



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Obrada tematske jedinice:  
Osobine magnetnog polja – stalni magneti  
- diplomski rad -

Mentor:  
dr Dušanka Obadović

Kandidat:  
Vasić Dragan

Novi Sad, 2007.

---

*Prilikom izbora teme za diplomski rad i određivanja njegove koncepcije, kao i pri izboru eksperimenata, imao sam veliku pomoć svog mentora prof. dr Dušanke Obadović.*

*Zahvaljujem mentoru na predloženoj temi i korisnim sugestijama tokom izrade ovog diplomskog rada.*

---

# S A D R Ž A J

1. UVOD.....	1
2. OPŠTA TEORIJA MAGNETIZMA .....	2
2.1. Istorijat magnetizma .....	2
2.2. Magnetostatika.....	3
2.3. Magnetizam kao posledica kretanja naelektrisanja .....	6
2.3.1. Elektromagnetna sila.....	6
2.3.2. Magnetno polje u vakuumu.....	9
2.3.3. Magnetno polje u supstancijama.....	11
2.3.3.1. Veličine koje karakterišu magnetno polje u supstanciji .....	12
2.3.3.2. Dijamagnetici.....	15
2.3.3.3. Paramagnetici .....	16
2.3.3.4. Feromagnetici .....	17
2.4. Magnetno polje Zemlje.....	22
3. TEMATSKA JEDINICA: OSOBINE MAGNETNOG POLJA – STALNI MAGNETI .....	24
3.1. Opšte metodičke napomene .....	24
3.1.1. Nastavne metode, oblici i sredstva.....	25
3.1.2 Struktura i tok časa.....	25
3.2. Jednostavni eksperimenti u nastavi – stalni magneti .....	27
3.2.1. Polovi magneta i njihovo uzajamno delovanje .....	27
3.2.2. Dobijanje veštačkih magneta .....	28
3.2.3. Magnetno polje i magnetne linije sile .....	30
3.2.4. Uticaj sredine na magnetno polje.....	31
3.2.5. Uticaj temperature na magnet .....	32
3.2.6. Uticaj mehaničkih potresa na magnet .....	33
3.2.7. Magnetno polje Zemlje .....	34
3.2.8. O čuvanju magneta.....	36
3.3. Osobine magnetnog polja stalnih magneta .....	37
3.4. Primena stalnih magneta.....	37
4. ZAKLJUČAK.....	39
5. LITERATURA .....	40
KRATKA BIOGRAFIJA KANDIDATA .....	41
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	42

## **1. UVOD**

Ovaj rad predstavlja prikaz jednog od mogućih načina obrade tematske jedinice o magnetnom polju stalnih magneta. To znači da je pored objašnjenja pojave magnetizma, posebna pažnja u radu posvećena metodama koje se koriste u nastavi fizike. Rad je napisan tako da se može koristiti kao osnova za pisanje pripreme za nastavne časove na kojima se obrađuje magnetno polje stalnih magneta, kako u VIII razredu osnovne škole, tako i u II razredu srednje škole.

Posle uvodnog dela, prikazana je opšta teorija magnetizma, kao i funkcionalne zavisnosti između fizičkih veličina koje opisuju magnetne pojave. Za razumevanje pojave magnetizma, od posebnog značaja su način i redosled definisanja fizičkih veličina kojima se opisuje magnetno polje stalnih magneta. Magnetne pojave objašnjene su na osnovu uprošćenih modela, bez kvantno-mehaničkih efekata. Ideja jeste detaljno objašnjenje pojave magnetizma, ali na nivou koji bi mogli razumeti učenici II razreda gimnazije prirodnog smera. Objašnjenje zasnovano na Veberovoj molekularnoj teoriji sasvim je prihvatljivo za uzrast VIII razreda osnovne škole.

U trećem delu rada, date su opšte metodičke napomene vezane za obradu tematske jedinice o stalnim magnetima za uzrast VIII razreda osnovne škole: nastavne metode i sredstva, struktura i tok časa. Zatim su podrobnije opisani jednostavni eksperimenti pomoću kojih se u VIII razredu najlakše obrađuje magnetno polje stalnih magneta. Eksperimenti su pažljivo odabrani, tako da svaki reprezentuje po jednu osobinu magnetnog polja; na kraju su te osobine pregledno predstavljene, kao i svi novousvojeni pojmovi vezani za ovu oblast.

U zaključku su date opšte napomene i zapažanja vezana za metodički pristup obradi teme, analiziran je stepen ostvarivanja zacrtanih ciljeva i dat je svojevrstan kritički osvrt na rad.

Cilj rada je celovito objašnjenje pojave magnetizma, povezivanje teorije i prakse i formiranje naučnog pogleda na svet koji nas okružuje.

## 2. OPŠTA TEORIJA MAGNETIZMA

Magnetizam i elektricitet predstavljaju više oblike kretanja materije u fizici, jer se za njihovo objašnjenje uzima u obzir više svojstava supstancije nego za niže oblike kao što su mehaničko kretanje i toplota.

Naelektrisana čestica koja se kreće izaziva u okolnom prostoru magnetno polje. Magnetno polje je posrednik kojim se ostvaruje magnetno uzajamno delovanje tela. To je specijalan oblik kretanja čija priroda još nije pouzdano poznata, kao ni priroda gravitacionog, ili električnog polja.

Poznavanje manifestovanja magnetnog polja još uvek ne znači i poznavanje njegove prirode. Nije poznato da li naelektrisanja u kretanju emituju neku vrstu specijalnih čestica, ili dolazi do promena u strukturi okoline, ili se dešava i jedno i drugo istovremeno. Postoji više pretpostavki, od kojih još ni jedna nije dominirajuća, a kamoli potvrđena. No i pored toga, smatra se velikim uspehom saznavanje manifestovanja magnetnog polja i njegovog delovanja na naelektrisanja u pokretu. Sva ta manifestovanja i delovanja proučena su i kvantitativno.

Ispostavilo se da bilo koje kretanje naelektrisanja izaziva pojavu magnetnog polja: ne samo translatorno, nego i rotaciono kretanje, pa čak i kretanje oko sopstvene ose (takozvani spin čestice).

Oko svakog naelektrisanja obrazuje se električno polje, a obzirom da kretanje naelektrisanja izaziva obrazovanje magnetnog polja, sledi da su ova dva polja prirodno nerazdvojivo povezana čineći elektromagnetno polje. I pored te nerazdruživosti magnetnog i električnog polja moguće ih je i odvojeno posmatrati.

Ono što je danas poznato o magnetizmu čini se potpuno jasnim i logičnim, pogotovo što velik broj eksperimenata daje rezultate saglasno sa teorijom. Ali, nije od početka bilo tako. Ono što se danas čini očiglednim, uobličavalo se tokom mnogo vekova: prvo posmatranjem, pa eksperimentisanjem, stvaranjem hipoteza i teorija (koje nisu uvek bile tačne, pa su često značile i stanputicu u napredovanju naučne misli).

U svakom slučaju, sa sigurnošću se može reći da je čovek, od trenutka kada se prvi put suočio sa zanimljivom pojavom magnetizma, do danas uspeo da tu pojavu objasni i kvalitativno i kvantitativno na zadovoljavajući način, i što je još važnije, da nauči kako da je primenjuje.

Razvoj naučne misli o magnetizmu tekao je kroz različite epohe različitom brzinom.

### 2.1. Istorijat magnetizma

Prema geološkim istraživanjima, sve je počelo pre nekoliko hiljada godina, kada su se sudarile evropska i afrička ploča i kada je iz dubine Zemlje prema površini potisnuta jedna vrsta do tada nepoznatih stena sa čudnim osobinama – radilo se o oksidu gvožđa mnogo kasnije nazvanom magnetit. Ova ruda gvožđa ima osobine stalnog magneta u svom prirodnom stanju i predstavlja prirodni magnet. Ljudi su kasnije naučili da prave veštačke i elektromagnete. Prirodni i veštački magneti čine grupu *stalnih* magneta, a električni imaju magnetne osobine samo dok kroz njihove namotaje teče električna struja.

Magnet se u prirodi nalazi u obliku rude gvožđa magnetit  $Fe_3O_4$ . Pre oko 25 vekova, u okolini grada Magnezije u Maloj Aziji, otkriveno je postojanje ove gvozdene rude koja ima svojstvo da privlači gvozdene predmete; cela pojava magnetizma dobila je ime po gradu u kojem je otkrivena. A otkrivena je, navodno, tako što je pastir idući po kamenitom tlu osećao da zemlja privlači gvozdene eksere iz njegove obuće.

Stari Grci su magnet zvali "Herkulov kamen" - verovatno zbog toga što im je njegova privlačna sila izgledala strašno velika.

Kinezi su, međutim, znali za magnet još mnogo ranije (prema nekim podacima, pre 4000 godina). Oni su ga nazvali imenom "Tšu-ši", što na našem jeziku znači "kamen ljubavi". Kinezi su bili prvi koji su magnet počeli da praktično upotrebljavaju. Oni su uočili da magnet, ako slobodno visi o nekom osloncu, ili ako se u svom težištu oslanja o šiljat vrh te je lako pokretljiv, uvek zauzima isti pravac sever-jug. Tu su njegovu osobinu koristili da bi na lađama, ploveći morima daleko od kopna, određivali strane sveta. Busolu su, dakle, izmislili Kinezi, a u Evropu su je preneli arapski moreplovci tek u XII veku.

U Starom i Srednjem veku ljudi su naučili da prave veštačke magnetne i čak su ih korisno upotrebljavali, ali nisu znali da objasne magnetne pojave. Magnet je bio okružen raznim praznovericama. Verovalo se kako magnet ima neku čarobnu moć i kako se prirodnim magnetom mogu lečiti razne bolesti, ili kako magnet gubi svu svoju moć ako se premaže belim lukom. U jeku takvih verovanja, engleski fizičar i lekar Viljem Gilbert (William Gilbert, 1544-1603) napisao je 1600. godine knjigu "O magnetu i magnetičnim telima i o velikom magnetu Zemlji", u kojoj je postavio temelje naučnog istraživanja i magnetna i elektriciteta. U toj knjizi, kao što se iz naslova vidi, Gilbert je prvi put izrazio misao da je Zemlja veliki magnet. Kao i svaki magnet, tako i Zemlja ima dva magnetna pola; ti se polovi, međutim, ne nalaze stalno na istim mestima kao geografski polovi. Oni se pomeraju. To pomeranje je utvrdio slavni polarni istraživač Amundzen (Roald Amundsen, 1872 – 1928) kada je 1903. do 1905. godine boravio u blizini magnetnog pola u severnoj polarnoj oblasti.

Ključni momenat za nauku o magnetizmu desio se početkom XIX veka, kada je francuski fizičar i astronom Arago uočio da gvozdeni predmeti postaju namagnetisani u blizini mesta gde je udario grom. No, veza između magnetnih pojava i električne struje utvrđena je sa sigurnošću tek eksperimentima danskog fizičara Ersteda (Hans Christian Ørsted, 1777 – 1851) 1820. godine. Te godine je Arago (Francois Jean Dominique Arago, 1786 – 1853) napravio prvi elektromagnet: postavio je čeličnu iglu u staklenu cevčicu i oko te cevčice namotao bakarnu žicu. Kada je kroz namotaje žice propustio struju, čelična igla se namagnetisala i dobijen je prvi elektromagnet. Neposredno posle ovih otkrića, na osnovu Amperovih (André-Marie Ampère, 1775 – 1836) radova i Faradejevih (Michael Faraday, 1791 – 1867) eksperimenata došlo se i do kvantitativnih podataka o povezanosti magnetnih i električnih pojava. Pre toga, magnetne pojave su izučavane kao i električne, ali uglavnom odvojeno od njih, jer povezanosti nisu bile jasne iako su kvalitativno priznavane i naslućivane.

Krajem XIX i početkom XX veka, razvila se kvantno-mehanička teorija za opisivanje pojava u mikrosvetu.

Istorijski gledano, razvoj nauke o magnetizmu može se podeliti u dve etape: do Erstedovog eksperimenta razvijala se *magnetostatika*, a od Erstedovog eksperimenta *elektromagnetizam*.

## 2.2. Magnetostatika

Sasvim je logično da je razvoj nauke o magnetizmu počeo od stalnih magnetna, proučavanjem prvo prirodnih, a zatim i veštački dobijenih. Ti magneti su pokazivali pojavu međusobnog privlačenja ili odbijanja, pa se došlo do zaključka da na njihovim krajevima postoje različiti polovi. *Severni pol (N)* i *južni pol (S)* razlikovali su se prema smeru i vrsti delovanja; to su prvi pojmovi koji su uvedeni prilikom proučavanja magnetizma. Drugi pojam koji se logično nametao kao mera uzajamnog dejstva između polova je *magnetna sila*, po uzoru na tada već uveliko poznatu gravitacionu i elektrostatičku silu. Eksperimenti su pokazali da su jedni magneti jači od drugih, pa su onda jače i njihove magnetne sile; što su magneti više razmaknuti, dejstvo magnetne sile je slabije. Trebalo je ove eksperimentalno dobijene rezultate pretvoriti u funkcionalnu zavisnost kojom može da se izračuna intenzitet magnetne sile između dva pola.

Po analogiji sa elektrostatikom, formirana je tada posebna oblast fizike koja je nazvana *magnetostatika*. Razvijena je teorija magnetizma koja je matematički bila sasvim slična teoriji statičkog elektriciteta. Da bi se ta teorija zasnovala i razvila, morale su se uvesti nove fizičke veličine, koje su igrale analognu ulogu već poznatim elektrostatičkim veličinama. Neke od tih magnetnih veličina bile su dugo vremena fiktivne, u pravom smislu te reči.

Jedna od tih veličina bila je *magnetna masa* ( $m$ ). Prema analogijama sa električnim dipolom, smatralo se da na suprotnim krajevima magnetna postoje magnetne mase istih količina, a suprotnog znaka. Prema tome, svaki magnet sadrži u svojim polovima dve magnetne mase  $+m$  i  $-m$ .

Na sličan način kao što su ispitivane sile među naelektrisanim telima u elektrostatici, pristupilo se i proučavanju privlačnih i odbojnih sila među magnetnim masama. Ustanovljeno je da se te sile u vakuumu ponašaju po zakonu koji ima sličan oblik kao Kulonov zakon za elektrostatičke sile, pa je nazvan Kulonov zakon za magnetne polove: sila među magnetnim polovima upravo je srazmerna masama tih polova, a obrnuto srazmerna kvadratu njihovog međusobnog rastojanja.

$$F = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

$m_1, m_2$  – magnetne mase polova

$r$  – rastojanje između magnetnih polova

U elektromagnetnom CGS sistemu, u vakuumu,  $k=1$ .

U praktičnom MKSC sistemu, morala se (na fiktivnoj bazi) vrednost konstante proporcionalnosti odrediti iz uslova da magnetna masa prema svojoj fizičkoj prirodi predstavlja u stvari *magnetni fluks*, pa se dobilo  $k = \frac{1}{4\pi\mu_0}$  gde je  $\mu_0$  – magnetna propustljivost vakuuma; ova fizička veličina zadržala je svoje mesto sve do danas. Tako je magnetna sila dobila konačan oblik:

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (2.2)$$

Analogno slučajevima gravitacionog i elektrostatičkog polja, sledeća veličina koju je bilo logično uvesti bila je *jačina magnetnog polja* ( $\vec{H}$ ):

$$H = \frac{F}{m_p} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{m}{r^2} \quad (2.3)$$

$m$  – magnetna masa unutar pola koja oko sebe stvara magnetno polje

$m_p$  – jedinična probna magnetna masa (uvek pozitivna)

$r$  – rastojanje između tačke u kojoj se posmatra jačina polja i magnetnog pola

Sledeća fizička veličina koja je uvedena i koja će u kasnijem periodu biti glavna karakteristika magnetnog polja je *magnetna indukcija* ( $\vec{B}$ ):

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H} \quad (2.4)$$

Prema matematičkim izrazima sledi da je jačina magnetnog polja analogna jačini elektrostatičkog polja  $\vec{E}$ , a da je magnetna indukcija analogna električnoj indukciji  $\vec{D}$ . U stvarnosti je sasvim drugačije: prema svojoj fizičkoj prirodi  $\vec{H}$  je analogno sa  $\vec{D}$ , dok je  $\vec{B}$

analogno sa  $\vec{E}$ . U većini literature ipak su se zadržali nazivi veličina definisani na početku, osim u literaturi [7].

Da bi se matematički izrazi doveli u sklad sa fizičkom prirodom uvedenih veličina, načinjen je zanimljiv (kasnije će se pokazati i dosta praktičan) pokušaj uvođenja nove fiktivne veličine nazvane *količina magnetizma* ( $q_m$ ):

$$q_m = \frac{m}{\mu_0} \quad (2.5)$$

Zamenom izraza (2.5) u (2.2) dobija se novi oblik Kulonovog zakona u magnetostatici:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_{m1} \cdot q_{m2}}{r^2} \quad (2.6)$$

$q_{m1}, q_{m2}$  – količine magnetizma u polovima

$r$  – rastojanje između polova

Izrazi za jačinu magnetnog polja i magnetnu indukciju sada zaista odražavaju fizičku realnost:

$$H = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q_m}{r^2} \quad (2.7)$$

$$\vec{F} = m \cdot \vec{H} = q_m \cdot \mu_0 \cdot \vec{H} = q_m \cdot \vec{B} \quad (2.8)$$

Iz relacije (2.8) dobija se konačno:

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{q_m} \quad (2.9)$$

Lako se prepoznaje da je funkcionalna zavisnost (2.9) ista kao i zavisnost između elektrostatičkog polja  $\vec{E}$  i odgovarajuće sile kojom to polje deluje na probno naelektrisanje, što ukazuje na analogiju fizičkih veličina  $\vec{B}$  i  $\vec{E}$ .

