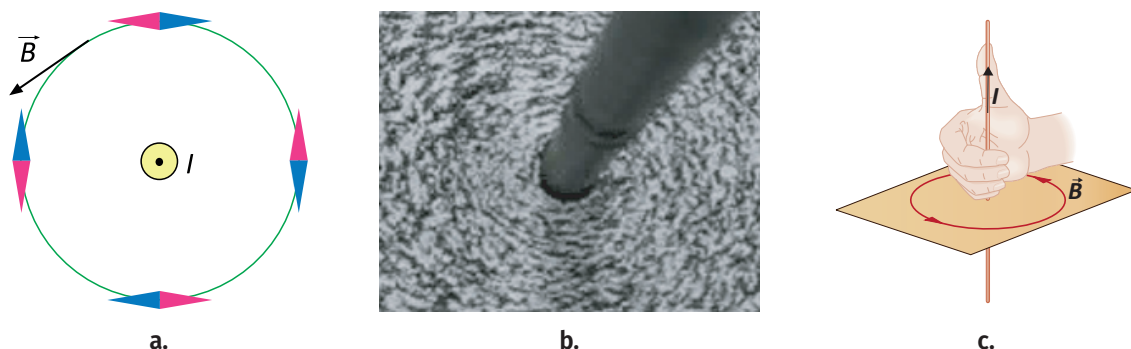
b.

Slika 1.12. Zakretanje magnetske igle u blizini vodiča kojim prolazi struja

Uzrok zakretanju igle je magnetsko polje, što znači da se **oko vodiča kojim prolazi struja javlja magnetsko polje**. Budući da je električna struja usmjereno gibanje nabijenih čestica, zaključujemo da svaka nabijena čestica pri gibanju stvara magnetsko polje. I magnetsko polje permanentnih magneta posljedica je gibanja nabijenih čestica u njima. Smatra se da je uzrok Zemljinu magnetskom polju gibanje nabijenih čestica u njezinu tekućem dijelu.

Magnetsko polje ravnoga vodiča. Oblik silnica magnetskoga polja ravnoga vodiča i orijentaciju magnetskog polja možemo odrediti pomoću magnetskih igala postavljenih oko vodiča. Na **slici 1.13.a.** prikazan je presjek vodiča koji je okomit na ravninu crtnje. Struja kroz vodič usmjerena je iz ravnine crtnje prema nama, što prikazujemo kružicom s točkom u središtu. Prema usmjerenosti magnetskih igala zaključujemo da su silnice kružnoga oblika. Igle su postavljene tangencijalno na silnicu, a njihovi sjeverni polovi pokazuju orijentaciju magnetskog polja. Silnice možemo vizualizirati pomoću željezne piljevine (**slika 1.13.b.**).

Znamo li usmjerenje struje kroz vodič, orijentaciju magnetskog polja možemo odrediti pravilom desne ruke. Ako palac desne ruke ispružimo da pokazuje usmjerenje struje, tada savijeni prsti pokazuju orijentaciju magnetskog polja (**slika 1.13.c.**).



Slika 1.13. Silnice magnetskoga polja ravnoga vodiča

O čemu ovisi iznos magnetskog polja ravnoga vodiča?

Budući da je struja uzrok magnetskom polju, očekujemo da bi magnetska indukcija morala ovisiti o struji, ali i o udaljenosti od vodiča. Pokusi i računi pokazuju da je magnetsko polje ravnoga vodiča proporcionalno struji (I), a obrnuto proporcionalna udaljenosti (r) od vodiča:

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

Konstanta proporcionalnosti (μ) ovisi o vrsti sredstva u kojem se nalazi magnetsko polje, a nazivamo je **permeabilnost** sredstva. Kada je magnetsko polje u vakuumu, permeabilnost je $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$. Permeabilnost sredstva umnožak je permeabilnosti vakuumu i relativne permeabilnosti sredstva (μ_r):

