1 Magnetske pojave

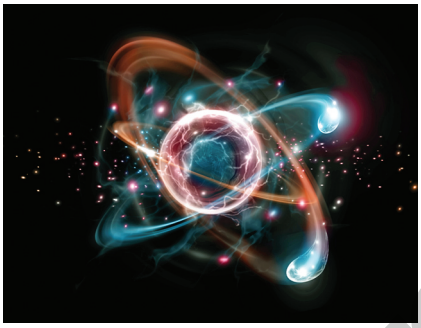
Što ću naučiti?

- opisati svojstva magneta
- opisati magnetsko polje
- definirati magnetski tok i magnetsku indukciju
- povezati nastanak magnetskog polja s gibanjem naboja
- usporediti permanentne magnete i elektromagnete
- objasniti vezu Ampèreove i Lorentzove sile
- analizirati gibanje električnog naboja u magnetskom polju
- opisati međudjelovanje vodiča kojima prolazi električna struja
- objasniti rad ciklotrona
- objasniti Faradayev zakon elektromagnetske indukcije
- ilustrirati primjene elektromagnetske indukcije
- objasniti svojstva istosmjerne i izmjenične struje

element.hr

1.1. Uvod

U ovom poglavlju počinjemo s izučavanjem magnetskih pojava. Električne pojave, kojima smo se ranije bavili, mogli smo razmatrati odvojeno od magnetizma. Međutim, magnetske su pojave neodvojive od elektriciteta, što upućuje na njihovu međusobnu duboku povezanost. Naučili smo da je izvor električnog polja električni naboj. Sada ćemo pokazati da izvor magnetskog polja nije magnetski naboj, koji ne postoji, nego *gibanje električnog naboja*, odnosno električna struja. S obzirom na to da je gibanje relativno, nije teško razumjeti zašto možemo promatrati električne pojave bez magnetskih, ali ne i magnetske bez električnih. Promatrač koji miruje u odnosu na električni naboj, opaža samo električno polje. Drugi promatrač koji se giba u odnosu na taj isti naboj, opaža magnetsko polje jer vidi naboj u gibanju, odnosno struju koja je izvor magnetskog polja, ali istodobno opaža i električno polje jer je naboj, bez obzira na gibanje, izvor električnog polja. Trajni magneti, predmeti koji privlače neka metalna tijela te privlače ili odbijaju druge magnete, samo naizgled imaju magnetizam bez elektriciteta.



Trajni magneti građeni su, kao i sva tvar oko nas, od atoma. Atomi su pak građeni od pozitivno nabijene jezgre i negativno nabijenih elektrona koji se gibaju oko jezgre. Dakle, gibanje elektrona oko jezgre je električna struja, odnosno izvor magnetskog polja. Zato atom ima magnetska svojstva. Svaki atom zapravo je mali magnet. Međutim, znamo da većina tvari nije magnetična. Tajna trajnih magneta koji ljude fasciniraju već tisućama godina, jest u tome što elementarni magneti nisu nasumično orijentirani, nego svi imaju smjer.

Gotovo u svim prilikama pozivat ćemo se na eksperimente, što je i razumljivo jer je eksperiment izvor spoznaja u fizici i drugim prirodnim znanostima. Samo eksperimentima provjeravamo teorije, odbacujemo ih ili prihvaćamo te na taj način širimo područje fizičkih znanja.

Pogled u kemiju

Magnetske pojave prvi su puta opažene prije više od 2500 godina. Magneti se rabe u navigaciji od 11. stoljeća, a magnetske materijale ljudi su dobivali iz željezne rude koja se zove magnetit i ima formulu Fe_3O_4. Magnetit je mineral crne boje, metalnog sjaja, visokog tališta i velike tvrdoće. Javlja se uz druge željezne rude, a u Europi su velika ležišta u Švedskoj.

Jedinstvo električnih i magnetskih pojava je nova unifikacija, ujedinjenje na prvi pogled potpuno različitih skupova pojava. Ona predstavlja začetak sasvim moderne ideje na kojoj je mnogo napravljeno u fizici krajem 20. stoljeća. Ujedinjenje svih međudjelovanja u jedinstvenu veliku teoriju možda nije daleko od ostvarenja. Više govora o tome bit će kasnije. Jedinstvo električnih i magnetskih pojava izraženo je na elegantan, ali matematički vrlo zahtjevan način u *Maxwellovim jednadžbama*. Maxwellove jednadžbe međusobno povezuju električna i magnetska polja te struje i naboje. I to nije sve. Pokazale su da je i svjetlost elektromagnetski val. Tako je i cijela optika (kojom ćemo se baviti na kraju ove knjige i na početku četvrtog razreda) ujedinjena s elektromagnetizmom. Izučavanje Maxwellovih jednadžbi nadmašuje naše interese, ali je zanimljivo da je početkom 21. stoljeća napravljena anketa o najvažnijim, najljepšim i najelegantnijim teorijama te da su Maxwellove jednadžbe pobijedile u tom svojevrsnom natjecanju.