Količina magnetizma pokazala se praktičnom s obzirom na oblik definisanja magnetnog momenta, kao i na prikazivanje sile u funkciji karakteristika polja.

Za slučaj supstancijalne sredine, konstanta proporcionalnosti dobija izgled:

$$k = \frac{1}{4\pi\mu_0 \cdot \mu_r} \quad (2.10)$$

gde je  $\mu_r$  – *relativna magnetna propustljivost date sredine*, veličina koja će takođe biti od izuzetnog značaja za kasnije objašnjenje magnetnih osobina tela i čije uvođenje će biti detaljnije objašnjeno u delu o elektromagnetizmu.

Već u početku razvoja magnetostatike pojavili su se neki eksperimentalno ustanovljeni faktori koji su davali povoda za izvesne prigovore ovakvoj koncepciji magnetnih pojava: magnetni polovi se nikada nisu mogli odvojiti jedan od drugog, niti je mogao biti načinjen magnet sa nejednakim magnetnim masama u polovima. Položaj magnetnih polova u magnetu nije se mogao pouzdano odrediti. Sve navedeno sada je razumljivo, s obzirom da su magnetni polovi samo fiktivni pojmovi; no tada je nedostajalo podataka o prirodi magnetnih pojava.

U praksi treba izbegavati ovaj način, jer je magnetizam po svojoj prirodi nerazdvojivo povezan s naelektrisanjem u kretanju, te se pomoću njega i objašnjava. Magnetna masa, kao neki kvantum magnetizma, ostaje uglavnom veštačka tvorevina nekadašnje teorije iz doba kad se nije podrobnije znala priroda magnetizma. Jedino ako se ima u vidu da je magnetna masa ekvivalentna sa magnetnim fluksom, može se i celokupna magnetostatika na nov način shvatiti i



objasniti, pa i korisno primeniti, a naročito za neke čisto magnetne veličine (kao što je, recimo, magnetni moment).

Dobra strana magnetostatike je to što je velik broj uvedenih magnetnih veličina (naročito onih fundamentalnih) uspeo da se održi sve do danas, što znači da je u tim prvim pokušajima bilo i kvalitetnog razmišljanja. Takođe, uvođenjem magnetne mase polova, dinamička priroda elektromagnetne sile svodi se na statičku silu među polovima, što vodi ka znatno prostijem objašnjavanju nekih pojava i ima izvesne prednosti koje se ne mogu poreći.

Ipak, iako je magnetna masa dobila svoje objašnjenje, pa je fizika magnetizma mogla i od nje da počne da se razvija, to ipak ne bi bilo praktično. Veoma je teško zamisliti naelektrisanu česticu u mirovanju; čak i u elektrostatici, pretežan deo izlaganja zasniva se na nekim kretanjima naelektrisanih čestica pod uticajem električnog polja (doduše, makroskopska kretanja su kratkotrajna). Kad-tad bi se desila neka magnetna pojava koja ne bi mogla biti objašnjena teorijom magnetostatike.

Iako zaslužna za početke objašnjavanja magnetnih pojava, magnetostatika je morala da ustukne pred nadolazećom teorijom elektromagnetizma.

### 2.3. Magnetizam kao posledica kretanja naelektrisanja

Erstedov eksperiment, kojim je dokazano da se oko provodnika sa strujom javlja magnetno polje, bio je od ključnog značaja za objašnjenje pojave magnetizma. Odjednom je bilo svima jasno da se magnetno polje javlja samo oko naelektrisanja u pokretu, jer su eksperimenti sa strujnim provodnicima to nedvosmisleno pokazivali.

Međutim, opravdano se moglo postaviti pitanje: ako se magnetno polje dokazano javlja kad kroz provodnik teče struja, kako onda objasniti magnetno polje nekog prirodnog ili veštačkog magneta, pošto kroz njih ne teče nikakva struja? Gde je tu naelektrisanje u pokretu?

Naravno, danas znamo odgovore na ta pitanja; u XIX veku, međutim, trebalo je prvo definisati osnovne pojmove elektromagnetizma u vakuumu tako da odgovaraju realnosti, a zatim definisati jednu izuzetno važnu fizičku veličinu za razmatranje magnetnih osobina molekula i atoma koja se zove *magnetni moment strujne konture*. Magnetne pojave oko strujnog provodnika bile bi time objašnjene na zadovoljavajući način.

Za objašnjenje magnetnog polja prirodnih i veštačkih stalnih magneta, kao i za objašnjenje nemogućnosti namagnetisavanja pojedinih supstancija, trebalo je prvo sačekati 1897. godinu da J. J. Thomson (Joseph John Thomson, 1856 -1940 ) dokaže postojanje elektrona i 1911. godinu da Raderford (Ernest Rutherford, 1871 - 1937) objavi svoj planetarni model atoma. Tek tada moglo se naslutiti da i unutar stalnih magneta postoje neke mikrostruje, baš kao što je Amper smelo pretpostavio sto godina ranije.

Podimo redom, od definisanja osnovnih pojmova elektromagnetizma.

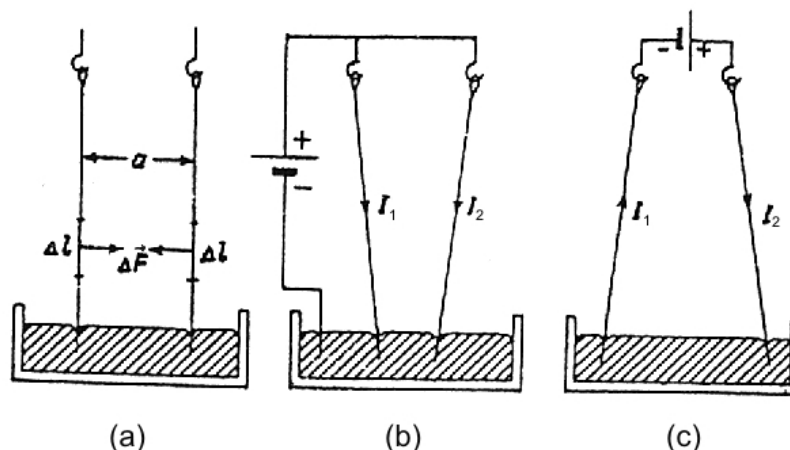
#### 2.3.1. Elektromagnetna sila

Interakcija koja nastaje usled kretanja naelektrisanih čestica naziva se magnetna interakcija, a odgovarajuća sila – *elektromagnetna (elektrodinamička) sila*.

Eksperiment koji dokazuje postojanje ove sile i objašnjava njene glavne karakteristike prikazan je na slici 2.1.

Dva kruta metalna provodnika okačena su svojim gornjim krajevima tako da se mogu obrtati oko tačke vešanja sa malim trenjem (slika 2.1a); donji krajevi provodnika potopljeni su u sud sa živom, koja održava kontakt sa provodnicima, a da se pri tom oni mogu pokretati sa neznatnim trenjem. Kad se kroz oba provodnika propusti struja u istom smeru (slika 2.1b),

nastaće privlačenje među provodnicima, što se zaključuje po kosom položaju provodnika. Propusti li se struja suprotnog smera (slika 2.1c), javiće se odbijanje među provodnicima.



Slika 2.1. Uzajamno dejstvo strujnih provodnika

Na osnovu ovog eksperimenta, može se doneti sledeći važan zaključak: ovde se ne radi o elektrostatičkim silama, jer provodnici ne postaju naelektrisanji kada naelektrisanje kroz njih protiče; količina naelektrisanja koja protekne kroz poprečni presek provodnika (na oba kraja provodnika) je stalna. Otpornost provodnika je vrlo mala tako da maksimalni napon među njima ne prelazi 1V, pa elektrostatičke sile ne mogu imati značajnu vrednost koja bi bila u stanju da pokrene provodnike. Sila koja deluje između provodnika nazvana je elektrodinamička sila, a ima sledeće osobine:

- 1) Deluje između naelektrisanja u kretanju, a obzirom da se elektroni kreću kroz provodnik to dejstvo se prenosi na provodnik. Ovo se može veoma očigledno pokazati, tako što se umesto drugog provodnika uzme paralelni katodni zrak – rezultat će biti potpuno isti kao u eksperimentu sa dva provodnika. Čak šta više, pomoću ogleada sa katodnom cevi može se lako uveriti i da skretanje mlaza nije pod dejstvom elektrostatičke sile. Oko cevi se stavi oklop od bakarnog lima, ili mreža od bakarne žice; prema teoriji elektrostatike, u unutrašnjosti ovog oklopa ne može postojati elektrostatičko polje. No, i pored oklopa, javlja se opisano skretanje elektronskog mlaza, što je znak da se to skretanje ne vrši pod dejstvom elektrostatičke sile.
- 2) Elektrodinamička sila deluje uvek u pravcu normalnom na pravac struje, odnosno na pravac brzine kretanja naelektrisanja.
- 3) Intenzitet elektrodinamičke sile po elementu dužine provodnika dat je obrascem (2.11):

$$\frac{\Delta F}{\Delta l} = k \cdot \frac{2 \cdot I_1 \cdot I_2}{a} \quad (2.11)$$

$k$  – konstanta proporcionalnosti

$I_1, I_2$  – jačine struja u provodnicima

$a$  – rastojanje između provodnika

Kako je  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$  biće:

$$I \cdot \Delta l = \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot \Delta l = \Delta q \cdot v \quad (2.12)$$

$\Delta q$  – količina naelektrisanja koja za vreme  $\Delta t$  protokne kroz provodnik

$v$  – brzina kretanja naelektrisanja

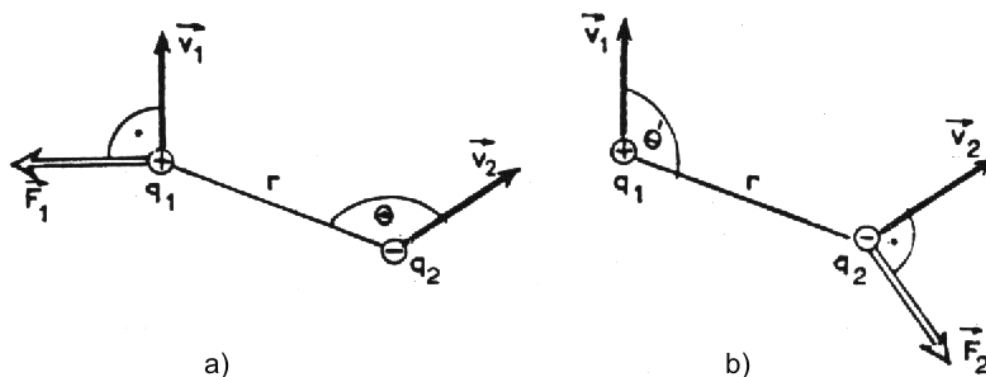
Primenom infinitezimalnog računa (pošto elektroni u provodnicima interaguju "svaki sa svakim"), dobija se konačna zavisnost za inenzitet sile:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_1 \cdot v_1 \cdot q_2 \cdot v_2}{a^2} \quad (2.13)$$

za slučaj kada su brzine naelektrisanih čestica paralelne (samo tada i važi III Njutnov zakon, što se može videti prema jednakim nagibima provodnika).

Svakako je zanimljivo uporediti izraz (2.13) sa izrazom (2.6) dobijenim za magnetnu silu u magnetostatici.

- 4) Intenzitet elektrodinamičke sile mnogo je manji od intenziteta odgovarajuće elektrostatičke sile.
- 5) Elektrodinamička sila postoji samo u referentnom sistemu u odnosu na koji se obe naelektrisane čestice kreću, i zavisi (osim već navedenih veličina) i od pravaca brzina naelektrisanih čestica. Ako ti pravci nisu paralelni, a nalaze se u istoj ravni (slika 2.2), situacija je komplikovanija nego u slučaju paralelnih brzina:



Slika 2.2. Uzajamno dejstvo naelektrisanih čestica u pokretu

Intenzitet elektromagnetne sile kojom čestica sa naelektrisanjem  $q_2$  deluje na česticu sa naelektrisanjem  $q_1$ :

$$F_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_1 \cdot v_1 \cdot q_2 \cdot v_2}{r^2} \cdot \sin \Theta \quad (2.14)$$

Intenzitet elektromagnetne sile kojom čestica  $q_1$  deluje na česticu  $q_2$ :

$$F_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_1 \cdot v_1 \cdot q_2 \cdot v_2}{r^2} \cdot \sin \Theta' \quad (2.15)$$

Kako je u opštem slučaju  $\Theta \neq \Theta'$ , to je i  $F_1 \neq F_2$ , i ne važi III Njutnov zakon.

Elektromagnetna sila može biti privlačna i odbojna (u zavisnosti od vrste naelektrisanja čestica i od smera njihovih brzina), a jednaka je nuli u dva slučaja:

- kada jedna od naelektrisanih čestica miruje
- kada se jedna od naelektrisanih čestica kreće ka drugoj duž pravca  $r$ .

Ova analiza je značajna prilikom proučavanja magnetnog polja u supstancijama, gde se posmatra kretanje elektrona po različitim orbitama u različitim pravcima; sve magnetne osobine tela zavisice od uređenosti ovog kretanja, to jest od magnetnog momenta elektrona.

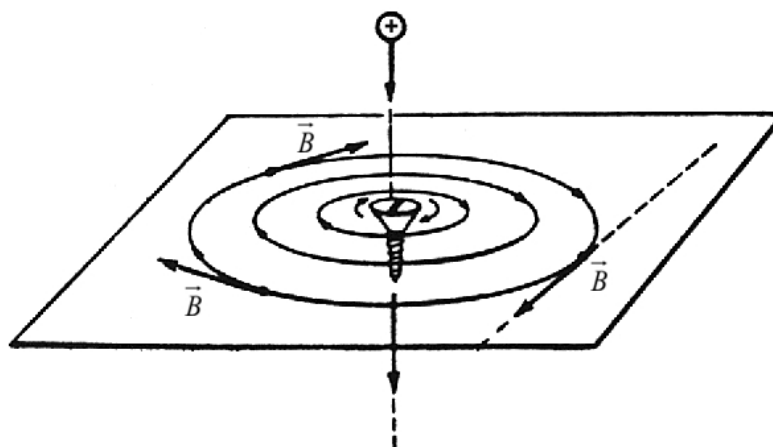
### 2.3.2. Magnetno polje u vakuumu

Elektromagnetna sila spada u one vrste sila koje se javljaju i u bezvazdušnom prostoru i bez dodira tela. Prostor u kom se oseća delovanje elektromagnetne sile zove se magnetno polje.

*Magnetno polje je posrednik kojim se ostvaruje magnetno uzajamno delovanje.*

Pojam magnetnog polja analogan je pojmovima gravitacionog i električnog polja. Naime, oko svake naelektrisane čestice koja se kreće postoji pored gravitacionog i električnog još i magnetno polje. Naelektrisana čestica koja se kreće ne deluje neposredno elektromagnetnom silom na drugu takvu česticu. Ona "stvara" magnetno polje u okolnom prostoru, a to polje onda deluje neposredno na drugu česticu. Nepokretne naelektrisane čestice nemaju svoja magnetna polja, niti na njih deluju elektromagnetne sile.

Magnetno polje u svakoj tački prostora opisuje se kvantitativno pomoću vektorske veličine koja se naziva *magnetna indukcija* ( $\vec{B}$ ). Ako se zna intenzitet, pravac i smer ovog vektora u svakoj tački prostora, magnetno polje je u potpunosti poznato. Na osnovu poznavanja magnetnog polja oko strujnog provodnika, može se utvrditi izgled magnetnog polja oko naelektrisane čestice u pokretu (slika 2.3)



Slika 2.3. Magnetno polje naelektrisane čestice u pokretu

Magnetna indukcija karakteriše delovanje magnetnog polja na naelektrisane čestice koje se kreću i analogna je jačini električnog polja (zbog toga je i uzeta kao glavna karakteristika, prema kojoj će se kasnije definisati i vektor jačine polja  $\vec{H}$ ). Međutim, veza između vektora magnetne indukcije i elektromagnetne sile složenija je nego što je to slučaj kod elektrostatičkog polja, gde su vektor  $\vec{E}$  i vektor električne sile istog pravca i smera (pod uslovom da je probno naelektrisanje pozitivno).