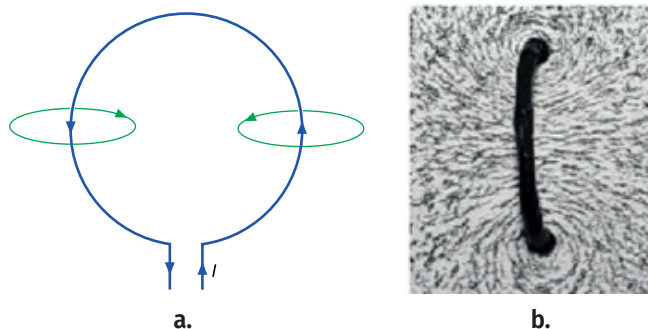
$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

Relativna permeabilnost zraka neznatno je veća od 1. U našim ćemo računima uzimati da je njezin iznos 1.

Magnetsko polje kružne petlje. Savijemo li vodič u petlju, dobit ćemo jače magnetsko polje jer se u petlji zbrajaju polja svih njezinih dijelova (**slika 1.14.**). Izraz za magnetsko polje u središtu kružne petlje glasi:

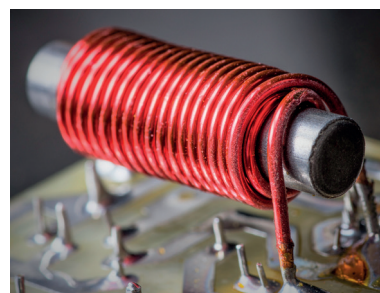
$$B = \mu \frac{I}{2R}$$

gdje je R polumjer petlje.



Slika 1.14. Magnetske silnice kružne petlje

Magnetsko polje zavojnice. Više petlji nanizanih jedna do druge čini zavojnicu. Dok zavojnicom prolazi struja, ona ima svojstva magneta i zovemo je **elektromagnetom**. Zavojnice koje se upotrebljavaju kao elektromagneti imaju jezgru od feromagnetične tvari, koja znatno povećava magnetsko polje zavojnice. (slika 1.15.)

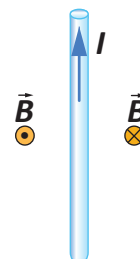


Slika 1.15. Elektromagnet

Izbjegni pogrešku!

Oznake „kružić s točkom“ i „kružić s križićem“ odnose se samo na usmjerenje struje.

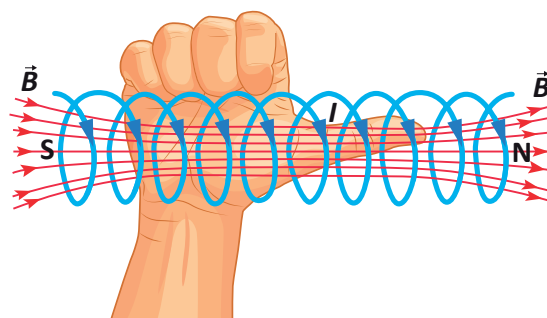
Te dvije oznake smiju se primijeniti na bilo koju usmjerenu veličinu. Tako **slika 1.13. a.** iz drugoga kuta izgleda kao na slici desno.



Magnetske silnice zavojnice možemo vizualizirati (**slika 1.16.a.**), a orijentaciju magnetskog polja odrediti desnom rukom. Kada savijeni prsti desne ruke pokazuju usmjerenje struje kroz namotaje, tada ispruženi palac pokazuje orijentaciju magnetskog polja u zavojnici. Budući da je vektor magnetskog polja unutar magneta usmjeren od južnog pola prema sjevernom, ispruženi palac pokazuje gdje je sjeverni pol (**slika 1.16.b.**).



a.