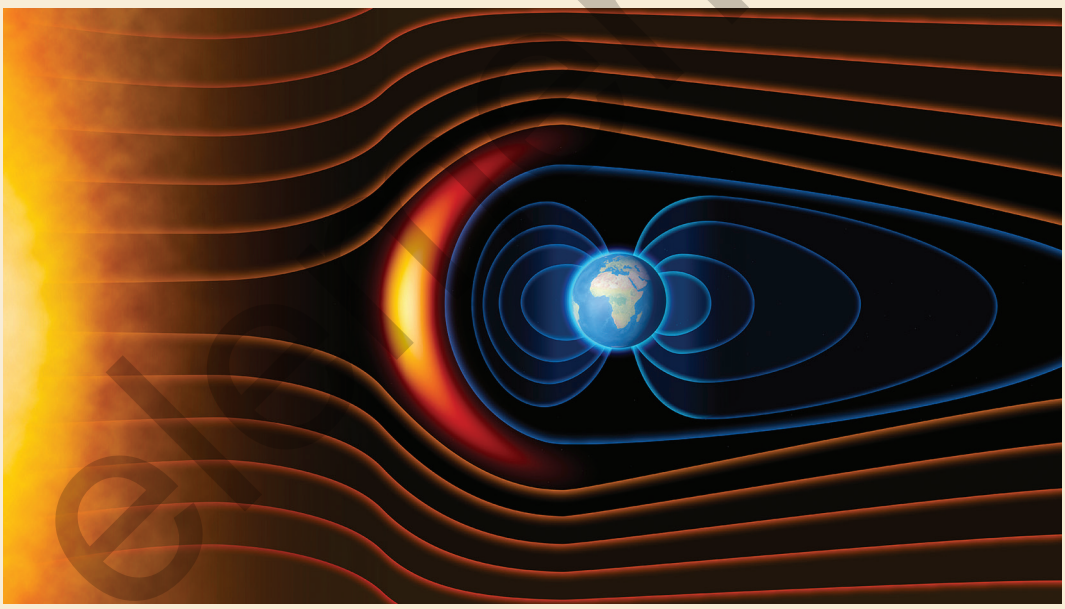
Svijet je danas nezamisliv bez primjene elektromagnetizma u tehnici, tehnologiji i svakodnevnom životu ne samo zbog električne struje kojom se već više od 100 godina koristimo za rasvjetu i pokretanje električnih strojeva. Elektromagnetizam je u pozadini naših pametnih telefona

element.hr

i računala koji su zadnjih desetak godina postali sveprisutni i nezaobilazni uređaji. Također, magnete koristimo u kompasima, zvučnicima i mikrofonima, tvrdim diskovima računala i kreditnim karticama. Jaki se magneti danas koriste za magnetsku levitaciju, skraćeno *maglev*. Prva pružna lebdeća vozila (tzv. maglev-vlakovi) konstruirana su 80-ih godina, a danas voze u Japanu, Kini, Americi, Njemačkoj i drugdje. Posebno jaki magneti, do 10 tesla, danas se izrađuju za medicinske uređaje (NMR) i laboratorijske eksperimente (primjerice LHC na CERN-u). No, jakost njihovih magnetskih polja zanemarivo je mala u usporedbi s najjačim magnetima u svemiru. Posebne vrste neutronskih zvijezda, *magnetari*, imaju jakost magnetskog polja veću od sto milijuna tesla.

Pogled u telekomunikacije

Zemljino magnetsko polje čini područje zvano magnetosfera i ono okružuje i štiti Zemlju. Od Sunca dolazi Sunčev vjetar – mlazovi nabijenih čestica poput elektrona, protona i α–čestica koje nalijeću na magnetosferu, deformiraju je (prikazano na slici), ali su zbog djelovanja Lorentzove sile skrenuti i time je njihovo razorno djelovanje bitno umanjeno. Magnetosfera prema tome predstavlja štit od takve opasnosti, ali u situacijama kada je Sunce izrazito aktivno, dolazi do poremećaja telekomunikacija što se posebno odnosi na letove zrakoplova, telekomunikacijske satelite, ali i upravljanje energetskim postrojenjima, komunikacije pametnim telefonima i prijenosu televizijske slike i radijskog programa. Efekt magnetosfere na Sunčev vjetar vidi se na sjevernim geografskim širinama kao polarna svjetlost – *aurora borealis*. Na južnoj Zemljinoj polutci javlja se *aurora australis* – južna polarna svjetlost.



elektronski

1.2. Magnetske pojave

Ključni pojmovi

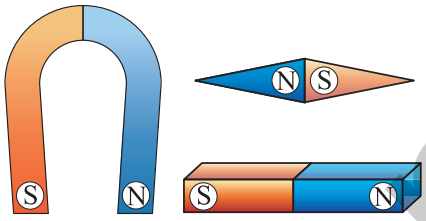
- magnet
- magnetsko polje
- kompas
- elektromagnet
- magnetski pol
- silnice magnetskih polja
- magnetski tok
- Lorentzova sila
- elektromagnetska indukcija
- Lenzovo pravilo
- samoindukcija
- izmjenična struja
- efektivne vrijednosti
- kapacitivni otpor
- induktivni otpor
- razlika faza
- impedancija
- Thomsonova formula
- transformator

Pokusi s permanentnim ili trajnim **magnetima** pokazuju da se, kada je drugi permanentni magnet doveden u područje prvog, među njima javlja sila koja ih pokušava privući, odbiti ili zaokrenuti. Situacija je slična onoj kada smo kod električnih naboja uveli električno polje. I ovdje kažemo da se oko permanentnog magneta stvara polje, **magnetsko polje**, čijem izučavanju posvećujemo sljedeće stranice.