Pravac, smer i intenzitet vektora  $\vec{B}$  definišu se slično kao u slučaju elektrostatičkog polja: zamisli se da je u nekoj od obeleženih tačaka na slici 2.3 pozitivno probno naelektrisanje  $q$  koje se kreće brzinom  $\vec{v}$  pod nekim uglom  $\varphi$  u odnosu na pravac vektora magnetne indukcije. Na to probno naelektrisanje delovaće elektromagnetna sila u smeru koji zavisi od smera kretanja samog probnog naelektrisanja (slika 2.4); pravac te sile normalan je na pravac brzine  $\vec{v}$  (to je zaključeno u prethodnom odeljku). Eksperimenti koje je izveo holandski fizičar Lorenc (Hendrik Antoon Lorentz, 1853 - 1928) pokazali su da u svakoj tački magnetnog polja čestice u pokretu postoji jedan naročiti, izuzetan pravac, koji se od ostalih razlikuje po tome što je

elektromagnetna sila jednaka nuli kada se probno naelektrisanje kreće u tom pravcu. On ne zavisi od naelektrisanja  $q$  niti od intenziteta brzine, te je karakteristika magnetnog polja u posmatranoj tački i naziva se *pravac vektora indukcije magnetnog polja*. Elektromagnetna sila ima najveći intenzitet kada je vektor brzine probnog naelektrisanja normalan na taj pravac. Sem toga, intenzitet elektromagnetne sile srazmeran je količini probnog naelektrisanja  $q$ . Prema tome, u posmatranoj tački polja, elektromagnetne sile koje deluju na čestice sa različitim naelektrisanjima ( $q_1, q_2, q_3, \dots$ ) i brzinama ( $v_1, v_2, v_3, \dots$ ) imaju različite intenzitete ( $F_1, F_2, F_3, \dots$ ), ali je zadovoljeno:

$$\frac{F_1}{q_1 v_1 \sin \varphi_1} = \frac{F_2}{q_2 v_2 \sin \varphi_2} = \frac{F_3}{q_3 v_3 \sin \varphi_3} = \dots = \text{const.} = B \quad (2.16)$$

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – uglovi između odgovarajućih brzina i pravca magnetne indukcije

Konstantnost količnika (2.16) za datu tačku pokazuje da je on karakteristika magnetnog polja u toj tački. Ta karakteristika zove se *intenzitet vektora magnetne indukcije*:

$$B = \frac{F}{q \cdot v \cdot \sin \varphi} \quad (2.17)$$

Intenzitet magnetne indukcije brojno je jednak intenzitetu sile kojom magnetno polje deluje na jedinično pozitivno probno naelektrisanje koje se kreće jediničnom brzinom u pravcu normalnom na pravac vektora magnetne indukcije polja.

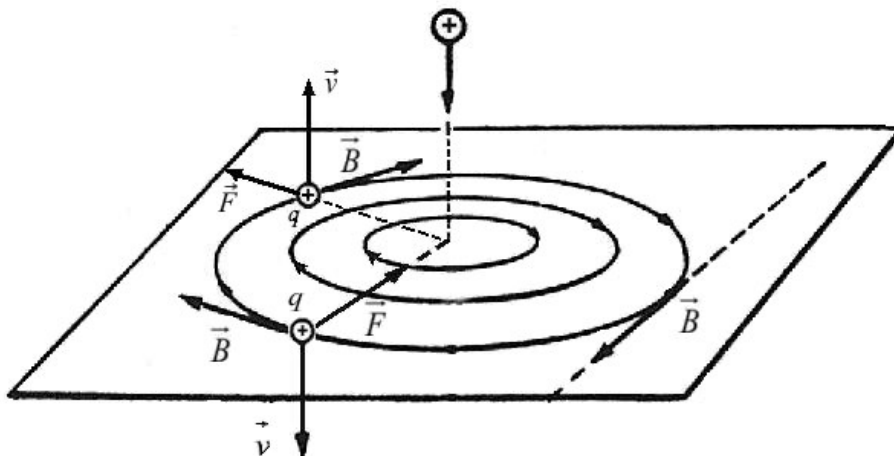
Eksperimentalno je utvrđeno da je pravac vektora  $\vec{B}$  normalan na pravac vektora  $\vec{F}$ .

*Smer vektora magnetne indukcije* definisan je dogovorom, tako da se na osnovu njega i smera vektora brzine pomoću pravila desnog zavrtnja dobije eksperimentalno utvrđeni smer elektromagnetne sile koja u datoj tački polja deluje na *pozitivno* probno naelektrisanje.

Elektromagnetna sila kojom magnetno polje indukcije  $\vec{B}$  deluje na probno naelektrisanje u pokretu dobila je naziv Lorencova sila:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.18)$$

Na slici 2.4 prikazane su sve navedene veličine za specijalan slučaj kada je  $\vec{v} \perp \vec{B}$  ( $\varphi=90^\circ$ ).



Slika 2.4. Magnetna indukcija i magnetne linije sile

Jedinica magnetne indukcije u SI sistemu mera je TESLA:

$$T = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m}$$

Intenzitet magnetne indukcije uz polove običnih stalnih magneta je oko 0,1T, a najjačih magnetnih polja dobijenih u laboratoriji je oko 40T.

Koncentrične kružnice na slici 2.4 su zamišljene linije pomoću kojih se prikazuje delovanje magnetnog polja i zovu se *magnetne linije sile* (*linije magnetne indukcije*). Vektor magnetne indukcije u svakoj tački linije ima pravac tangente. Magnetne linije sile prikazuju se, prema dogovoru, tako da je njihova gustina veća u oblastima gde je magnetno polje jače; linije homogenog magnetnog polja su paralelne prave linije na jednakim rastojanjima. Po definiciji, homogeno je ono magnetno polje u kome vektor magnetne indukcije ima u svim tačkama isti intenzitet, pravac i smer (polje unutar solenoida ili između polova potkovičastog magneta).

Jedna od najznačajnijih osobenosti magnetnog polja je da magnetne linije sile nemaju ni početka ni kraja, to jest da su *zatvorene*. Po ovome se magnetno polje suštinski razlikuje od elektrostatičkog polja, čije linije sile imaju početak i završetak (na naelektrisanjima). Zatvorenost magnetnih linija sile pokazuje da magnetno polje nema "izvora", odnosno da ne postoje magnetni "naboji" koji bi bili analogni naelektrisanju. Polja ovakve vrste nazivaju se vrtložna.

Još jedna od veličina koje karakterišu magnetno polje je *magnetni fluks* ( $\Phi$ ), koji se definiše kao ukupan broj magnetnih linija sile koje prolaze kroz neku površinu  $S$ ; za homogeno polje je:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad (2.19)$$

Upravo promenom magnetnog fluksa Faradej je objasnio pojavu elektromagnetne indukcije. Jedinica za magnetni fluks je VEBER (Wb).

Konačno, za kumulativno opisivanje magnetnog polja, pored vektora magnetne indukcije koristi se još jedna vektorska veličina koja se zove *jačina magnetnog polja* ( $\vec{H}$ ). Za magnetno polje u vakuumu važi relacija:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \quad (2.20)$$

Jedinica jačine magnetnog polja je  $\frac{A}{m}$ .

Svako magnetno polje u vakuumu može se opisati bilo pomoću magnetne indukcije, bilo pomoću jačine magnetnog polja.

Pojam jačine magnetnog polja posebno je značajan kad se radi o magnetnim poljima u supstancijama.

### 2.3.3. Magnetno polje u supstancijama

Do sada je razmatrano magnetno polje u vakuumu, to jest u prostoru u kojem nema supstancije.

Sada će biti više reči o magnetnom polju u supstancijama. Sve supstancije imaju izvesna magnetna svojstva. Ona tela kod kojih se magnetna svojstva ispoljavaju stalno (a ne samo kad se nalaze u magnetnom polju) nazivaju se *stalni magneti*.

Pri razmatranju magnetnih svojstava supstancije, uobičajeni termin je *magnetik*. Pod tim pojmom podrazumeva se materijalna sredina u kojoj se jačina magnetnog polja bar u nekim tačkama razlikuje od odgovarajuće jačine magnetnog polja u vakuumu. U zavisnosti od toga kako im se ispoljavaju magnetna svojstva, sve supstancije se mogu podeliti u tri grupe: dijamagnetici, paramagnetici i feromagnetici. Kasnije će biti reči o svakoj od ovih grupa

ponaosob; ono što prvo mora da se uradi, jeste definisanje osnovnih veličina koje karakterišu magnetno polje u supstanciji.

### 2.3.3.1. Veličine koje karakterišu magnetno polje u supstanciji

Odgovor na pitanje zašto materijali ispoljavaju određena magnetna svojstva proizilazi iz specifičnosti atomske, odnosno elektronske strukture materijala: magnetno polje ne stvaraju samo slobodne naelektrisanе čestice u kretanju, već i one koje se kreću unutar sistema za koji su vezane (atom, molekul). Pri tom se najviše misli na kretanje elektrona oko jezgra atoma, što se može smatrati stalnom mikrostrujom (jer praktično nema otpora). Zbog toga je od velike važnosti veličina uvedena kod kružnog provodnika sa strujom koja se zove *magnetni moment strujne konture* ( $\vec{p}_m$ ) i definiše se kao proizvod jačine struje  $I$  i površine  $S$  koju ograničava strujna kontura:

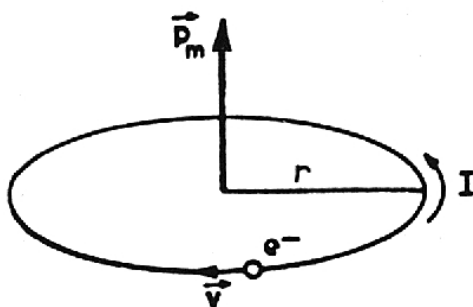
$$p_m = I \cdot S \quad (2.21)$$

Računom se može pokazati da je intenzitet magnetne indukcije na osi kružne struje srazmeran intenzitetu magnetnog momenta. Još jedna važna osobina: magnetni moment ne zavisi od oblika površine, već samo od njene veličine, pa sledi da isto  $\vec{B}$  imaju, na velikim rastojanjima od provodnika, strujne konture različitih oblika.

Na ovoj analogiji kruženja elektrona oko jezgra i kroz provodnik biće zasnovano objašnjenje magnetnih svojstava u supstancijama.

Magnetna svojstva supstancije objašnjena su tek posle otkrića planetarnog modela atoma. Prema tom modelu, atomi svih tela sastoje se od pozitivno naelektrisanog jezgra i elektrona koji kruže oko jezgra (slično planetama oko Sunca). Iako savremena kvantna mehanika pokazuje da je stvarna slika atoma znatno složenija, ipak se ovaj prevaziđeni model atoma može iskoristiti za objašnjenje magnetnih svojstava tela. Dakle, da bi se mogle sprovesti jednostavne analize, moramo se poslužiti grubim pretpostavkama.

Pretpostavićemo da elektron kruži oko jezgra po kružnoj putanji (slika 2.5). Pošto je reč o naelektrisanju koje se kreće po zatvorenoj orbiti, onda to po svemu odgovara struji kroz zatvorenu mikrokonturu. Ova elektronska mikrostruja obrazuje magnetno mikropolje analogno polju jednog kružnog strujnog provodnika. To znači da se elektronu, koji se kreće po orbiti, može pripisati osobina jednog malog stalnog magneta koji ima izvestan magnetni moment; taj magnetni moment se zove *orbitalni magnetni moment* elektrona, normalan je na površinu definisanu orbitom elektrona, a smer mu se poklapa sa smerom magnetnog polja mikrostruje.



Slika 2.5. Orbitalni magnetni moment elektrona

Zbog velike brzine kretanja elektrona (oko  $10^{15}$  obrtaja u sekundi), može se smatrati da je njegovo naelektrisanje ravnomerno raspoređeno po celoj kružnici poluprečnika  $r$ . To uslovljava

stalnu vrednost mikrostruje koja je data proizvodom naelektrisanja i broja obrta u jedinici vremena:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{e}{T} = e \cdot \nu \quad (2.22)$$

$e$  – količina naelektrisanja elektrona  
 $\nu$  – frekvencija rotiranja elektrona oko jezgra  
 $T$  – period rotiranja elektrona oko jezgra

Zbog negativnog naelektrisanja elektrona, smer struje suprotan je od smera njegovog kretanja. Ovakva kružna struja, kao što je već rečeno, stvara magnetno polje okarakterisano magnetnim momentom čiji intenzitet, prema (2.21) iznosi:

$$p_m = I \cdot S = e \cdot \nu \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2.23)$$

gde je:  $S = \pi r^2$  – površina strujne konture poluprečnika  $r$

Frekvencija kojom elektron rotira:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r} \quad (2.24)$$

$v$  – brzina rotiranja elektrona oko jezgra

Zamenom izraza (2.24) u (2.23) dobija se izraz za orbitalni magnetni moment elektrona:

$$p_m = \frac{e \cdot v \cdot r}{2} \quad (2.25)$$

Pošto se elektron može smatrati materijalnom tačkom, njegov moment impulsa je:

$$L = m_e \cdot v \cdot r \quad (2.26)$$

Na osnovu (2.25) i (2.26) dobija se izraz koji povezuje orbitalni magnetni moment sa momentom impulsa elektrona:

$$p_m = \frac{e}{2 \cdot m_e} \cdot L \quad (2.27)$$

$m_e$  – masa elektrona

Kao što se vidi, odnos ove dve veličine je konstantan i zove se žiromagnetni odnos.

Uvođenjem *Borovog magnetona*  $\mu_B$ , koji je uzet za jedinicu magnetnog momenta, dobija se konačno:

$$p_m = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot L \quad (2.28)$$

gde je:  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  redukovana Plankova konstanta, a  $h$  – Plankova konstanta

Kod atoma vodonikovog tipa u osnovnom stanju, orbitalni magnetni moment jednak je nuli.

Eksperimenti pokazuju, međutim, skretanje takvih atoma u magnetnom polju. To skretanje može se objasniti činjenicom da magnetno polje atoma nije uzrokovano samo kretanjem elektrona u sastavu atoma ili molekula, već i činjenicom da elektroni raspoložu svojim sopstvenim magnetnim poljem. Naime, analizom raznih rezultata eksperimenata dolazi se do zaključka da elektron treba da ima još jednu vrstu magnetnog momenta, koji se zove *spinski magnetni moment* i potiče od rotacije elektrona oko sopstvene ose. Rotacija elektrona oko svoje ose bi takođe obrazovala magnetno mikropolje. Eksperimentalno je utvrđeno da projekcije



spinskog momenta mogu imati samo vrednosti  $+\mu_B$  i  $-\mu_B$ . Zbog toga spoljašnje magnetno polje može da utiče samo na njegovu orijentaciju.

Ukupan magnetni moment elektrona dobije se kao vektorski zbir orbitalnog i spinskog magnetnog momenta. Svakom elektronu u atomu pripada određeni magnetni moment, pa i atom kao celina ima svoj magnetni moment, koji je jednak vektorskoj sumi momenata pojedinih elektrona.

Ekperimenti pokazuju da postoji i magnetni moment atomskog jezgra; on je, međutim, oko 2000 puta manji od magnetnog momenta elektrona (zbog razlika u masi). Zato se pri izučavanju magnetnih svojstava supstancije zanemaruje magnetni moment jezgra i uzima da je magnetni moment atoma jednak vektorskom zbiru magnetnih momenata elektrona koji se kreću oko jezgra.

Specifično naelektrisanje elektrona je vrlo veliko, kao i brzine kretanja elektrona u atomu. Iz toga se može zaključiti da pomenuti magnetni momenti elektrona takođe treba da imaju velike vrednosti i da u atomima treba da vladaju vrlo jaka magnetna mikropolja. Međutim, kao što će se videti, sem feromagnetnih tela (koja su malobrojna), sva ostala tela imaju veoma slabo izražena magnetna svojstva. Razlozi slabe izraženosti magnetnih osobina tela su dvojaki:

- 1) u svim telima postoji stalno termičko kretanje atoma i molekula. To kretanje podleže zakonima statistike i verovatnoće; prema ovim zakonima, kod termičkog kretanja postoji spontana težnja da se izvrši orijentacija magnetnih momenata atoma u svim pravcima podjednako (da uvek postoji isti broj atoma sa suprotno orijentisanim magnetnim momentima koji se međusobno kompenzuju).
- 2) poznata je spontana težnja svih tela u prirodi da zauzmu položaj minimalne potencijalne energije: za dva elektrona, to bi bio baš položaj u kojem su njihovi vektori magnetnih momenata suprotno orijentisani. Takav par elektrona ne doprinosi magnetnim svojstvima tela. Ako imamo u vidu da popunjen elektronski sloj sadrži uvek paran broj elektrona, zaključak je da je vektorski zbir magnetnih momenata popunjenog elektronskog sloja (ljuske) jednak nuli. Nekompenzovane elektronske magnetne momente mogu da imaju samo valentni elektroni; međutim, oni su u stanju da izgrade par od dva susedna atoma, pa se tako opet dobiju kompenzovani momenti. Feromagnetna tela ponašaju se drugačije, jer se kod njih nepopunjeni elektronski slojevi formiraju u unutrašnjosti elektronskog omotača.

Sada kada je definisan i objašnjen magnetni moment jednog atoma, može se preći na ostale fizičke veličine koje karakterišu magnetno polje u supstancijama.

*Magnetna polarizacija (magnetizacija, namagnetisanost)*  $\vec{M}$  je fizička veličina koja izražava stepen namagnetisanosti jedinice zapremine jednorodne supstancije u homogenom magnetnom polju:

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{p}_{mi}}{V} \quad (2.29)$$

$\sum \vec{p}_{mi}$  – vektorski zbir magnetnih momenata svih atoma u zapremini  $V$

Ova veličina karakteriše dopunsko magnetno polje u materijalnim sredinama, a koje potiče od kretanja vezanih naelektrisanja.

Proporcionalnost magnetne polarizacije i jačine primenjenog spoljašnjeg polja  $\vec{H}$  iskazuje se preko *zapreminske magnetne susceptibilnosti*  $\chi$ :

$$\vec{M} = \chi \cdot \vec{H} \quad (2.30)$$

U opštem slučaju, magnetna susceptibilnost u izrazu (2.30) je tenzor koji karakteriše anizotropiju magnetnih osobina sredine (kod monokristala i kristala sa niskom simetrijom). U izotropnim sredinama, pre svega u gasovima i tečnostima, a potom i u amorfnim telima i polikristalima, magnetna susceptibilnost ima karakter skalarne veličine.