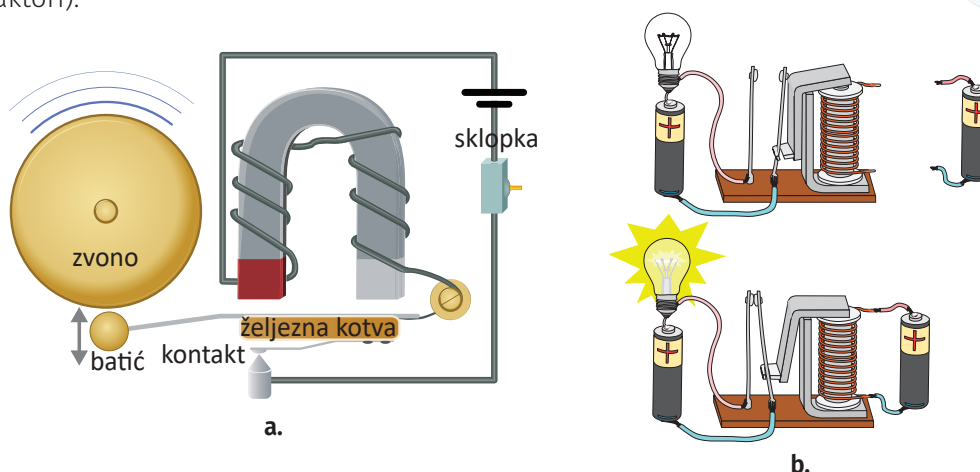
b.

Slika 1.16. Magnetsko polje zavojnice

Magnetsko polje u zavojnici proporcionalno je struji (I) i broju namotaja (N), a obrnuto je proporcionalno duljini zavojnice (l):

$$B = \mu \frac{NI}{l}$$

Elektromagneti se široko upotrebljavaju: u kućanstvu (zvučnik, električno zvono, elektromagnetski prekidač – čiji je rad prikazan na **slici 1.17.**), u tehnici i elektrotehnici (snimanje podataka na hard disk, dizalica, maglev vlak, elektromotori, generatori), medicini (magnetska rezonancija) i znanosti (ubrzivači, fuzijski reaktori).



Slika 1.17. Rad: **a.** električnoga zvona i **b.** elektromagnetskoga prekidača

Dizalica na **slici 1.11.** ima elektromagnet u donjem dijelu, a struja potrebna za njegov rad dolazi električnim kabelom (druga veza koja se spominje u uvodnom pitanju).

Primjer: Dva dugačka ravna vodiča međusobno su udaljena 12 cm. Kroz prvi vodič prolazi struja od 10 A, a kroz drugi 5 A. Struje su istoga usmjerenja.

- Koliki je iznos magnetskog polja na polovini razmaka među vodičima?
- Gdje između vodiča magnetsko polje iščezava?

Rješenje:

$$r = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$I_1 = 10 \text{ A}$$

$$I_2 = 5 \text{ A}$$

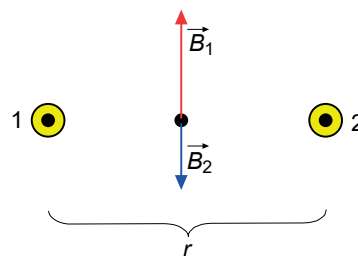
$$\text{a. } B = ?$$

Pravilom desne ruke nalazimo da su magnetska polja vodiča u promatranoj točki suprotnih orijentacija (**slika**), pa je rezultantno polje:

$$B = B_1 - B_2 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi \frac{r}{2}} - \mu_0 \frac{I_2}{2\pi \frac{r}{2}}$$

$$B = \frac{\mu_0}{\pi r} (I_1 - I_2) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}}{\pi \cdot 0,12 \text{ m}} \cdot (10 \text{ A} - 5 \text{ A})$$

$$B = 1,67 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$



b. $x = ?$

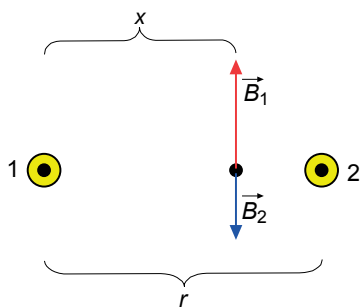
Magnetsko polje iščezava tamo gdje su magnetska polja vodiča jednakih iznosa i suprotnih orijentacija (**slika**):

$$B_1 = B_2$$

$$\mu_0 \frac{I_1}{2\pi x} = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi(r-x)}$$