Magnet je predmet koji u prostoru oko sebe stvara magnetsko polje.

Magnetsko polje je vektorska veličina, svojstvo u prostoru koje izvire iz električne struje.

Permanentni magneti mogu biti raznih oblika i veličina (slika 1.1). Crvena i plava boja koje se rabe za bojenje krajeva magneta upućuju na to da se krajevi magneta međusobno razlikuju. Vjeruje se da je Petrus Peregrinus de Maricourt, francuski istraživač iz 13. stoljeća, bio prvi koji je izučavajući magnete primijetio da postoje dva različita kraja magnetskih materijala. On je dao opis magnetskog **kompasa** i nazvao polove imenima sjeverni (N) i južni (S). Njegova je promatranja Gilbert, kojeg smo spominjali i pri izučavanju električkih pojava, ugradio u svoju poznatu knjigu *De Magnete* iz 1600. godine.



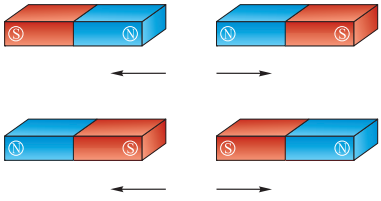
Sl. 1.1. Magneti se izrađuju u raznim oblicima, kao potkove, štapići ili magnetske igle. Sjeverni magnetski pol (N) dogovorno se boji plavo, a južni (S) crveno.

Kompas je uređaj koji s pomoću magnetne igle pokazuje smjer sjever-jug.

Zasad govorimo o permanentnim magnetima, odnosno o predmetima koji imaju stalna magnetska svojstva. Postoje i **elektromagneti** koji nastaju prolaskom električne struje, a isključivanjem struje magnetizam nestaje. Njih ćemo također upoznati.

Sl. 1.2. Raznoimeni polovi dvaju magneta privlače se.

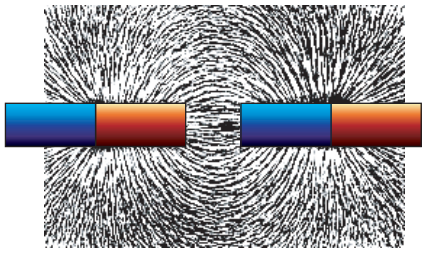
Elektromagnet je predmet koji postaje magnetom u prisutnosti električne struje. Najčešće je to izolirana žica namotana oko željezne jezgre.



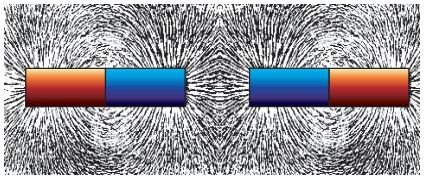
Sl. 1.3. Istoimeni polovi dvaju magneta odbijaju se.

Zanimljivo je razmotriti odnose sjevernog (N) i južnog (S) **magnetskog pola**. Slike 1.2 i 1.3 pokazuju različitost privlačenja i odbijanja magneta. Pokusi pokazuju da permanentni magnet privlači i željezne predmete, iako oni sami po sebi ne pokazuju magnetska svojstva. Materijale koji pokazuju izrazita magnetska svojstva, odnosno koje privlače permanentni magneti, nazivamo feromagneticima. Ovdje smo naglasili riječ "izrazito" jer svi materijali pokazuju magnetska svojstva, ali ona su kod neferomagnetičnih materijala previše slaba da bi ih se moglo primijetiti bez preciznih instrumenata.

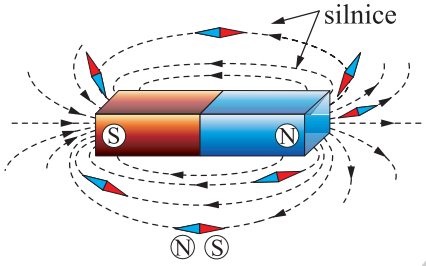
element.hr



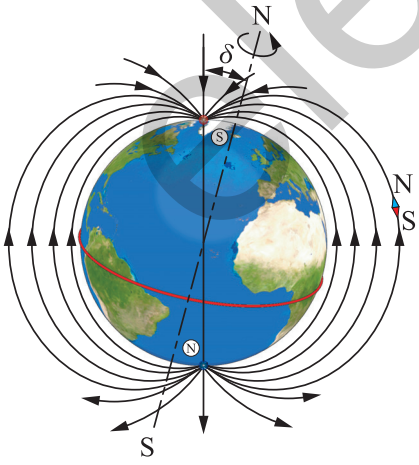
Sl. 1.4. Željezna strugotina u blizini dvaju raznoimenih polova magneta