Kada se neko telo unese u spoljašnje magnetno polje  $\vec{H}$ , pod uticajem tog inicijalnog polja u telu se javlja izvesno unutrašnje (dodatno) polje magnetne indukcije  $\vec{B}_{unut}$ . Ukupno magnetno polje u telu sastoji se, dakle, od spoljašnjeg polja indukcije  $\vec{B}_{spolj}$  i polja u samom telu indukcije  $\vec{B}_{unut}$ :

$$\vec{B} = \vec{B}_{spolj} + \vec{B}_{unut} \quad (2.31)$$

Prvi sabirak predstavlja magnetnu indukciju polja u vakuumu i srazmeran je jačini primenjenog magnetnog polja, dok je drugi srazmeran magnetnoj polarizaciji materijala (indukovanoj ili orijentacionoj):

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \vec{M} = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \chi \cdot \vec{H} = \mu_0 \cdot (1 + \chi) \cdot \vec{H} \quad (2.32)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} \quad (2.33)$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (2.34)$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$  apsolutna magnetna propustljivost (permeabilnost) vakuuma

$\mu_r$  - relativna magnetna propustljivost date supstancije

$\mu$  - magnetna propustljivost materijala

Iz izraza (2.34) sledi: kada se neki materijal nađe u spoljašnjem magnetnom polju  $\vec{H}$ , on i sam postaje izvor magnetne indukcije  $\vec{B}$ . Ona može biti veća ili manja od inicijalnog polja, sve u zavisnosti od vrednosti koju ima magnetna susceptibilnost.

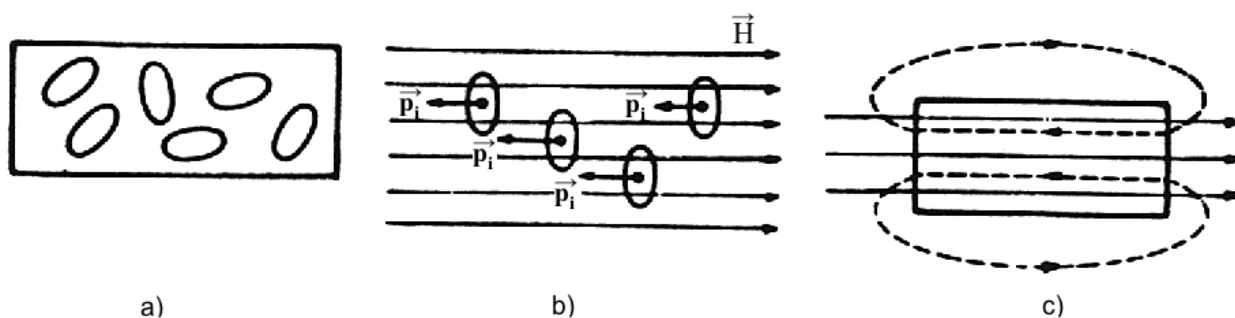
Zavisno od apsolutne vrednosti magnetne susceptibilnosti, znaka, ponašanja u funkciji temperature i u funkciji promene primenjenog spoljašnjeg magnetnog polja, razlikuju se svojstva rezultujućeg polja pojedinih grupa magnetika:

- |                  |              |                 |
|------------------|--------------|-----------------|
| 1) DIJAMAGNETICI | $\chi < 0$   | $(\mu_r < 1)$   |
| 2) PARAMAGNETICI | $\chi > 0$   | $(\mu_r > 1)$   |
| 3) FEROMAGNETICI | $\chi \gg 0$ | $(\mu_r \gg 1)$ |

### 2.3.3.2. Dijamagnetici

Najpre treba istaći da je dijamagnetizam univerzalna osobina svih materijala, a da se kod paramagnetika i feromagnetika ne eksponira samo zbog mnogo veće susceptibilnosti (pa je teško uočljiv).

Fizička priroda dijamagnetika može se objasniti na osnovu klasičnog pristupa, polazeći od orbitalnog kretanja elektrona unutar atoma. Kod dijamagnetika, zbog popunjenosti orbitala, magnetni momenti elektrona uzajamno se kompenzuju, tako da je magnetni moment već na nivou atoma (molekula) jednak nuli (slika 2.6a). Kad se dijamagnetni materijal nađe u spoljašnjem magnetnom polju  $\vec{H}$ , onda se u njegovim atomima (molekulima) indukuju magnetna polja sa odgovarajućim magnetnim momentima  $\vec{p}_i$  (slika 2.6b).



Slika 2.6. Objašnjenje pojave dijamagnetizma

Saglasno Lencovom pravilu, indukovana polja imaju suprotan smer od spoljašnjeg magnetnog polja (jer teže da spreče porast tog polja) i delimično ga kompenzuju: kod dijamagnetnih tela, taj efekat smanjivanja jačine spoljašnjeg magnetnog polja je jedini efekat koji se manifestuje (slika 2.6c).

Indukovani magnetni momenti pojedinih atoma (molekula) srazmerni su jačini spoljašnjeg polja:

$$\vec{p}_i = -\frac{e^2}{4 \cdot m_e} \cdot \mu_0 \cdot r^2 \cdot \vec{H} \quad (2.35)$$

$r$  – radijus orbite

$e$  – količina naelektrisanja elektrona

$m_e$  – masa elektrona

Dijamagnetizam nije u značajnijoj meri zavisen od temperature.

U dijamagnetike spadaju skoro svi gasovi (sem kiseonika), voda, srebro, zlato, bakar, grafit, živa, silicijum i germanijum, mnoga organska jedinjenja...

Red veličine magnetnih susceptibilnosti nekih dijamagnetnih materijala:

$$\chi_d = -5,5 \cdot 10^{-5} \quad \text{za grafit}$$

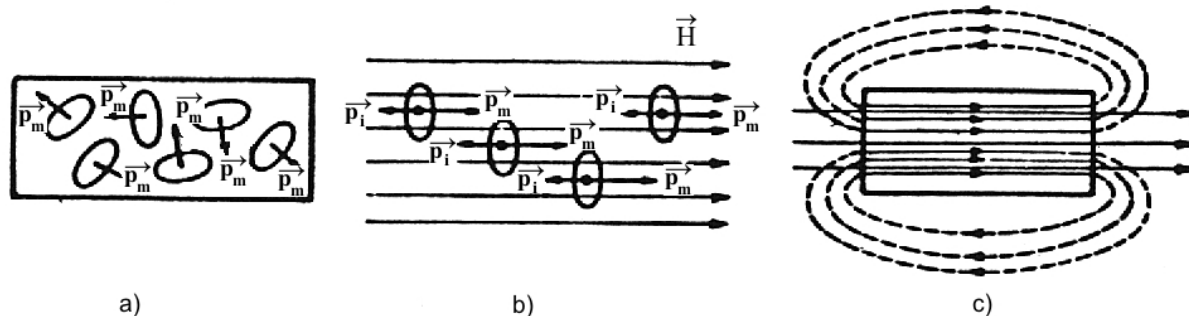
$$\chi_d = -0,76 \cdot 10^{-6} \quad \text{za bakar}$$

$$\chi_d = -0,5 \cdot 10^{-9} \quad \text{za helijum}$$

Po prestanku delovanja spoljašnjeg magnetnog polja, dijamagnetna tela vraćaju se u prvobitno (nenamagnetisano stanje).

### 2.3.3.3. Paramagnetici

Paramagnetizam je u osnovi posledica prisustva stalnih magnetnih momenata pojedinih atoma (molekula). Naime, kod atoma čije orbitale nisu u potpunosti popunjene, postoji mogućnost da ukupni magnetni moment elektrona u atomu bude različit od nule (slika 2.7a).



Slika 2.7. Objašnjenje pojave paramagnetizma

U odsustvu spoljašnjeg magnetnog polja, efekti egzistencije permanentnih magnetnih momenata  $\vec{p}_m$  nisu uočljivi zbog njihovog haotičnog rasporeda, tako da se oni u okviru tela u celini uzajamno kompenzuju.

Unošenjem paramagnetnog tela u spoljašnje magnetno polje, dolazi (slično kao kod dijamagnetnih tela) do pojave indukovano magnetnog momenta, koji opet ima suprotan smer od smera spoljašnjeg polja. Međutim, za razliku od dijamagnetika, kod paramagnetnih tela to nije jedini efekat: pod uticajem spoljašnjeg magnetnog polja vrši se i orijentacija sopstvenih magnetnih momenata atoma ili molekula  $\vec{p}_m$  duž linija sile polja (slika 2.7b). Sopstveni i indukovani magnetni momenti daju resultantni magnetni moment koji ima isti pravac i smer kao i spoljašnje magnetno polje, usled čega dolazi do pojačavanja spoljašnjeg magnetnog polja (slika 2.7c).

U slučaju paramagnetnih tela, indukovani magnetni momenti atoma (molekula) takođe su srazmerni jačini spoljašnjeg magnetnog polja (kao kod dijamagnetika), ali sopstveni magnetni momenti atoma (molekula) ne zavise od spoljašnjeg magnetnog polja. Međutim, stepen u kojem se usmeravaju ("prestrojavaju") ti magnetni momenti u spoljašnjem polju zavisi od odnosa efekata uzrokovanih delovanjem spoljašnjeg magnetnog polja i toplotnog kretanja.

Posle prestanka delovanja spoljašnjeg magnetnog polja, paramagnetna tela se takođe vraćaju u prvobitno (nenamagnetisano) stanje.

Paramagnetna svojstva zavise od temperature, jer je pri višim temperaturama i termičko kretanje molekula intenzivnije, te je time intenzivnija i težnja za statističkom orijentacijom elektronskih momenata u svim pravcima. To znači da će pri višim temperaturama magnetna susceptibilnost imati manju vrednost:

$$\chi_p = \frac{C}{T - \Theta} \quad (2.36)$$

gde je  $T$  – apsolutna temperatura, a  $C$  i  $\Theta$  empirijski određene konstante:

$\Theta$  – Vajsova konstanta uvedena kao korekcija unutrašnjeg magnetnog polja (može biti pozitivna i negativna)

$C$  – Kirijeva konstanta

U paramagnetike spadaju svi elementi čiji atomi imaju neparan broj elektrona, a time i nekompenzovan spinski magnetni moment (elementi iz I, III, V i VII grupe Periodnog sistema), neki molekuli sa parnim brojem elektrona (kiseonik i sumpor), metali (natrijum, kalijum, kalcijum, aluminijum), itd.

Red veličine magnetnih susceptibilnosti nekih paramagnetnih materijala:

$$\chi_p = 25 \cdot 10^{-6} \quad \text{za aluminijum}$$

$$\chi_p = 2 \cdot 10^{-6} \quad \text{za kiseonik}$$

$$\chi_p = 175 \cdot 10^{-6} \quad \text{za volfram}$$

#### 2.3.3.4. Feromagnetici

Kao što je već rečeno, feromagnetna tela imaju jako izražena magnetna svojstva, što znači da magnetna susceptibilnost ima jako veliku pozitivnu vrednost. Kad se feromagnetik nađe u spoljašnjem magnetnom polju, on ga pojača od nekoliko stotina do nekoliko hiljada puta.

Osnovna karakteristika feromagnetika je da, i bez primene ikakvog spoljašnjeg magnetnog polja, poseduju spontani magnetni moment, a to svakako ukazuje na to da su magnetni momenti elektrona nekompenzovani. Ovo se objašnjava nepopunjenim 3d- i 4f- orbitalama; 3d- orbitala se nalazi duboko u unutrašnjosti elektronskog omotača, te elektroni ne mogu da stupaju u kombinacije sa susednim atomima niti da grade valentne ili kohezione veze.

Magnetna svojstva feromagnetika nisu uslovljena samo strukturom atoma (molekula), već prvenstveno zavise od strukture kristalne rešetke, odnosno od rasporeda i uzajamne povezanosti čestica u kristalu. Dakle, usled kristalne strukture stvaraju se takvi uslovi u atomima, pod kojim elektroni u unutrašnjim nepopunjenim ljuskama mogu da zadrže istu orijentaciju i smer magnetnih momenata ako jednom budu dovedeni u takve položaje. Ako kristalna struktura ne daje takve uslove, elementi prelazne grupe, iako imaju nepopunjene unutrašnje elektronske slojeve, ne mogu imati feromagnetne osobine. Kao što se vidi, da bi neko telo bilo feromagnetno treba da bude ispunjeno više uslova, te se time i objašnjava zašto tako mali broj tela ima feromagnetne osobine.

1907. godine Vajs je ustanovio da su feromagnetna svojstva tela tesno vezana s postojanjem takozvanih *domena*. Domene čine posebne grupe atoma koji su tako raspoređeni jedan pored drugog da magnetni momenti njihovih elektrona imaju isti pravac i smer. Formiranje domena može se objasniti na sledeći način: na malim rastojanjima magnetni momenti se orijentišu paralelno i u istom smeru zbog kvantno-mehaničke težnje ka paralelnoj orijentaciji, a preko određenog broja tih momenata (dimenzije domena) prevladava suprotna orijentacija, uslovljena makroskopski poznatom tendencijom ka minimumu energije. Sličnu pojavu treba zamisliti u prostoru da bi se dobila potpuna slika o formiranju domena u celom feromagnetnom telu. Pri formiranju domena mnogi faktori igraju ulogu: mehaničko naprezanje u telu, temperatura, spoljašnja i unutrašnja magnetna polja i primese drugih tela. Svi ti faktori uslovljavaju veličinu domena kao i orijentaciju njihovih magnetnih momenata.

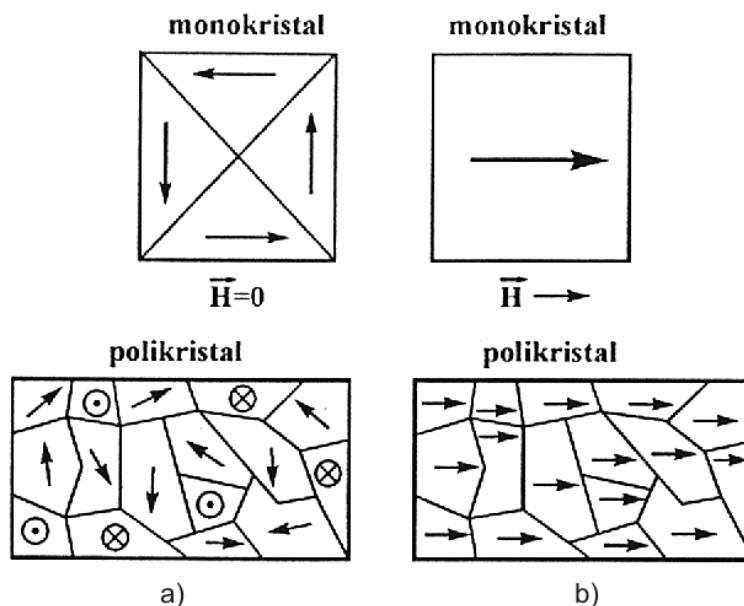
Postojanje domena može se pokazati na sledeći način: površina feromagnetnog tela se najpre dobro uglača, a zatim prevuče uljem koje u sebi sadrži fino isitnjeni gvozdeni prah, i posmatra pod mikroskopom. Tada se vide male pravilne figure koje gradi gvozdeni prah. Te figure odgovaraju oblicima domena i predstavljene su na slici 2.8a.

Linearne dimenzije magnetnih domena su 10 – 100  $\mu\text{m}$ , a u okviru jednog domena nalazi se grupa od  $10^{15}$  atoma. Usled jake sprege između paralelnih magnetnih momenata elektrona susednih atoma, stvara se magnetno polje unutar domena; ceo domen može se smatrati kao mali (elementarni) stalni magnet. Samim tim, svaki domen u okviru jednog feromagnetnog tela pokazuje se namagnetisan do zasićenja, nezavisno od toga da li se nalazi u spoljašnjem magnetnom polju (ili ako se već tamo nalazi, ne zavisi od jačine tog polja).

Još jednom treba istaći da se magnetni domeni mogu formirati samo u kristalnom stanju tela.

Kad se feromagnetno telo ne nalazi u spoljašnjem magnetnom polju  $\vec{H}$ , elementarni magneti orijentisani su haotično (slika 2.8a), tako da se njihova magnetna polja poništavaju i nema makroskopskog ispoljavanja magnetnih svojstava. Takvo stanje domena u kristalu karakteriše minimalna energija magnetnog polja, što obezbeđuje stabilnu ravnotežu ovog sistema.

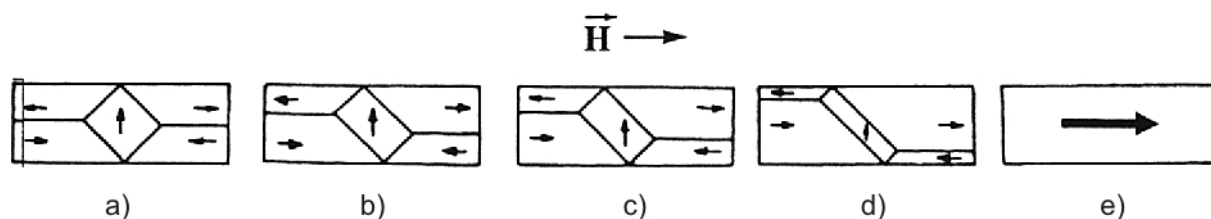
Kad se feromagnetno telo nađe u spoljašnjem magnetnom polju, magnetni momenti domena orijentišu se, u zavisnosti od jačine polja, delimično ili potpuno u pravcu polja. U idealnom slučaju, u dovoljno jakom polju, svi domeni biće orijentisani kao na slici 2.8b. Tada rezultujuće makroskopsko polje svih domena neće biti jednako nuli, već će imati vrednost koja može višestruko da premaši jačinu primenjenog polja.