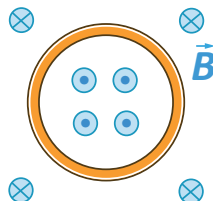
$$x = \frac{I_1 r}{I_1 + I_2} = \frac{10 \text{ A} \cdot 12 \text{ cm}}{10 \text{ A} + 5 \text{ A}}$$

$$x = 8 \text{ cm}$$

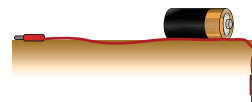
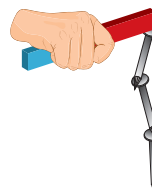


Pitanja:

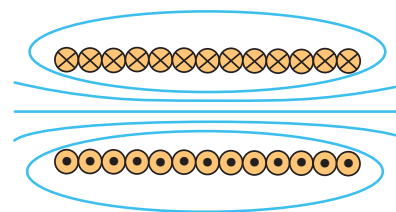
1. Pokušaj otkriti što više permanentnih magneta i elektromagneta u svom domu.
2. Hoće li se s povećanjem udaljenosti od ravnoga vodiča kojim prolazi struja gustoća magnetskih silnica povećati, smanjiti ili ostati nepromijenjena?
3. Je li struja u prikazanom prstenu usmjerena kao gibanje kazaljke na satu ili suprotno?



4. Ravnim vodičem i kružnom petljom prolaze struje jednakih iznosa. Usporedite iznos magnetskog polja u središtu kružne petlje s magnetskim poljem u točki kojoj je udaljenost od ravnoga vodiča jednaka polumjeru petlje.
5. Struje u dvama usporednim vodičima mogu imati isto usmjerenje i suprotna usmjerenja. U kojem je slučaju magnetsko polje u točki koja se nalazi između vodiča većeg iznosa?
6. Kako možemo povećati magnetsko polje u zavojnici ne mijenjajući iznos struje?
7. Kako biste pomoću promjenjivoga otpornika mijenjali iznos sile kojom elektromagnet privlači neki predmet?
8. Permanentni magnet privlači željezne čavle. Kako pomoću predmeta na slici postići da permanentni magnet odbija željezni čavao?



9. Na slici je presjek zavojnice s označenim usmjerenjem struje. Jesu li magnetske silnice unutar zavojnice usmjerene udesno ili ulijevo?



10. Pretpostavimo da ste se izgubili u šumi, ali imate sa sobom kompas. Nažalost, crvena boja koja označava sjeverni pol igle kompas se istrošila. Imate svjetiljku s baterijom i duži komad žice. Kako biste mogli otkriti sjeverni pol igle kompas?
11. Objasni rad električnoga zvona sa slike **1.17.a.** na str. 18.



Hans Christian Oersted (1777. – 1851.) danski je fizičar i kemičar. Najveće mu je otkriće da se oko vodiča kojim prolazi električna struja javlja magnetsko polje. Do otkrića je došao kada se magnetska igla slučajno našla blizu vodiča kojim je prolazila struja. Ustanovio je proporcionalnost električnoga otpora i temperature vodiča.

UČENIČKI POKUS: ELEKTROMAGNET

Napravi elektromagnet od vodiča i velikoga čavla. Zatim istraži kako promjena svakog od faktora koji možeš mijenjati utječe na jakost elektromagneta. Jakosti elektromagneta uspoređuj brojeći koliko spajalica za papir može držati pol elektromagneta ili, točnije, pomoću dinamometra.

UČENIČKI VIRTUALNI POKUS:

Otvori interaktivnu simulaciju na adresi

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mag_vodic&l=hr

i pomiči kompas oko vodiča kojim prolazi struja, provjeri pravilo desne ruke, ovisnost iznosa magnetskog polja o udaljenosti od vodiča i orijentaciju vektora magnetskog polja.

UČENIČKI PROJEKT*

Izmjeri horizontalnu magnetsku indukciju Zemljina magnetskoga polja. Na raspolaganju imaš kompas, ravnalo, strujnu petlju, izvor struje i ampermetar.

UČENIČKI PROJEKT

Smislite i napravite jednostavni model električnoga zvona.