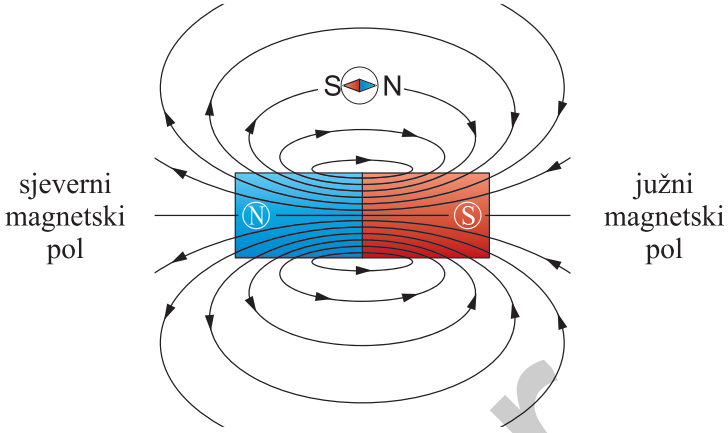
Sl. 1.5. Željezna strugotina u blizini dvaju istoimenih polova magneta



Sl. 1.6. Silnice magnetskog polja štapićastog magneta. Magnetska igla prati smjer silnica što je detaljnije opisano na slici 1.10

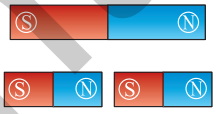


Sl. 1.7. Zemljini magnetski polovi ne poklapaju se s geografskim polovima. Os koja prolazi kroz geografske polove nagnuta je u odnosu na os koja prolazi kroz magnetske polove. Sjeverni geografski pol leži u blizini južnog magnetskog pola i obrnuto.



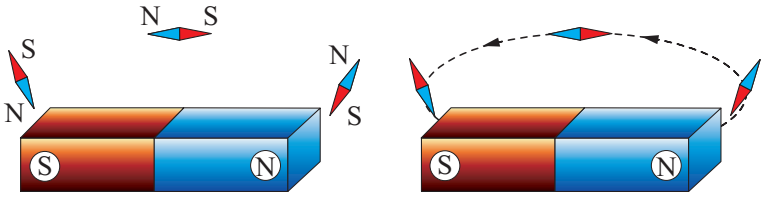
Sl. 1.8. Silnice magnetskog polja zamišljene su linije kojima opisujemo magnetsko polje. One dogovorno izviru iz sjevernog magnetskog pola, a poniru u južni magnetski pol.

Magnetski pol je jedan od dvaju krajeva magneta. U prirodi postoje samo magnetski dipoli – magneti s dvama polovima. Ne postoje magnetski monopoli – magneti sa samo jednim polom.



Sl. 1.9. Ako prepolovimo magnet, nećemo dobiti dva odvojena pola, nego dva manja magneta od kojih svaki ponovno ima sjeverni i južni pol.

Pokusi sa željeznom strugotinom prema slikama 1.4 i 1.5 pokazuju da su **silnice magnetskog polja** zatvorene krivulje koje po definiciji izlaze iz sjevernog pola (N) i ulaze u južni pol (S) te se zatvaraju, kako je prikazano na slici 1.8. Magnetna igla (slika 1.6) također pokazuje smjerove silnica štapićastog magneta. Na taj se način magnetsko polje znatno razlikuje od električnog jer kod električnog polja ili imamo samo "izvor" silnica (nakupina " + " naboja) ili imamo samo "ponor" silnica (nakupina " – " naboja). Kod magnetskog polja nema samo izvora magnetskog polja ili samo ponora, nego se oni uvijek javljaju zajedno, uvijek imamo samo magnetski dipol, dva pola, izvor i ponor zajedno. Ta asimetrija u odnosu na električno polje eksperimentalna je činjenica ugrađena u zakone elektromagnetskog polja.



Sl. 1.10. Probni magnet (magnetna igla) pokazuje smjer magnetskog polja velikog magneta. Sjeverni pol probnog magneta okreće se prema južnom polu velikog magneta.

Silnice magnetskog polja su zamišljene linije koje prikazuju magnetsko polje. Tangenta na silnicu pokazuje smjer magnetskog polja, a gustoća silnica razmjerna je iznosu polja.

element.hr

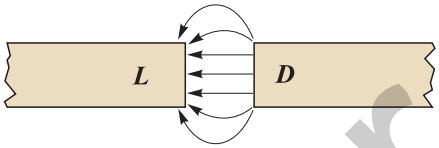
Konceptualni zadatak 1. Na slici su djelomično prikazani krajevi dvaju štapićastih magneta. Prema slici možemo kazati da za lijevi L i desni D vrijedi:

a) L je S (južni) pol, D je N (sjeverni) pol magneta

b) L je N (sjeverni) pol, D je N (sjeverni) pol magneta

c) L je S (južni) pol, D je S (južni) pol magneta

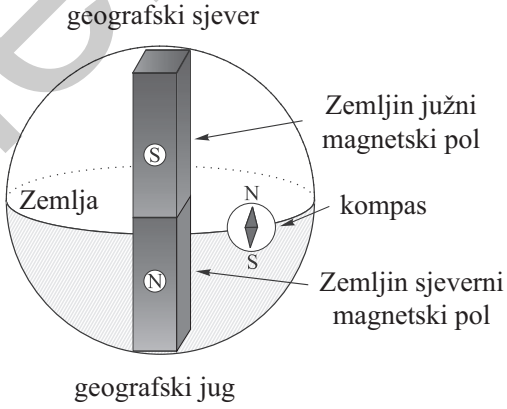
d) L je N (sjeverni) pol, D je S (južni) pol magneta.