Slika 2.8. Šematski prikaz orijentacije domena feromagnetika

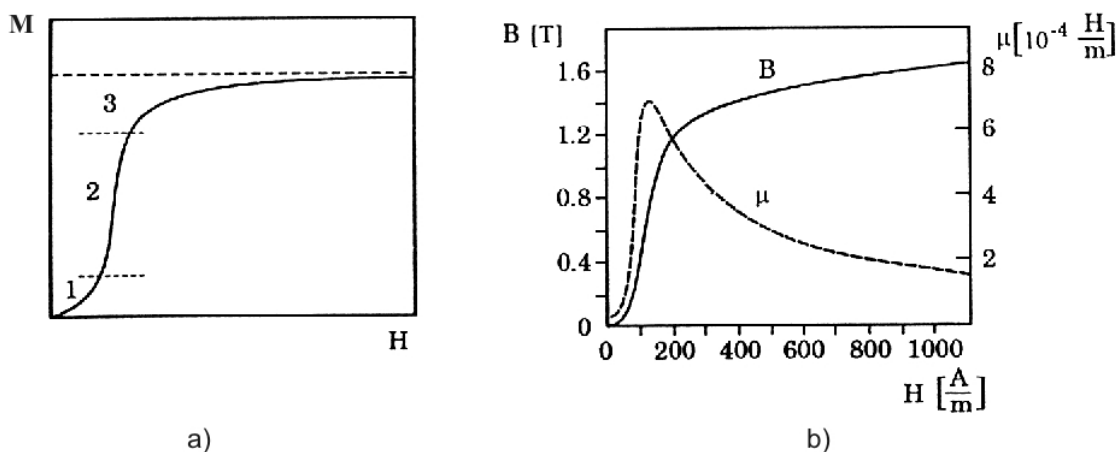
Mehanizam delovanja spoljašnjeg magnetnog polja može se objasniti preko dva međusobno nezavisna procesa:

- obrtanje vektora magnetne polarizacije u pravcu primenjenog jakog magnetnog polja
- ako je primenjeno polje slabo, efekat maksimalne magnetizacije se postiže povećanjem zapremine domena čija je orijentacija u odnosu na polje povoljna, na račun nepovoljno orijentisanih domena (slika 2.9):



Slika 2.9. Efekat primenjenog polja na domene monokristala

Opisani mehanizam može se predstaviti funkcionalnom zavisnošću magnetne polarizacije i jačine primenjenog polja (slika 2.10a). Na grafiku se mogu uočiti tri oblasti:



Slika 2.10. Osnovne krive magnetizacije feromagnetika

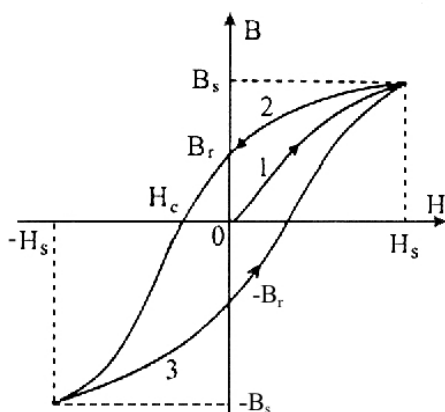
- 1) oblast u kojoj se proces namagnetisavanja ostvaruje reverzibilnim (povratnim) pomeranjem granica domena, odnosno oblast linearne srazmernosti između magnetne polarizacije i spoljašnjeg magnetnog polja ( $M = \chi \cdot H$ )
- 2) oblast ireverzibilnog (nepovratnog) pomeranja granica domena ili Rejljeva oblast ( $M = \chi \cdot H + const \cdot H^2$ )
- 3) oblast intenzivne rotacije vektora magnetnih momenata domena sa težnjom da se zauzme pravac kolinearan sa pravcem polja; dalje povećanje jačine spoljašnjeg polja praktično ne izaziva promene magnetne polarizacije i predstavlja oblast zasićenja.

Istovremeno, moguće je pratiti i promenu magnetne indukcije u materijalu u funkciji spoljašnjeg polja (slika 2.10b). Najstrmiji deo krive prikazuje naglu promenu preorijentacije domena (i do blizu  $180^\circ$ ) i stoga vrlo brzi rast magnetne indukcije, a kad se svi domeni preorijentišu nastaje zasićenje. Zbog nelinearne zavisnosti indukcije od inicijalnog polja duž krive prvobitne magnetizacije, magnetna propustljivost  $\mu$  kod feromagnetnih materijala nije konstantna veličina, već je i ona funkcija spoljašnjeg polja. Tek u jakom spoljašnjem polju permeabilnost dobija konstantnu vrednost sličnu onoj kod paramagnetnih materijala.

Pojava namagnetisavanja feromagnetika u spoljašnjem magnetnom polju zove se magnetna indukcija.

Jedna od osnovnih karakteristika feromagnetika je histerezisna petlja ili *histerezis*. To je zatvorena kriva linija koja pokazuje promenu magnetne indukcije u feromagnetiku sa promenom jačine spoljašnjeg polja, u jednom zatvorenom ciklusu od  $-H_s$  do  $H_s$  (jačina spoljašnjeg polja pri kojoj dolazi do saturacije), kao što je prikazano na slici 2.11.

Kriva 1 već je objašnjena na slici 2.10b. Ono što je zanimljivo, to je ponašanje materijala pri smanjenju jačine magnetnog polja: tok krive neće biti 1 nego 2, jer smanjenje magnetne indukcije prati smanjenje jačine magnetnog polja sa izvesnim zaostajanjem (histereo-zaostajati). Naime, magnetna indukcija opada sporije, pa je za  $H=0$  njena vrednost  $B=B_r$  (*remanencija*). Ova pojava tumači se time što i pri takvim uslovima magnetni domeni i dalje ostaju delimično orijentisani. *To praktično znači da feromagnetici mogu da se namagnetišu i da postanu stalni magneti*. Primena spoljašnjeg polja  $\vec{H}$  suprotnog smera dovodi do dezorijentacije domena i opadanja indukcije na nulu, to jest do razmagnetisavanja materijala; jačina polja  $H_c$  pri kojoj se to dešava zove se *koercitivno polje*. Zatim ide zasićenje u negativnom smeru i konačno porast indukcije po krivoj 3, čime se petlja zatvara.

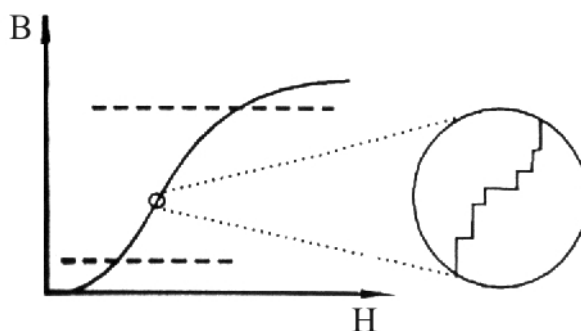


Slika 2.11. Histerezisna petlja

Može se zaključiti da kod feromagnetika vrednost magnetne indukcije zavisi kako od trenutne vrednosti delujućeg magnetnog polja, tako i od prethodne jačine polja i faze namagnetisavanja. Ova dva poslednja uzroka često se nazivaju "prošlošću" materijala.

Histerezijsne zavisnosti između pomenutih veličina posledica su postojanja nepovratnih procesa pri namagnetisavanju feromagnetika. Energija izgubljena u toku jednog ciklusa namagnetisavanja srazmerna je površini histerezijsne petlje. Premagnetisavanje feromagnetika je ireverzibilan proces praćen određenim utroškom energije, što se u konačnom ishodu transformiše u toplotu i prenosi na okolinu. Ova ireverzibilnost predstavlja specifičnost feromagnetika i uslovljena je njegovom "magnetnom teksturom".

Postoje još dve zanimljive pojave vezane za feromagnetičke: prva od njih je *Barkhausenov efekat*. Pod Barkhausenovim efektom podrazumeva se pojava specifičnog šuma koji se može detektovati odgovarajućim instrumentima prilikom procesa namagnetisavanja polikristalnog uzorka. Šum je posledica nagle preorijentacije domena pri povećanju spoljašnjeg polja, što prouzrokuje diskontinualan porast indukcije u centralnom strmom delu krive namagnetisavanja (slika 2.12).

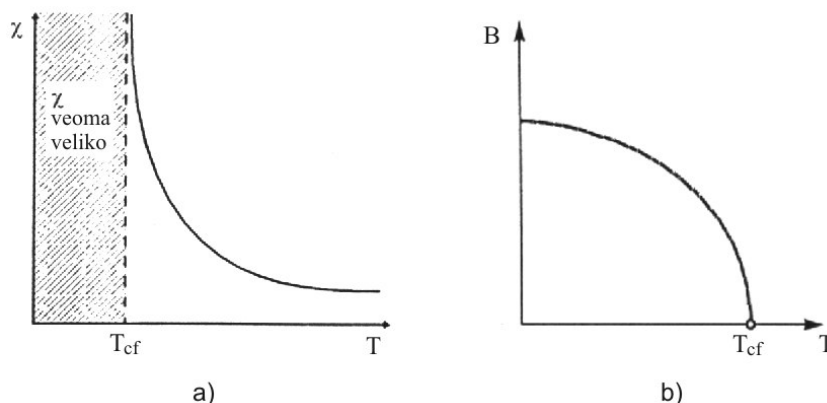


Slika 2.12. Barkhausenov efekat

Druga zanimljiva pojava je *magnetostrikcija*, to jest mogućnost elastičnih promena dimenzija tela pod dejstvom magnetnog polja. Može biti pozitivna i negativna, a promene dimenzija nisu iste u svim pravcima, već su vezane sa pravcima kristalnih osa.

Na kraju je ostalo da se ispita zavisnost feromagnetnih pojava od temperature. Eksperimenti su pokazali da za svaki feromagnetni materijal postoji jedna temperatura na kojoj se gube feromagnetna svojstva; ta temperatura se zove *Kirijeva temperatura* ili *Kirijeva tačka* ( $T_{cf}$ ). Za gvožđe ta temperatura iznosi oko  $770^{\circ}\text{C}$ , a za nikel oko  $360^{\circ}\text{C}$ .

Kirijeva temperatura tumači se razaranjem domenske strukture na višim temperaturama, zbog intenzivnog termičkog kretanja čestica koje dovodi do narušavanja uredenosti magnetnih momenata u okviru domena. Ako se telo nalazi na temperaturi višoj od Kirijeve tačke, onda ne može da dođe do formiranja domena. Kada ne postoje magnetni domeni, tada iščezavaju i feromagnetna svojstva tela. Iznad Kirijeve temperature čvrsti feromagnetici poseduju paramagnetna svojstva.



Slika 2.13 Uticaj temperature na feromagnetna svojstva



Na slici 2.13a prikazana je promena susceptibilnosti sa temperaturom, a na slici 2.13b promena indukcije sa porastom temperature.

Pored magnetnih svojstava, na temperaturi Kirijeve tačke menjaju se i neke druge karakteristike supstancije, kao što su specifični toplotni kapacitet, toplotno širenje, stišljivost, gustina. To potvrđuje opštu povezanost magnetnih sa ostalim svojstvima tela.

U feromagnetike spadaju: gvožđe, kobalt i nikl kao najznačajniji predstavnici, zatim neke retke zemlje, Hojslerova legura (15% Al, 61% Cu, 24% Mn) sastavljena od neferomagnetnih elemenata, razne druge legure (čelik, dinamolim, permaloj), itd.

Red veličine magnetnih susceptibilnosti nekih feromagnetnih materijala:

$\chi_f = 200$  za kobalt                       $\chi_f = 5.000$  za dinamolim

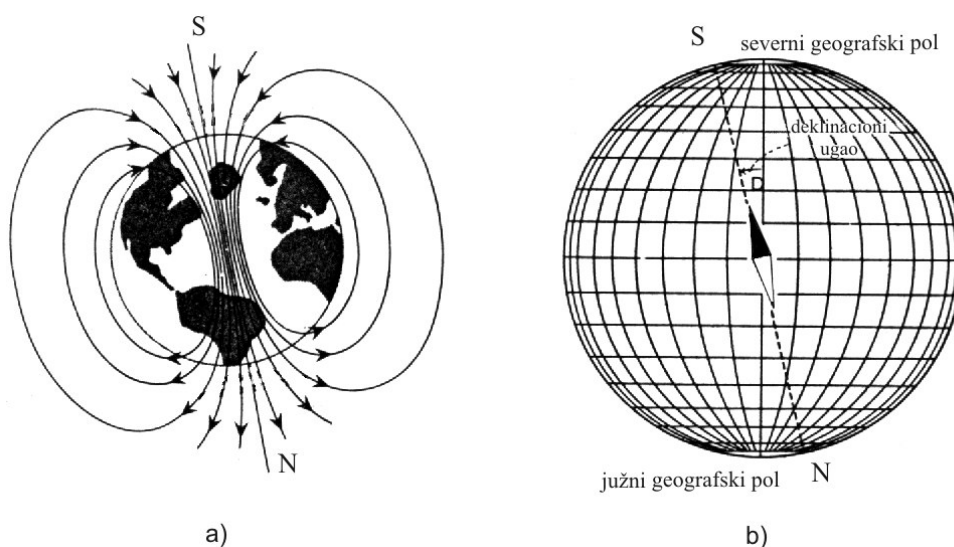
$\chi_f = 1.100$  za nikl                         $\chi_f = 60.000$  za permaloj

$\chi_f = 1.500$  za gvožđe

## 2.4. Magnetno polje Zemlje

Na osnovu činjenice da se magnetna igla postavlja uvek u jedan određeni položaj u odnosu na Zemlju, može se zaključiti da Zemlja kao celina predstavlja neku vrstu velikog stalnog magneta koji obrazuje magnetno polje u svim tačkama okolnog prostora.

Posmatrano u aproksimaciji, Zemljino magnetno polje ima oblik koji bi davao jedan magnetni dipol smešten u unutrašnjost Zemlje, a čija osa zaklapa sa geografskom osom Zemlje ugao od približno  $15^\circ$ . S obzirom na takvu koncepciju, uvedeni su pojmovi Zemljinih magnetnih polova, magnetnih meridijana i magnetnog ekvatora (slika 2.14).



Slika 2.14. Prikaz delovanja magnetnog polja Zemlje

Magnetni polovi Zemlje se ne poklapaju sa geografskim polovima: jedan magnetni pol je u severnoj Kanadi na  $70^\circ$  severne geografske širine i  $96^\circ$  zapadne dužine, dok je drugi na  $72^\circ$  južne geografske širine i  $157^\circ$  istočne dužine. Pošto se suprotni magnetni polovi privlače, a severni pol magnetne igle uvek okreće prema severu, onda se na severnoj Zemljinoj hemisferi nalazi južni magnetni pol S, a na južnoj hemisferi je severni magnetni pol N (slika 2.14a).

Magnetni meridijani bi približno bili krugovi na Zemljinoj površini koji bi prolazili kroz magnetne polove Zemlje.

Magnetni ekvator povezuje mesta na Zemljinoj površini u kojima linije sile magnetnog polja Zemlje imaju približno horizontalan pravac.

Magnetno polje Zemlje menja se i po intenzitetu i po pravcu kako sa mestom na Zemljinoj površini, tako i sa vremenom.

Kad se magnetna igla postavi u određenu tačku na Zemljinoj površini, ona se okreće sve dok ne zauzme pravac linija sile Zemljinog magnetnog polja.

Ugao koji magnetna igla na jednom mestu Zemljine površine zaklapa sa geografskim pravcem sever-jug zove se *ugao deklinacije*. Taj ugao može da varira na Zemljinoj površini od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  i istočno i zapadno. U našoj zemlji deklinacija je zapadna i kreće se oko  $8^\circ$  (slika 2.14b).

Kad se magnetna igla postavi tako da se može obrtati oko horizontalne ose, onda će ona zaklapati sa horizontom izvestan ugao koji se zove *ugao inklinacije*, koji kod nas iznosi oko  $60^\circ$ . To je ugao između horizonta i tangente na liniju sile u datoj tački. Na osnovu slike 2.14a, može se zaključiti da će na severnoj hemisferi Zemlje severni pol magnetne igle stajati niže, dok će na južnoj hemisferi biti obrnuto.

Što se tiče vremenskih promena Zemljinog magnetnog polja, može se zaključiti da su one veoma složene, raznovrsne i periodične. Takve promene koje nisu vezane za kretanje Zemlje zovu se *sekularne promene*. Ustanovljeno je da se južni magnetni pol Zemlje kreće oko severnog geografskog pola sa periodom od 1000 godina. Oko  $80^\circ$  severne i južne geografske širine nalaze se zone u kojima se najčešće dešavaju poremećaji (perturbacije) Zemljinog magnetnog polja – „aurora borealis“ na severu i „aurora australis“ na jugu. Dešavaju se i povremene snažne perturbacije magnetnog polja Zemlje koje se nazivaju „magnetne bure“.

Uzroci postojanja magnetnog polja Zemlje su vrlo složeni. Pretpostavka da polje potiče od stalnih magneta u unutrašnjosti Zemlje nije mogla da objasni mnoge ustanovljene faktore. Osim toga, na visokim temperaturama u Zemljinoj unutrašnjosti ne mogu da postoje stalni magneti. Druga pretpostavka, da je obrtanje Zemlje uzrok pojave polja, nije takođe davala zadovoljavajuće rezultate. Pouzdano je ustanovljeno da pored komponenti polja koje potiču iz Zemljine unutrašnjosti, postoje i uzroci koji dolaze iz atmosfere, pa čak i iz vasiona. Poznato je da se na visinama od preko 80 km nalazi znatan broj molekula vazduha u jonizovanom stanju, koji čine jonosferu. Dnevna i godišnja varijacija zagrevanja atmosfere uzrokuju izvesne fluktuacije jonosfere sa odgovarajućim periodom. Takve fluktuacije jonizovanih molekula predstavljaju električne struje koje obrazuju svoja magnetna polja. Na taj način se objašnjavaju dnevne i godišnje periodične promene Zemljinog polja. Ustanovljeno je da magnetne bure imaju izvesne veze sa pojavom pega na Suncu. Pojava pega na Suncu praćena je snažnim magnetnim poljima zbog intenzivnog kretanja žitke Sunčeve mase koja se sastoji od jonizovanih atoma, pa ta kretanja uslovljavaju snažne električne struje. To znači da na magnetno polje Zemlje utiče i magnetno polje Sunca. Druge komponente polja Zemlje potiču iz unutrašnjosti, no te komponente su najmanje pristupačne posmatranju. Pretpostavlja se da usijana magma u unutrašnjosti Zemlje vrši izvesna kretanja sa dugim periodima. Ta kretanja mogu da predstavljaju električne struje koje su delimični uzrok pojave Zemljinog magnetizma; njima se pripisuju i pomenute sekularne promene.

Intenzitet magnetne indukcije Zemljinog magnetnog polja na polovima je približno  $6 \cdot 10^{-5}$  T, a na ekvatoru oko polovine tog iznosa.

Veštački sateliti su konstatovali da se Zemljino magnetno polje prostire do visine od 50.000 km.

### 3. TEMATSKA JEDINICA: OSOBINE MAGNETNOG POLJA – STALNI MAGNETI

Opšta teorija magnetizma, opisana u prethodnom poglavlju, predstavlja pokušaj detaljnog sagledavanja i objašnjavanja magnetnih pojava na nivou znanja stečenih u srednjoj školi. Načini zaključivanja, kao i redosled uvođenja ključnih fizičkih veličina za objašnjavanje magnetnog polja, uz značajna uprošćavanja mogu se primeniti i za učenike VIII razreda osnovne škole.

Ovo poglavlje posvećeno je obradi tematske jedinice *Osobine magnetnog polja stalnih magneta*, koja je predviđena planom i programom za VIII razred osnovne škole.

#### 3.1. Opšte metodičke napomene

Tematska jedinica o osobinama magnetnog polja stalnih magneta predviđena je da se radi u toku dva školska časa: *Magnetno polje stalnih magneta* i *Magnetno polje Zemlje*, a u okviru nastavne teme *Magnetno polje*. Na prvi pogled može se pomisliti da je to malo vremena za objašnjenje tako kompleksne pojave kao što je magnetizam. Treba, međutim, imati u vidu nekoliko činjenica: prvo, u okviru dva časa proučava se samo magnetno polje *stalnih magneta* (elektromagneti se proučavaju posebno) i pri tom se ozbiljno računa na stečeno predznanje iz VI razreda osnovne škole. Naime, podelu magneta na prirodne i veštačke, uzajamno delovanje magnetnih polova, pa čak i pojmove magnetnog polja i magnetne sile, učenici proučavaju u VI razredu u okviru nastavne teme *Sila*. Nikako ne treba zanemariti ni fasciniranost učenika magnetima i njihovu sklonost ka samostalnom eksperimentisanju, što svakako doprinosi poboljšavanju kvaliteta znanja iz ove oblasti.

Sledeća činjenica koja ide u prilog predviđenom broju časova za obradu tematske jedinice je to što se osobine magnetnog polja proučavaju samo *fenomenološki*, bez mnoštva fizičkih veličina koje se tu pojavljuju i funkcionalnih veza među njima (u udžbeniku postoji samo izraz za izračunavanje magnetnog fluksa). Ovo je potpuno razumljivo, jer pojmovi kao što su: magnetna propustljivost, magnetni moment, vektorski i skalarni proizvod, nisu ni predviđeni za uzrast VIII razreda osnovne škole. Pri tom, neko objašnjenje ipak *mora* postojati; tako je u udžbeniku posebno naglašena veza magnetizma i kretanja naelektrisanja i dato je poređenje nastanka magnetnog polja u strujnom provodniku i stalnom magnetu.

Tako dolazimo do redosleda izlaganja nastavne teme *Magnetno polje* u udžbeniku, koji je svakako diskutabilan. U aktuelnom udžbeniku, naime, prvo se obrađuje magnetno polje električne struje, pa tek onda magnetno polje stalnih magneta. Postavlja se pitanje zašto je to tako urađeno, kad se zna da su stalni magneti otkriveni mnogo pre električnih. Odgovor bi bio sledeći: iako se tek 1820. godine otkrilo da se oko provodnika sa strujom javlja magnetno polje, zbog praktičnih mogućnosti eksperimentisanja, mehanizam nastanka tog polja objašnjen je ranije nego kod stalnih magneta. Tako se u udžbeniku prvo obrađuje izgled magnetnog polja oko raznih provodnika sa strujom, koji se može eksperimentalno proveriti. Definiše se *magnetni dipol* kao zatvoreni kružni provodnik kroz koji prolazi struja i *osa dipola* kao prava koja spaja južni i severni pol; severni dipol magnetnog dipola okrenut je u onom pravcu i smeru u kome bi se pomerao desni zavrtanj kada je smer njegove rotacije isti kao smer električne struje kroz kružni provodnik. Kao što se iz definicije magnetnog dipola vidi, njegova osa u stvari predstavlja vektor orbitalnog magnetnog momenta elektrona (slika 2.5). Sada se ukazuje mogućnost da se i magnetno polje stalnih magneta objasni pomoću modela orbitalnog kretanja elektrona oko jezgra, to jest pomoću kružne mikrostruje. U udžbeniku je to i urađeno, uvođenjem pojma *atomske dipole*. U slučaju molekula, bio bi to molekulski dipol ili molekularni magnet sa dva pola, kao što predviđa Veberova molekularna teorija magnetizma.

Posle definisanja magnetnog dipola, u udžbeniku su date dve osnovne fizičke veličine za opisivanje magnetnog polja: magnetna indukcija  $\vec{B}$  (predstavljena vektorom, koji je tangenta na magnetnu liniju sile) i magnetni fluks  $\Phi$  homogenog polja (on je neophodan za kasnije objašnjenje elektromagnetne indukcije).

Pojava magnetne indukcije kao načina namagnetisavanja tela bez dodira, samo je navedena pre nastavne jedinice o stalnim magnetima, a objašnjena je kasnije pomoću usmeravanja osa atomskih dipola u pravcu i smeru spoljašnjeg polja.

### **3.1.1. Nastavne metode, oblici i sredstva**

Znači, za predviđena dva časa, potrebno je sa učenicima ponoviti ono što već znaju iz VI razreda, zatim im objasniti kako nastaje i kakve osobine ima magnetno polje stalnih magneta i na kraju reći nešto o magnetnom polju Zemlje. Da bi se sve to uradilo na najbolji mogući način, nastavnik mora pažljivo odabrati nastavne metode, oblike i sredstva, i uputiti učenike na razne izvore znanja u kojima se može naći i nešto više o proučavanoj temi.

Nastavne metode mogu biti verbalne, demonstraciono-ilustracione i laboratorijsko-eksperimentalne. Od verbalnih metoda, koristi se usmeno izlaganje, uglavnom u formi dijaloga, gde nastavnik svojim načinom izlaganja treba da navede učenike da sami izvedu određene zaključke. Monolog je opravdano koristiti samo u slučaju kada se izlaže sasvim novo gradivo i kada se ono želi predstaviti učenicima na sistematičan, pregledan i logičan način, a za kratko vreme. Monolog karakteriše izraženu nastavnikovu aktivnost i relativno pasivan položaj učenika. U konkretnom slučaju, monolog bi se koristio samo u objašnjavanju magnetnog polja teorijom atomskih (molekularnih) dipola. Najvažnija nastavna metoda koja se koristi za objašnjavanje osobina magnetnog polja stalnih magneta je demonstraciona. Kao demonstracioni ogledi biće prikazani jednostavni ogledi tipa »Uradi sam«, koji će predstavljati osnovu za objašnjavanje osobina magnetnog polja stalnih magneta. Osim ovakve eksperimentalne metode nastavnog tipa, u obradi teme o magnetizmu mogu se koristiti i eksperimentalne metode vannastavnog tipa, kao i praktični radovi učenika; o njima će kasnije biti više reči. Sistem učenja koji se na ovaj način ostvaruje doprinosi dubljem, zrelijem i trajnijem usvajanju znanja, u odnosu na uobičajeno mehaničko učenje.

Grupni rad je jedan od nastavnih oblika pogodan za obradu tematske jedinice o osobinama magnetnog polja stalnih magneta. O broju, veličini i rasporedu rada pojedinih grupa biće više rečeno u delu o strukturi nastavnih jedinica (časova).

Nastavna sredstva koja se koriste u obradi tematske jedinice o magnetizmu stalnih magneta su raznovrsna: razni modeli, slike, laboratorijski pribor (špiritusna lampa, epruveta), alat za rad (klješta), kompas i naravno stalni magneti raznih oblika, veličina i jačina.

Udžbenik je najvažniji izvor znanja koji učenici treba da koriste, jer su u njemu sistematično, logično i pregledno predstavljene sve relevantne informacije vezane za određenu nastavnu temu. Da bi se znanja upotpunila i trajnije zadržala, potrebno je da nastavnik preporuči učenicima i druge izvore znanja: enciklopedijski rečnik, radna sveska, stručni časopisi, TV emisije, internet mreža i slično. U praksi se potvrđuje da takvi „neobavezni“ načini sticanja znanja pozitivno utiču na učenike ovog uzrasta, a naročito ako su ilustrovani slikama i simulacijama.

### **3.1.2. Struktura i tok časa**

Pod strukturom nastavnog časa podrazumeva se unutrašnja povezanost i međusobni odnos pojedinih programsko-sadržajnih elemenata i njihova vremenska raspoređenost.

Prema programsko-sadržajnoj strukturi, nastavni čas treba da sadrži sledeće osnovne elemente: organizaciju nastavnog časa, proveru domaćih zadataka, obnavljanje i utvrđivanje pređenog gradiva u cilju pripreme učenika za usvajanje novih nastavnih znanja, izlaganje novog gradiva, sintetizovanja obrađene methodske jedinice i zadavanje domaćeg zadatka.

Kad je reč o vremenskoj strukturi nastavnog časa fizike, prihvaćena je šema: uvodni, glavni i završni deo časa. Ova podela ne znači nikakvu odvojenost, niti nastavnik treba da naglašava kada počinje novi deo časa; radi se samo o pokušaju objedinjavanja grupe srodnih informacija u jednu celinu.

U nastavku rada, prikazan je jedan od mogućih koncepata nastavnih časova predviđenih za obradu magnetnog polja stalnih magneta.

#### Prvi čas

Uvodni deo časa bio bi posvećen ponavljanju gradiva VI razreda: podela magneta, magnetni polovi i njihovo uzajamno delovanje, pokušaj definisanja magnetnog polja i njegovog odnosa sa magnetnom silom.

Glavni deo časa bio bi posvećen samostalnom izvođenju jednostavnih eksperimenata od strane učenika. Učenike bi trebalo podeliti u grupe po četvoro (najbolje prema mestu sedenja, da bi se uštedelo na vremenu) i dati svakoj od tih grupa da radi po jedan eksperiment. Sav potreban materijal nalazio bi se već pripremljen na jednom većem stolu, tako da svi učenici mogu videti o čemu se radi. Nije podesno podeliti eksperimente po klupama iz dva razloga: učenike bi više zaokupiralo to što je na stolu ispred njih nego nastavnikova priča, a osim toga, ne bi svi učenici mogli videti sve eksperimente. Dakle, svaka bi grupa izašla, i uz nastavnikovu pomoć i instrukcije izvršila eksperiment. U formi razgovora, doneli bi se zaključci i pokušao objasniti upravo izvršeni eksperiment. Ono što prevazilazi dotadašnja znanja učenika, objasnio bi nastavnik; to se najviše odnosi na ulogu atomskog dipola u procesu namagnetisavanja tela. Ne treba zaboraviti da je učenicima već poznat pojam magnetnog dipola i da samo treba ukazati na analogiju sa atomskim dipolom, tj. zaći u strukturu supstancije. Objasnjenje da proces namagnetisavanja tela predstavlja usmeravanje osa njegovih atomskih dipola u pravcu spoljašnjeg magnetnog polja je dosta slikovito i jednostavno, tako da ga učenici VIII razreda mogu usvojiti bez problema.

U završnom delu časa, trebalo bi ponoviti šta je rađeno na času i šta je zaključeno o osobinama magnetnog polja stalnih magneta. U tu svrhu, podesno je iz svake grupe odabrati po jednog učenika, koji bi u jednoj rečenici izvestio šta je zaključeno u eksperimentu u kojem je on učestvovao. Na kraju časa, obavezno bi trebalo zadati za domaći zadatak da se pregledno ispišu sve uočene osobine magnetnog polja, tim redom kojim su vršeni eksperimenti (redosled eksperimenata bira nastavnik, poštujući princip sistematičnosti sticanja znanja).

#### Drugi čas

U uvodnom delu ovog nastavnog časa trebalo bi proveriti da li je urađen domaći zadatak i u kom stepenu su učenici uspeli da savladaju gradivo sa prethodnog časa. Provera se može obaviti usmenim propitivanjem pojedinih učenika, pri čemu treba obratiti pažnju na sledeće:

- da li su učenici koristili i udžbenik, ili su naučili samo minimum informacija iz sveske
- da li su njihovi odgovori vezani samo za makroskopske efekte izvršenih eksperimenata, ili su detaljniji i vezani za mikroskopske pojave
- da li su i sami probali kod kuće neki od eksperimenata i kakva su im iskustva
- imaju li ideju za neki praktičan rad ili eksperiment na temu magnetnog polja stalnih magneta (često se dešava da učenici imaju fantastične i veoma praktične ideje).

Glavni deo časa bio bi posvećen proučavanju stalnog magnetnog polja Zemlje. Ovo je jako zanimljiva tema za učenike i bez preterivanja se može reći da svaku novu informaciju oni

dočekuju sa ushićenjem, naročito ako je propraćena nekim eksperimentom. Eksperimenti sa namagnetisanim nožićem za brijanje i iglom koji uvek pokazuju sever, zatim magnetni radijator, mogućnost namagnetisavanja predmeta na Zemlji (poput pruga, brodova, dleta), golicaju dečiju maštu i prouzrokuju niz zanimljivih pitanja upućenih nastavniku. Navedeni eksperimenti (koji će kasnije biti detaljnije objašnjeni) mogu se izvesti istovremeno i to pred celim razredom.

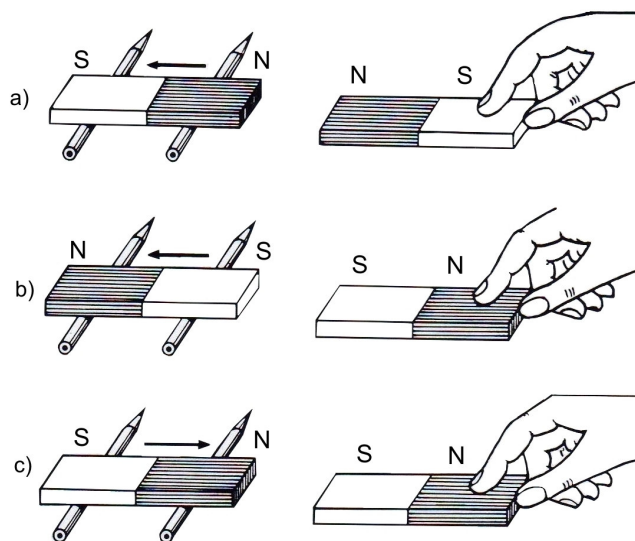
Završni deo časa sastojao bi se od sistematizacije stečenih znanja o magnetnom polju stalnih magneta, uz par korisnih napomena nastavnika o čuvanju i primeni stalnih magneta.

### 3.2. Jednostavni eksperimenti u nastavi – stalni magneti

Većina navedenih eksperimenata su veoma jednostavni za izvođenje; ima i onih teže izvodljivih, kao i onih za koje je potrebno vreme. Neki eksperimenti su navedeni samo načelno, kao mogućnost. Zajedničko za sve njih je da nisu birani po atraktivnosti, već po očiglednosti. Glavni cilj je sistematsko sticanje znanja iz oblasti magnetnog polja stalnih magneta.

#### 3.2.1. Polovi magneta i njihovo uzajamno delovanje

Ako se stalni magnet u obliku šipke stavi u kutiju sa gvozdenim opiljcima, opiljci će ostati čvrsto priljubljeni pretežno uz krajeve šipke. Ta mesta na kojima je privlačenje opiljaka najjače nazivaju se *polovi magneta*. Svaki magnet ima dva pola: severni N i južni S. Da bi se ustanovilo kakvo je uzajamno delovanje tih polova, izvodi se jednostavan eksperiment prikazan na slici 3.1.



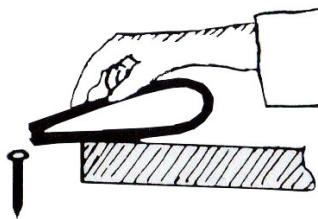
Slika 3.1. Uzajamno delovanje polova magneta

Potreban materijal: dva šipkasta magneta i par običnih okruglih olovaka.

Izvođenje eksperimenta: jedan magnet stavi se na olovke, čija je uloga smanjivanje trenja i olakšavanje kretanja. Na slikama 3.1a i 3.1b magnet na olovkama pomera se u levo, jer mu se približava isti pol drugog magneta. Na slici 3.1c magnet na olovkama se pomera u desno, jer mu se približava suprotni pol drugog magneta.

Zaključak: istoimeni polovi dva magneta međusobno se odbijaju, dok se raznoimeni privlače.

Jedno od zanimljivih pitanja koje bi se tu moglo postaviti je: šta bi se desilo posle spajanja dva pola jednog te istog magneta? Odgovor je jednostavan, a do njega se dolazi pomoću eksperimenta prikazanog na slici 3.2.