Ranije spomenuti kompas povezan je s magnetskim poljem Zemlje koja sama predstavlja permanentni magnet. Geografske karte uvijek imaju ucrtan smjer sjevera pa se možemo lako orijentirati s pomoću karte i kompasa jer kompas pokazuje pravac sjever-jug. Kompas je vrlo koristan i pri određivanju smjera magnetskog polja trajnog magneta (slike 1.6 i 1.10). Prema slici 1.7, blizu sjevernog geografskog pola nalazi se Zemljin južni magnetski pol. Nagib magnetske osi prema osi rotacije, koji je označen sa δ na slici, otprilike iznosi $11.3°$. Na slici 1.11 slikovito je prikazana inverzna situacija sa Zemljinim magnetskim polovima.

Zanimljivost

Geološka istraživanja bazaltnih stijena i skrućene lave pokazuju da je u prošlosti dolazilo do preokretanja magnetskih polova Zemlje. Sjeverni magnetski pol premjestio se na južni, a južni na sjeverni. Neka istraživanja pokazuju da se takva reverzija geomagnetskih polova zadnji put dogodila prije 780 000 godina. Uzrok i mehanizam takvih pojava nije sasvim jasan.



Sl. 1.11. Shematski prikaz orijentacije kompasa s obzirom na Zemljine magnetske polove

Pogled u geofiziku

Zemljino magnetsko polje

Vjeruje se da Zemljino magnetsko polje nastaje kao posljedica gibanja naboja u Zemljinoj dubini. Valovi nastali nakon potresa i drugi pokazatelji sugeriraju da Zemlja ima čvrstu jezgru polumjera oko 1200 km koja je okružena tekućim slojem debljine oko 2200 km. On se sastoji od željeza i nikla koji se kreću kako Zemlja rotira i stvaraju električne struje koje proizvode magnetsko polje. Te struje nisu sasvim istražene i ostaje još mnogo otvorenih pitanja vezanih uz Zemljin magnetizam. Mjerenja svemirskih letjelica pokazuju da i drugi planeti imaju magnetska polja. Jupiter, primjerice, ima jače magnetsko polje od Zemlje. On rotira brže od Zemlje, no on nema željeznu koru. Da je brzina rotacije povezana s veličinom magnetskog polja, pokazuje Venera koja sporije rotira od Zemlje i ima slabije magnetsko polje.

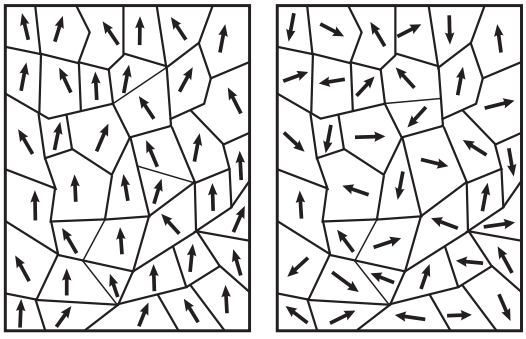
element.hr

Sve navedene činjenice povezane s magnetima vrlo je lako eksperimentalno utvrditi i provjeriti, čak i izvan laboratorija.

Rezimirajmo sada spoznaje opisane u našim dosadašnjim razmatranjima magnetskih pojava.

- Permanentni magneti uvijek posjeduju dva pola – sjeverni (N) i južni (S). Bojenjem sjevernog pola plavom i južnog pola crvenom bojom najčešće se označavaju polovi permanentnog magneta.
- Kada se dva permanentna magneta približe, istoimeni se polovi odbijaju, a raznoimeni privlače.
- Magneti se uvijek u prirodi javljaju kao dipoli, dakle uvijek imaju oba pola. Ne postoji magnetski monopol, predmet ili materijal koji ima samo južni ili samo sjeverni pol. Kada se štapićasti magnet slomi na dva dijela, tada nastaju dva nova štapićasta magneta od kojih svaki ima svoj sjeverni i južni pol.
- Magnetska svojstva pokazuju gotovo svi materijali, ali je magnetske učinke kod većine materijala teško uočiti.
- Magneti privlače i nemagnetizirane materijale koje zovemo feromagnetici. Feromagnetični elementi su željezo, kobalt, nikal i gadolinij te niz spojeva koji uključuju te elemente. Feromagnetični materijali mogu se magnetizirati i postati permanentni magneti.

Na slici 1.12 vidimo objašnjenje formiranja permanentnog magneta. Unutar materijala – feromagnetika postoje tzv. magnetske domene, a u svakoj postoji elementarni magnet koji može biti orijentiran pod djelovanjem vanjskog polja. Na lijevoj su slici elementarni magneti orijentirani uglavnom prema gore, njihov vektorski zbroj daje rezultantni učinak i lijevi uzorak posjeduje svojstva permanentnog magneta. Na desnoj su slici elementarni magneti orijentirani kaotično i ukupni učinak je nepostojanje magnetskih svojstava permanentnog magneta. Pri zagrijavanju materijala lijevi bi uzorak zbog pojačanog titranja kristalne rešetke, odnosno zbog poremećaja magnetskih domena, izgubio svoja magnetska svojstva. Slično bi se dogodilo kada bismo, primjerice, čekićem udarali po uzorku. Domene bi se poremetile i učinak permanentnog magneta također bi bio izgubljen.