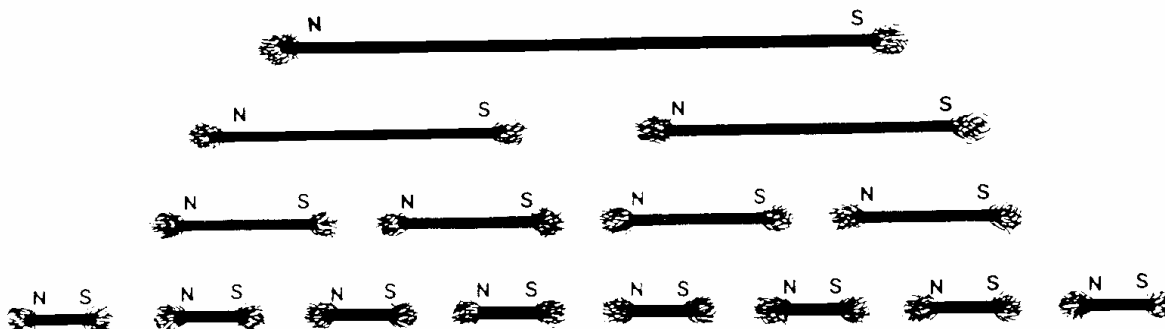


Slika 3.2. *Dejstvo suprotnih magnetnih polova u jednoj tački*

Potrebno je namagnetisati jednu elastičnu čeličnu traku; bilo koji kraj te trake privlači ekser, ali ako se i drugi pol stavi do njega, dejstvo magneta prestaje. Zaključak je da dva suprotna magnetna pola iste jačine poništavaju jedan drugom dejstvo kada deluju u istoj tački.

Još jedno izuzetno važno pitanje koje se može lako razrešiti eksperimentnom, a čini suštinu procesa namagnetisavanja tela: šta će se desiti sa magnetom i njegovim polovima ako se preseče po polovini?

Potrebni pribor za ovaj eksperiment čine magnetna igla i klješta za sečenje žice (slika 3.3). Ako se klještima preseče magnetna igla, onda se na ovim presečenim krajevima formiraju dva suprotna magnetna pola, a oba ovako dobijena komada su stalni magneti sa svojim polovima.



Slika 3.3. *Magnet kao dipol*

Nastavi li se sa deljenjem igle, i dalje će se dobijati novi stalni magneti. Lako se proverava da su polovi baš tako raspoređeni kao što je na slici prikazano (prinošenjem nekog šipkastog magneta). Produži li se u mislima ovo presecanje magnetne igle, dolazi se do najsitnijih delova – atoma i molekula, što znači da i oni imaju osobine magneta. Te osobine potiču od kretanja naelektrisanih čestica, to jest elektrona oko jezgra atoma. Tako se svaki pojedinačni atom zbog kretanja elektrona ponaša kao mali zatvoreni provodnik sa strujom – mali magnetni dipol, odnosno atomski dipol koji ima svoju magnetnu osu. Magnetizam je posledica kretanja naelektrisanja. Ovaj zaključak je od ključnog značaja za eksperimente koji slede.

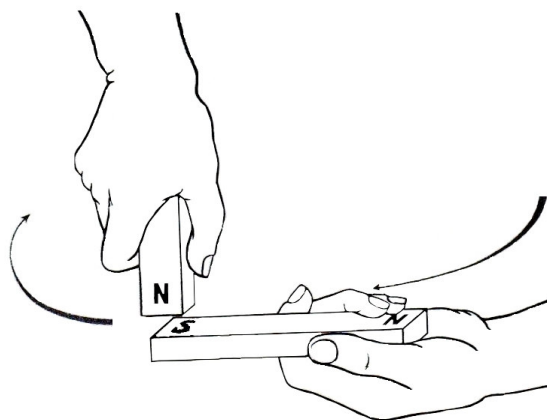
### 3.2.2. Dobijanje veštačkih magneta

Da li je neki predmet od gvožđa ili čelika namagnetisan ili ne, najlakše se proverava magnetnom iglom prinoseći joj prethodno jedan, a zatim drugi kraj ispitivanog predmeta. Ako u oba slučaja dolazi do privlačenja, znači da polovi nisu formirani i da je predmet nenamagnetisan.

Na ovom mestu, nas interesuje nešto drugo: kako od tog nenamagnetisanog čeličnog ili gvozdenog predmeta napraviti magnet?

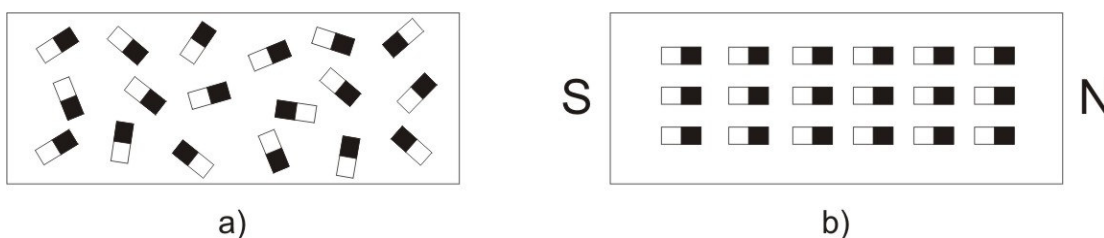
Potrebni materijal: jedan stalni magnet (koji bi teoretski trebao da je prirodni), šivaća igla ili neki drugi prizmatičan predmet od gvožđa ili čelika i gvozdeni opiljci.

Izvođenje eksperimenta: prvo treba pokazati da je igla nenamagnetisana i da zaista ne privlači opiljke. Ako se stalni magnet prevuče preko igle nekoliko puta u istom smeru (vraćanje se mora vršiti u širokom luku kroz vazduh), igla će se namagnetisati i početi da privlači opiljke. Pri tome se na krajevima igle formiraju polovi u zavisnosti od smera kretanja stalnog magnetna, baš kao što je prikazano na slici 3.4.



Slika 3.4. Dobijanje veštačkih magnetna

Objašnjenje eksperimenta daje Veberova molekularna teorija magnetizma, po kojoj se svako telo sastoji od velikog broja nepravilno raspoređenih molekularnih magnetna (slika 3.5a). Kada se po takvom telu prevuče stalnim magnetom dovoljne jačine, dolazi do usmeravanja osa tih malih molekularnih magnetna i svi njihovi severni polovi okrenu se na jednu, a južni na drugu stranu te se međusobno neutrališu u svim redovima sem spoljašnjih, koji istovremeno predstavljaju polove novonastalog magnetna (slika 3.5b).



Slika 3.5. Veberova molekularna teorija magnetizma

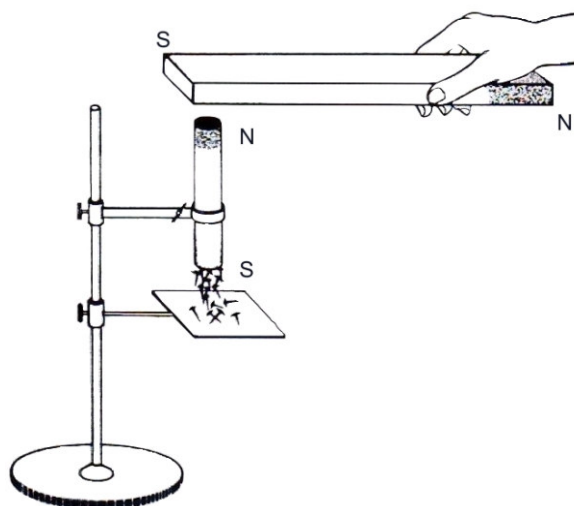
Takvi magneti zovu se *veštački* i najčešće se prave u obliku šipke, igle ili potkovice. Interesantno je napomenuti da se meko gvožđe ne može trajno namagnetisati, za razliku od čelika koji može.

Postoji još jedan način da se od običnog komada gvožđa ili čelika napravi veštački magnet: ako se jedan jači stalni magnet prinese blizu tog komada gvožđa ili čelika, onda ovaj privlači opiljke (slika 3.6). Čim se stalni magnet ukloni, meko gvožđe gubi magnetne osobine, dok ih čelik trajno zadržava.

Ova pojava namagnetisavanja u magnetnom polju stalnog magnetna bez neposrednog dodirivanja zove se *magnetna indukcija*, a objašnjava se već navedenom Veberovom molekularnom teorijom magnetizma.

Ovim je preduhitreno pitanje koje bi učenici mogli da postave: zašto se ne može namagnetisati drvo, staklo, papir, aluminijum, bakar i ostale supstancije koje nas okružuju, već se stalno spominju samo gvožđe i čelik?





Slika 3.6. Magnetna indukcija

Odgovor je sledeći: nemogućnost namagnetisanja navedenih supstancija tumači se nedovoljnim magnetnim silama koje se danas mogu postići za orijentaciju molekularnih magnetata u ovim supstancijama.

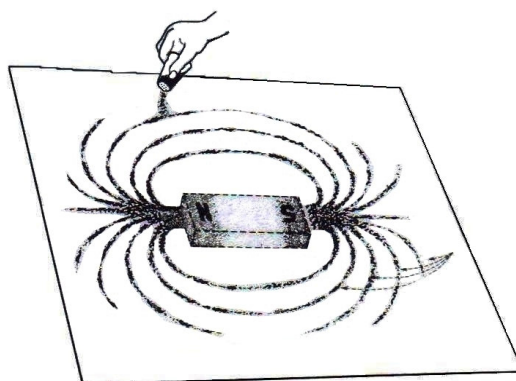
Treba napomenuti da je elektromagnet još bolji za pravljenje veštačkih magnetata.

### 3.2.3. Magnetno polje i magnetne linije sile

Magnetno polje je prostor oko magnetata u kome se oseća dejstvo tog magnetata magnetnom silom na tela koja ga okružuju. U opštem slučaju, magnetno polje ne može se zapaziti golim okom, pa se na crtežima njegovo delovanje predstavlja pomoću magnetnih linija sile. To su zamišljene linije koje pokazuju pravac i smer kojim bi se kretao severni pol kakvog malog magnetata unešenog u jako magnetno polje.

To znači da magnetne linije sile izvire iz severnog pola, a uviru u južni.

Jedan jednostavan eksperiment, kojim se mogu prikazati magnetne linije sile oko šipkastog magnetata, prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7. Magnetne linije sile

Ispod staklene ploče postavi se magnet, a na gornju stranu ploče ravnomerno pospu opiljci od gvožđa. Slabim udarima o ploču opiljci se rasporede i prikažu se magnetne linije sile. Tamo gde je magnetno polje jače (oko polova), linije sile su gušće. Ovim eksperimentom utvrđuje se jedna jako važna činjenica: *za razliku od linija sile električnog polja koje su otvorene, linije sile magnetnog polja su obavezno zatvorene!*

Nedostaci ovog eksperimenta: ne vidi se smer magnetnih linija sile i teško je dobiti baš takav izgled linija sile kao na slici (treba uzeti veoma jak magnet).

Kad je reč o predstavljanju magnetnog polja pomoću magnetnih linija sile, važno je ispraviti zablude koja se može pojaviti: postoje slučajevi da učenici nepravilno shvataju geometrijsko predstavljanje magnetnog polja (isto tako i električnog), smatrajući da ono postoji *samo* u tačkama koje pripadaju magnetnim linijama sile, a da ne postoji u prostoru između tih linija. Stoga je neophodno ukazati na neprekidnost magnetnog i ostalih oblika fizičkih polja i na uslovni karakter linija sile.

Za trajnu izradu slike magnetnih linija sile mogu se preporučiti još dva eksperimenta. Kako oni zahtevaju duže vreme pripreme i spretnost izvođača, najbolje bi bilo te eksperimente uraditi na sekciji.

- 1) Uzme se parče čvrstog papira veličine dopisnice i zagreje se iznad peći, naravno pazeći da se ne upali. Po papiru se protrlja parče voska, koji se razlije u tanak sloj čitavom površinom. Papir se zatim postavi na magnet i sipaju se odozgo opiljci od gvožđa, a zatim se sve ovo pažljivo prinese peći. Kod rastopljenog parafina opiljci gvožđa formiraju magnetne linije sile koje će u rashlađenom vosku ostati kao trajna slika
- 2) Pripremiti dva rastvora – prvi od 1 g crvene bazne soli rastvorene u 10 cm<sup>3</sup> vode, i drugi – od zelene limunske kiseline gvožđevog oksidulamonijaka 2,5 g rastvorenog u 10 cm<sup>3</sup> vode. Oba rastvora čuvati do upotrebe u mraku, a zatim ih izmešati i njima premazati parče paus papira u veličini dopisnice. Sloj premaza osušiti takođe u mraku. Postaviti papir na magnet, posuti odozgo gvozdene opiljke i staviti sve na prozor pri jačoj dnevnoj svetlosti u vremenu od nekoliko minuta. Sada će se papir obojiti plavo dok će mesta ispod opiljaka ostati bela. Papir po ovome isprati u vodi – i slika je gotova.

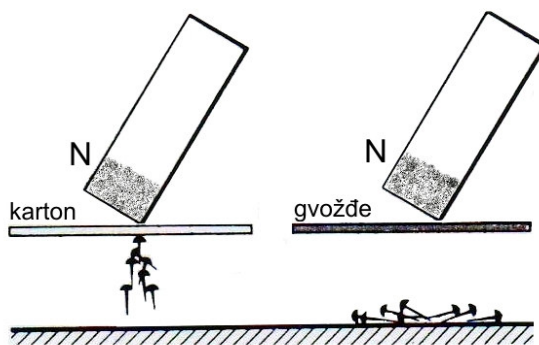
Oba ova eksperimenta u osnovi imaju delovanje magnetna na gvozdene opiljke; hemikalije služe samo da obezbede trajnost dobijene slike.

### 3.2.4. Uticaj sredine na magnetno polje

Ovde ćemo se pozabaviti pitanjem – kojom supstancijom se možemo zaštititi od dejstva magnetnog polja?

Potreban materijal: četiri ploče veličine 20×20 cm – od kartona, stakla, drveta i gvožđa, jedan jači stalni magnet i gvozdene opiljci (ili ekseri).

Izvođenje eksperimenta: ploča se postavi tako da je malo podignuta od podloge (podmetanjem knjiga ispod). Gvozdene opiljci postavljaju se ispod ploče, a magnet iznad ploče. Prevlačenjem magnetna konstatujemo sledeće: magnetne linije sile prolaze kroz karton, staklo i drvo – a ne prolaze kroz gvožđe, kao što je prikazano na slici 3.8.

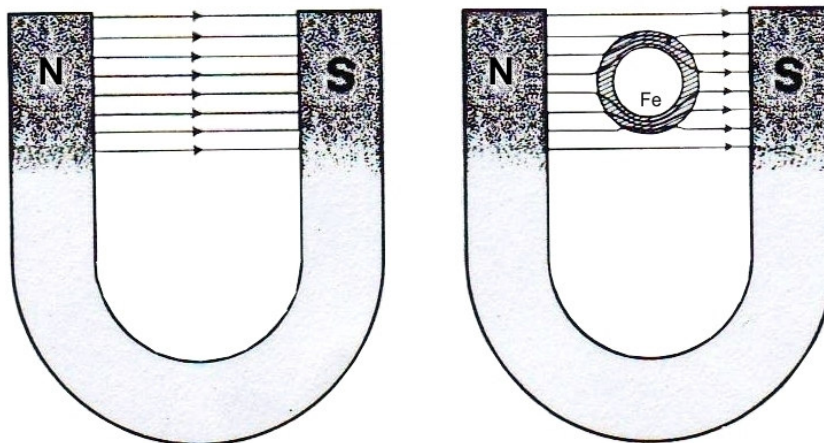


Slika 3.8. Uticaj sredine na magnetno polje

Objašnjenje: kroz karton, staklo i drvo magnetne linije sile mogu da prođu jer ih ove supstancije ne sakupljaju u sebe; energija magneta ne troši se na namagnetisavanje, već slobodno prolazi.

Što se tiče gvožđa, magnet ga privlači, ali magnetne linije sile kroz njega ne prolaze. Gvožđe sakuplja u sebe linije sile magnetnog polja, tako da je njihova gustina mnogo veća u gvožđu nego van njega.

Prsten od mekog gvožđa postavljen u homogeno magnetno polje potkovičastog magneta (slika 3.9) „upija“ i provodi magnetne linije sile tako da u sredini prstena *nema magnetnog polja*.



Slika 3.9. Gvozdeni prsten u polju stalnog magneta

Ovo je još jedna zanimljiva, ali i nadasve korisna osobina magnetnog polja, jer su ljudi zahvaljujući toj osobini napravili takozvani „antimagnetik“ časovnik, na koji ne utiče magnetno polje. Oko mehanizma takvog časovnika nalazi se prsten od mekog gvožđa, koji štiti njegove čelične delove (a pre svega njegovu kao dlaka tanku oprugu) od spoljašnjeg magnetnog polja.

Uopšte, da bi se neki prostor zaštitio od dejstva magnetnog polja, on se ograđuje gvozdenim limom.

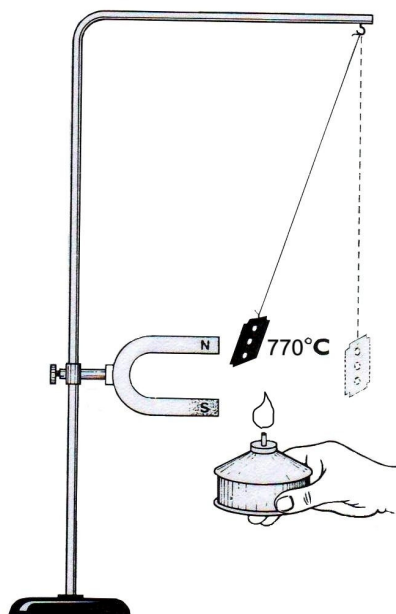
### 3.2.5. Uticaj temperature na magnet

Kako povišena temperatura utiče na stalni magnet, može se videti pomoću eksperimenta prikazanog na slici 3.10.