Sl. 1.12. Magnetske domene na lijevoj slici približno su orijentirane u istom smjeru (dolje-gore) pa se tvar ponaša kao magnet. Magnetske domene na desnoj slici orijentirane su nasumično pa se tvar ne ponaša kao magnet.

element.hr

Pogled u informacijsku tehnologiju

Kvantna računala

U okviru kvantnih tehnologija intenzivno se radi na realizaciji kvantnog računala gdje se bitovi 0 i 1 javljaju u posebnom stanju koje zovemo superpozicija. Bitove 0 i 1 moguće je realizirati s pomoću magnetskih svojstava elektrona koji na određen način predstavljaju male magnete pa ih je moguće s pomoću (vanjskog) magnetskog polja orijentirati u jednom (0) ili drugom (1) smjeru. Tako se makroskopska magnetska svojstva s pomoću magnetskog polja mogu mikroskopski kontrolirati te se mogu zapisivati stanja i naredbe koje omogućuju kvantne mreže i kvantne algoritme. Vjeruje se da će kvantna računala nadmašiti "klasična" u brzini, ali i u obavljanju nekih zadaća koje klasičnim računalima nisu dostupne.

Konceptualni zadatak 2. Magneti se izrađuju od:

a) rude koja ima mangezija u spoju MgO
b) rude u kojoj se nalazi element magnetit
c) rude željeza koja ima formulu Fe_3O_4 i zove se magnetit
d) slitina različitih metala koji se naknadno magnetiziraju.

Konceptualni zadatak 3. Permanentni magnet u obliku štapa razreže se na dva dijela. Tada vrijedi:

a) nastali komadi su demagnetizirani, tj. ne pokazuju magnetska svojstva
b) magnetsko polje svakog magneta postaje jače
c) rastavljanjem magneta javlja se električno polje
d) svaki komad nosi jedan pol: jedan sjeverni, a drugi južni
e) nastaju dva nova magneta svaki sa svojim sjevernim i južnim polom.

Pogled u gospodarstvo

Pružna lebdeća vozila (maglev-vlakovi)

Riječ maglev je svojevrsna kratica nastala od dviju riječi – magnetski i levitacija tj. lebdenje. Dakle, radi se o magnetskoj levitaciji – magnetskom lebdenju na osnovu kojeg su konstruirani vlakovi koji formalno lebde iznad jakih elektromagneta. Na taj se način olakšava transport, jedna od bitnih komponenata suvremenih gospodarstava, pri čemu su troškovi transporta jedna od važnih komponenata procjene troškova proizvodnje i transporta nekog proizvoda. Velika prednost maglev-vlakova jest u tome da oni nemaju uobičajene motore, nema pomičnih dijelova, već se gibanje kontrolira elektromagnetima, tj. odbijanjem istoimenih polova. Na taj se način postižu goleme brzine, a troškovi su relativno mali jer nema trenja, a nema ni ovisnosti o atmosferskim prilikama. Jedino ograničenje, odnosno problem jest otpor zraka pri velikim brzinama tako da se razmišlja i o vlakovima koji bi se kretali u vakuumu. Poznati su maglev-vlakovi u Japanu, Kini, J. Koreji, Francuskoj itd.

Dodatni sadržaj – pokus
ele-udzbenik.hr

element.hr

1.3. Magnetski tok i magnetska indukcija

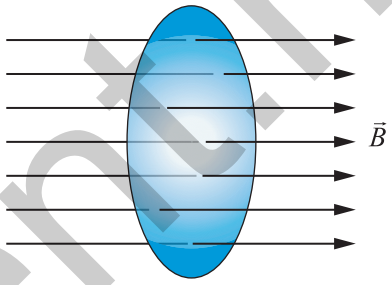
Sljedeći korak u istraživanju magnetnih pojava uvođenje je mjerljivih fizičkih veličina koje imaju zadatak na kvantitativan način prikazati ranije opisane eksperimentalne činjenice.

Za opis magnetskog polja uvodi se vektorska veličina – gustoća magnetskog toka ili magnetska indukcija, iako se rabi i jednostavniji naziv magnetsko polje. Znak za tu veličinu je $\vec{B}$ i ona je često prikazana magnetskim silnicama, isto kao što je vektor jakosti električnog polja bio prikazan električnim silnicama. Uobičajeno je da gustoća silnica sugerira jače magnetsko polje, odnosno veći vektor gustoće magnetskog toka. Jedinica za gustoću magnetskog toka ili magnetskog polja B je tesla, T.

Napomena

Gustoća magnetskog toka ili magnetska indukcija?

Fizičku veličinu $\vec{B}$, čija je SI jedinica tesla, iz povijesnih razloga nazivamo gustoćom magnetskog toka. Postoje još dva naziva za tu fizičku veličinu: magnetska indukcija i magnetsko polje. Mi ćemo u ovom tekstu rabiti naziv magnetsko polje ili gustoća magnetskog toka, prema kontekstu.



Sl. 1.13. Prikaz magnetskog toka

Jakost magnetskog polja u nekom području možemo istražiti i tako da promatramo kako kroz neku površinu S prolazi magnetsko polje, gustoća magnetskog toka $\vec{B}$, kao na slici 1.13. Ako je gustoća silnica svuda jednaka, tada govorimo o homogenom magnetskom polju. Možemo zamisliti da silnice buše rupe u površini. Broj rupa koje silnice probuše odgovara gustoći silnica. Što je više rupa na nekoj površini, to je gustoća magnetskih silnica veća. Broj svih silnica koje prolaze kroz neko područje odgovara **magnetskom toku** koji označavamo sa Φ. Jasno je da će magnetski tok Φ biti veći ako je magnetsko polje jače. Također će biti veći ako je veća površina S koju moraju probiti magnetske silnice.

Napomena

Magnetsko polje ili magnetizirajuće polje?

Fizička veličina $\vec{H}$ je vektorska veličina koja je jednaka gustoći magnetskog toka podijeljenoj s magnetskom permeabilnošću sredstva,

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu},$$

a njezina jedinica SI je amper/metar. Postoje još dva naziva za tu fizičku veličinu: magnetizirajuće polje i magnetsko polje. Mi ćemo naziv magnetsko polje rabiti za $\vec{B}$.

Stoga možemo napisati dvije proporcionalnosti:

$$\Phi \propto B \quad \text{i} \quad \Phi \propto S.$$

Iz gornjih proporcionalnosti možemo napisati zajedničku jednakost:

$$\Phi = B \cdot S.$$

Ta jednakost definira magnetski tok. Jedinica za magnetski tok jednaka je umnošku jedinice za gustoću magnetskog toka B (tesla) i jedinice za površinu m^2, ali je zbog svoje važnosti dobila poseban naziv – veber (Wb). Vrijedi:

$$1 \text{ veber} = 1 \text{ tesla} \cdot 1 \text{ m}^2$$
$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Tm}^2$$
$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Wbm}^{-2}.$$

Pogled u matematiku

Površina neke plohe u matematici je vektor. Iznos tog vektora odgovara iznosu površine, a smjer je definiran okomito na plohu, prema van.

element.hr

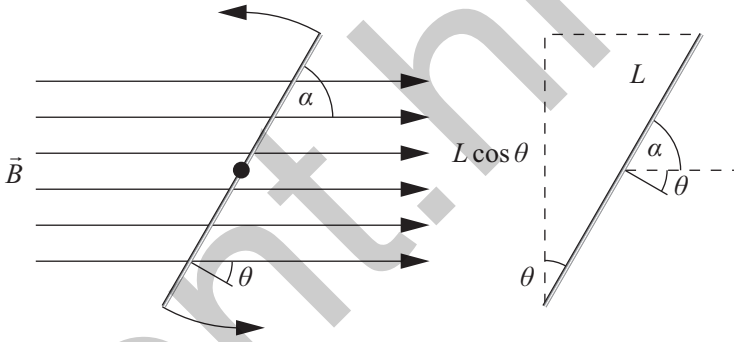
Fizičari

Nikola Tesla (1865. – 1943.) veliki je hrvatski izumitelj. Otkrio je magnetsko polje na temelju kojeg je napravio prvi elektromotor na izmjeničnu struju. Među brojnim Teslinim otkrićima neizostavni su još višefazni sustav izmjeničnih struja i transformator sa željeznom jezgrom. Njemu u čast jedinica magnetske indukcije nosi naziv tesla.

Vidimo da je iznos vektora gustoće magnetskog toka moguće napisati na sljedeći način:

$$B = \frac{\Phi}{S}.$$

Međutim, sve navedeno točno je tako dugo dok je površina orijentirana tako da sve silnice padaju okomito na nju, kao što je prikazano na slici 1.13. Ako se površina nalazi ukoso prema silnicama magnetskog polja, kao na slici 1.14, gdje je prikazan pogled odozgo, tada se vidi da je tok jednak nuli kada je kut α na slici jednak nuli. Međutim, uobičajeno je mjeriti kut θ koji predstavlja kut između okomice na površinu i smjera vektora magnetskog polja $\vec{B}$. Kada je kut θ jednak nuli, magnetski je tok maksimalan jer je površina orijentirana kao na slici 1.13.



Sl. 1.14. Prolaz silnica magnetskog polja kroz rotirajuću površinu.

Pogled u matematiku

U trigonometriji učimo da je:

$\sin 90° = 1$ $\quad$ $\sin 0° = 0$

$\cos 90° = 0$ $\quad$ $\cos 0° = 1$

$\sin 30° = \frac{1}{2}$ $\quad$ $\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$ $\quad$ $\cos 60° = \frac{1}{2}$

$\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ $\quad$ $\cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$

Kada je kut θ jednak $\frac{\pi}{2}$, odnosno 90°, tada je magnetski tok jednak nuli. U trigonometriji učimo da je trigonometrijska funkcija kosinus upravo ona funkcija koja zadovoljava gornje ponašanje, pa možemo konačno napisati:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\theta,$$

gdje je:

B – iznos vektora gustoće magnetskog toka ili magnetskog polja
S – iznos površine
θ – kut između okomice na površinu i smjera vektora gustoće magnetskog toka.

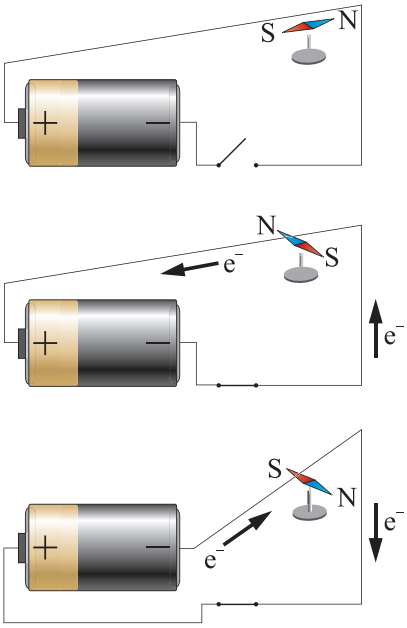
Magnetski tok jednak je umnošku iznosa vektora gustoće magnetskog toka B, površine S i kosinusa kuta između okomice na površinu i smjera vektora magnetskog polja $\vec{B}$.

Konceptualni zadatak 4. Neke fizičke jedinice su metar – m, veber – Wb, tesla – T, amper – A i kulon – C. Od tih jedinica može se složiti jedinica za gustoću magnetskog toka B. Koja se od ponuđenih kombinacija traži?

a) Wb i T **b)** $\mathrm{Wbm^{-2}}$ i T **c)** T i $\mathrm{Am^{-1}}$
d) $\mathrm{AC^{-2}}$ i Wb **e)** $\mathrm{Am^{-2}}$ i T.

element.hr

Oerstedov pokus



Sl. 1.15. Magnetna se igla otklanja kad magnetsko polje struje u blizini vodiča nadjača Zemljino magnetsko polje.

Istraživanja magnetizma su do početka 19. stoljeća bila u okvirima ovog što smo dosad govorili o permanentnim magnetima. Godine 1820. Hans Christian Oersted, danski fizičar, napravio je javni pokus u kojem je pokazao iznenađujuću pojavu – električna struja stvara magnetsko polje. Time je započeo istraživanja područja koje danas nazivamo elektromagnetizmom. Radi se o skupinama pojava elektriciteta i magnetizma koje se prožimaju i prelaze međusobne granice. Sljedeći korak – stvaranje električne struje utjecajem magnetskog polja – zaokružio je veliku cjelinu koja je omogućila golem tehnički i tehnološki napredak u sljedećem stoljeću.

Oersted je na javnom predavanju obavljao pokuse sa strujama i magnetima. Izvor struje bio je galvanski članak, baterija, sličan onom koji je konstruirao Volta. On je malo iznad magnetske igle, koja je pokazivala prema sjeveru, postavio vodič i spojio ga s baterijom. Kada je struja potekla, magnetska igla postavila se okomito na vodič, na smjer struje, odnosno okomito na prethodni pravac sjever-jug. Kada je isključio struju, igla se vratila u početni položaj pokazujući sjever. Zatim je promijenio smjer struje, a igla se ponovno postavila okomito na smjer vodiča, ali je sada pokazivala u suprotnom smjeru od prethodnog (slika 1.15).

U svom je pokusu Oersted otkrio da električni naboj u gibanju proizvodi magnetsko polje, odnosno da je magnetizam svojstvo naboja u gibanju.

Konceptualni zadatak 5. Hans Christian Oersted ima dva imena. Ta ista dva imena ima i

a) kompozitor Mozart
b) matematičar i fizičar Gauss
c) kompozitor Bach
d) pisac i pjesnik Goethe
e) pisac Andersen.

Fizičari

Hans Christian Oersted (1777. – 1851.) danski je fizičar. 1820. godine prvi je pokazao stvaranje magnetskog polja prolaskom električne struje kroz vodič.

Oko mirnog naboja imamo električno polje, a oko naboja u gibanju imamo i električno i magnetsko polje. Električno polje određeno je električnim nabojem čestice, a magnetsko se polje mijenja kako se mijenja brzina čestice, odnosno ono ne postoji ako čestica miruje. Možemo kazati da je magnetsko polje svojstvo u prostoru oko naboja koji se giba.

Smjer magnetskog polja oko ravnog vodiča kojim teče struja možemo utvrditi s pomoću magnetne igle. Oerstedov pokus pokazuje da je smjer magnetskog polja okomit na vodič kojim teče struja što je proizvela magnetsko polje. Da je, primjerice, Oersted stavio magnetnu iglu iznad vodiča, smjer otklona bio bi suprotan, odnosno smjerovi otklona na zadnja dva crteža na slici 1.15 bili bi zamijenjeni. Pomnim pokusima utvrđeno je da je magnetsko polje oko vodiča u obliku koncentričnih kružnica (slike 1.16). Potrebno je prisjetiti se da je smjer magnetskog polja "iz sjevernog pola". To znači da je smjer magnetskog polja, točnije smjer vektora $\vec{B}$, na slici 1.16 suprotan smjeru kazaljke na satu, u skladu sa strelicama na koncentričnim kružnicama. Jedna određena kružnica znači da je gustoća magnetskog toka $\vec{B}$ duž nje stalna po iznosu i da $\vec{B}$ stalno mijenja smjer, a kako raste polumjer, $\vec{B}$ postaje sve slabiji.

element