Potrebni materijal: stalak, bakarna žica, nožić za brijanje, magnet, špiritusna lampa (Bunzenov plamenik).

Izvođenje eksperimenta: nožić se pomoću bakarne žice okači za vrh stalka da visi vertikalno. Magnet se postavi sa strane tako da samo izvede nožić iz ravnotežnog položaja ali da ga ne dodiruje. Zatim se nožić zagreje do usijanja (paziti pri tom na magnet, da se ne bi ošteti!). Privlačenja više nema i nožić se vraća u vertikalni položaj. Ako se nožić dalje ne greje, on se ohladi i magnet ga opet privuče.

Objašnjenje: kada se čelični nožić dovede u magnetno polje stalnog magneta, dolazi do orijentacije njegovih molekularnih magneta (i to indukcijom) u pravcu spoljašnjeg magnetnog polja, odnosno dolazi do namagnetisavanja nožića. Na taj način dešava se privlačenje stalnog magneta i namagnetisanog nožića. Prilikom zagrevanja preko određene temperature (Kirijeva temperatura, kod gvožđa oko 770°C) povećava se termičko oscilovanje molekula do te mere da oni opet zauzmu neuređen položaj. Nožić je, dakle, izgubio magnetne osobine. I ne samo nožić: usijano gvožđe nemoguće je namagnetisati! Posle hlađenja, nožić se opet može namagnetisati.

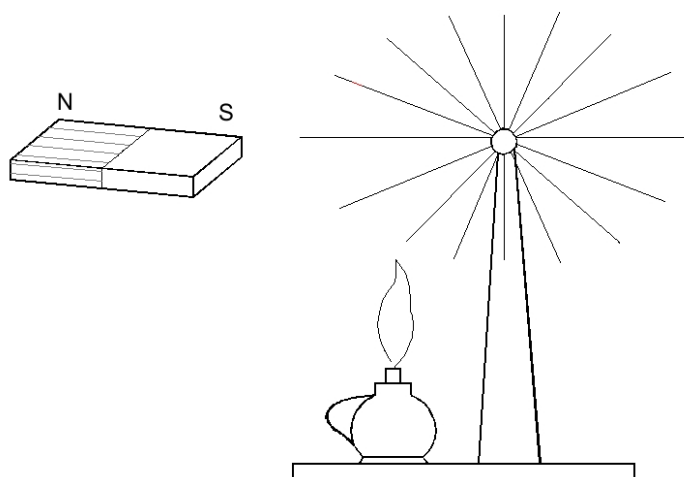


Slika 3.10. Uticaj temperature na magnet

Ovu zanimljivu osobinu magnetičnih tela moguće je ilustrovati nizom lepih eksperimenata, koji u osnovi imaju isto objašnjenje, dato za prethodni eksperiment. Evo još jednog takvog eksperimenta, pogodnog za izvođenje na sekciji.

Potreban materijal: vrteška napravljena od gvozdenih žica, jači magnet i špiritusna lampa.

Izvođenje eksperimenta: pored vrteške napravljene od gvozdenih žica nalazi se magnet. Kraj njega ispod vrteške zapali se špiritusna lampa čiji plamen zagreva jednu žicu vrteške (slika 3.11). Dok plamen gori, vrteška se okreće.



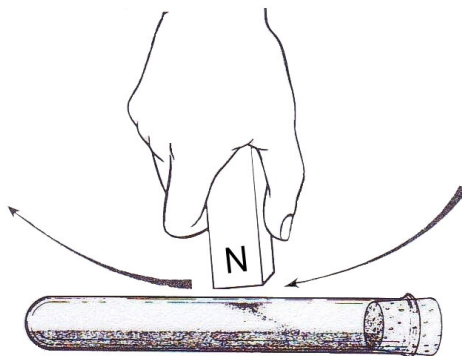
Slika 3.11. Vrteška koju pokreće magnet

Objašnjenje: magnet privlači sebi najbližu nezagrejanu žicu vrteške, ali kad se zagreje lampom ona gubi svoja magnetna svojstva. Usled toga magnetno delovanje između žice i magneta prestaje. Tada magnet privlači sledeću nezagrejanu žicu. Rezultat toga je neprekidno okretanje vrteške.

### 3.2.6. Uticaj mehaničkih potresa na magnet

Potreban materijal: staklena epruveta sa čepom, gvozdeni opiljci i jači magnet.

**Izvođenje eksperimenta:** U staklenu epruvetu stave se do polovine gvozdeni opiljci, pa se epruveta zatvori čepom i položi horizontalno. Zatim se opiljci ravnomerno rasporede slabim potresima. Prevlačenjem magneta preko epruvete opiljci se urede i epruveta sa opiljcima sada predstavlja magnet sa dva pola. Ona privlači sitne eksere i opiljke i djeluje na magnetnu iglu kao i svaki drugi magnet. Ako se protrese, opiljci se pomešaju i više ne djeluju kao magnet (slika 3.12).



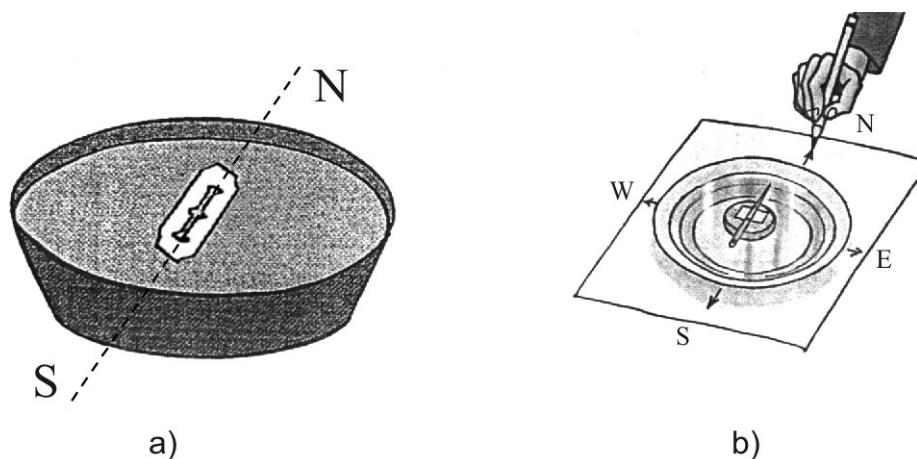
Slika 3.12. Uticaj mehaničkih potresa na magnet

**Objašnjenje:** Magnet posle pada na zemlju ili pri jačem potresu smanjuje svoje namagnetisanje, jer tada molekularni magneti usled potresa izgube potpuno ili delimično svoju prethodnu orijentaciju.

U ovom eksperimentu se golim okom može videti prelazak iz haotičnog rasporeda opiljaka u uređeno stanje, a ako se uzmu dovoljno sitni opiljci, može se čak i zamisliti da su to molekularni magneti. Za razliku od namagnetisavanja čvrstih tela (igle, šipke) gde se ne vidi uređivanje molekularnih magneta, ovaj eksperiment je vizuelno mnogo superiorniji. Nedostatak mu je slaba jačina nastalog magneta.

### 3.2.7. Magnetno polje Zemlje

Za jednostavno određivanje strana sveta može se iskoristiti eksperiment prikazan na slici 3.13.



Slika 3.13. Jednostavan kompas

**Potreban materijal:** nožić za brijanje, igla za šivenje, zapušač od plute ili komadić stiropora, posuda sa vodom i jedan stalni magnet.

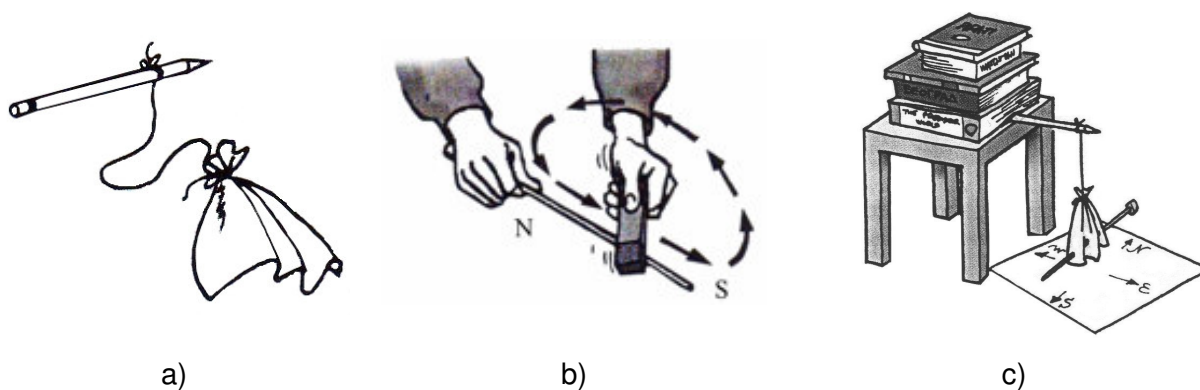


**Izvođenje eksperimenta:** pomoću stalnog magneta namagnetišu se čelični nožić i igla i stave u posudu sa vodom; nožić se može direktno staviti na vodu a da ne potone (slika 3.13a), dok je igli potreban „nosač“ – pluta ili stiropor (slika 3.13b). U oba slučaja, Zemlja svojim magnetnim poljem orijentiše namagnetisane čelične predmete i postavlja ih u pravac sever-jug. Jednostavnost i ponovljivost su glavne odlike ovog eksperimenta.

Zašto se namagnetisan nožić i igla okreću ka severnom geografskom polu (i da li baš tačno prema njemu) i kako znamo gde je sever a gde jug, može se pokazati sličnim eksperimentom za koji je potreban dobar deo pribora iz dačke torbe (slika 3.14).

**Potreban materijal:** lagana hartija, olovka, konac, igla za pletenje, nekoliko knjiga, magnet.

**Izvođenje eksperimenta:** saviti hartiju i zakačiti je koncem o olovku (kao na slici 3.14a). Namagnetisati iglu za pletenje na već opisani način (tako što će se preko nje više puta prevući severni pol magneta, kao na slici 3.14b). Provući namagnetisanu iglu kroz hartiju, a olovku staviti na stolicu i fiksirati njen položaj knjigama (kao na slici 3.14c). Igla će se okretati sve dotle dok ne pokaže pravac sever – jug, a ostale dve strane sveta onda nije teško odrediti.



Slika 3.14. Dejstvo magnetnog polja Zemlje

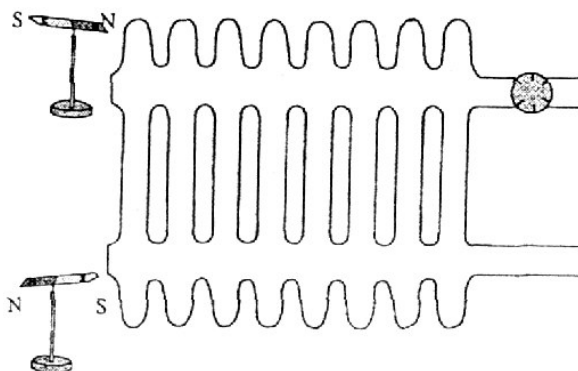
**Objašnjenje:** Prevlačenjem severnog pola magneta, namagnetiše se igla za pletenje i postaje veštački magnet. Prevlačenje se obavlja u tačno određenom smeru, da bi se posle znalo koji je severni, a koji južni pol igle (videti i sliku 3.4). Zemlja se ponaša kao veliki magnet, čiji se južni pol nalazi u blizini severnog geografskog pola. Veliki magnet deluje na mali, te se magnetna igla svojim severnim polom okreće uvek ka južnom magnetnom polu Zemlje, to jest ka severnom geografskom polu. Kako južni magnetni i severni geografski pol nisu u jednoj tački, definiše se *ugao deklinacije* kao ugao između Zemljinog magnetnog i geografskog meridijana. Ovaj ugao različit je za pojedina mesta na Zemlji i tek kad je on poznat, može se tačno odrediti geografski pravac sever – jug.

Zemljino magnetno polje takođe može prouzrokovati namagnetisavanje gvozdениh predmeta indukcijom, što se može konstatovati magnetnom iglom, kao na slici 3.15.

**Potreban materijal:** magnetna igla ili kompas.

**Izvođenje eksperimenta:** magnetna igla se stavi uz predmet koji se nalazi u sobi, a sadrži gvožđe. Da bi eksperiment uspeo, predmet ne treba pomerati duže vremena (na primer radijator ili cev od grejanja). Ako se magnetna igla drži sa donje strane predmeta, on privlači južni pol igle, a ako se igla drži sa gornje strane predmeta onda će biti privučen njen severni pol.

**Objašnjenje:** Zemlja, kao veliki magnet, bez neposrednog dodirivanja (dakle indukcijom) namagnetiše gvozdene predmete – feromagnetike. Pri tom, vertikalna komponenta magnetnog polja Zemlje deluje tako da predmeti koji duže vreme nisu pomerani, na donjoj strani imaju severni pol, a na gornjoj strani južni pol (ovo se odnosi na severnu hemisferu Zemlje, videti i sliku 2.14).



Slika 3.15. Magnetni radijator

Kad se magnetna igla postavi tako da se može obrtati oko horizontalne ose, onda ona zaklapa sa horizontom izvestan ugao koji se zove *ugao inklinacije* i koji u srednjoj Evropi iznosi između  $63^\circ$  i  $73^\circ$ .

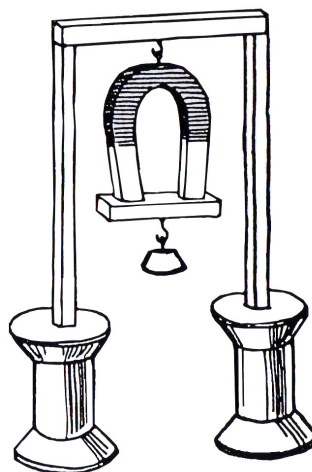
Dakle, osim na magnetnu iglu kompasu, Zemlja deluje i tokom vremena indukcijom namagnetiše čelične predmete. To je najčešći slučaj kod stolara, koji kucaju po dletu koso postavljenom na horizontalnu ravan. Najjače dejstvo je kad je dletu pod uglom od  $60^\circ$  prema horizontu. Tada se pravac magnetnih linija sile Zemljinog magnetnog polja poklapa sa pravcem dleta, a kucanje i potresi doprinose orijentisanju molekularnih magneta. Isto se to događa na željezničkim šinama postavljenim u pravcu sever – jug, kod automatskih gvozdrenih maljeva u industriji i kod velikih gvozdrenih konstrukcija brodova, koje usled mnogobrojnih udara dobijaju osobine stalnih magneta (pa je upotreba kompasu na takvim brodovima još više otežana).

Kada Zemlju zamišljamo kao jedan veliki magnet, treba da imamo na umu da Zemlja ne privlači gvožđe kao što ga privlači neki prirodni ili veštački magnet. *Zemlja samo određuje smer magnetu*. Zato se magnetna igla svojim severnim polom okreće prema severu, a južnim prema jugu.

### 3.2.8. O čuvanju magneta

Ovde nije reč o eksperimentu, već o korisnoj napomeni o tome kako treba čuvati magnet.

Magnet je vrlo osetljiva stvar i traži mnogo nege. Ne može se prosto staviti u fioku; magnet treba da radi, ne sme da počiva. S radom, snaga magneta raste. Kako treba čuvati potkovičasti magnet, prikazano je na slici 3.16.



Slika 3.16. Čuvanje potkovičastog magneta

Na polove magneta treba staviti neki komad gvožđa ili gvozdenu šipku, a na nju treba obesiti neki manji teg koji će magnet moći da održi; magnet mora biti opterećen. Posle nekoliko dana dodati još jedan mali teg. Obratiti pažnju da opterećenje ne bude suviše veliko, da se gvozdena šipka ne bi otkinula od magnetnih polova, jer bi time magnet mogao oslabiti. To je način na koji treba čuvati magnet. Za vreme mirovanja magnet slabi; on mora raditi da bi valjao.

### 3.3. Osobine magnetnog polja stalnih magneta

Na osnovu viđenog i objašnjenog, zaključuje se šta je sve naučeno o osobinama magnetnog polja stalnih magneta.

- 1) Svaki magnet, bez obzira kojoj grupi pripadao, ima dva pola: severni N i južni S. Ti polovi ne mogu se odvojiti, što znači da je svaki magnet dipol. Istoimeni magnetni polovi se odbijaju, a raznoimeni privlače.
- 2) Magnetizam kao pojava nastaje kao posledica kretanja naelektrisanja. Namagnetisati telo znači urediti mu molekularne magnete. Za to postoje dva načina: prevlačenje stalnog magneta preko tog tela i magnetna indukcija. Magnetna indukcija je namagnetisanje tela u spoljašnjem magnetnom polju, bez neposrednog dodirivanja.
- 3) Delovanje magnetnog polja kroz prostor prikazuje se magnetnim linijama sile. Ove linije su zatvorene, izvire iz severnog pola a uviru u južni. Fizička veličina kojom se karakteriše magnetno polje u nekom stalnom magnetu zove se magnetna indukcija  $\vec{B}$ . To je vektorska veličina: pravac joj se poklapa sa pravcem tangente na liniju sile magnetnog polja, smer je određen smerom magnetne linije sile, a jedinica za merenje intenziteta u SI sistemu mera je *tesla* (T).
- 4) Jačina magnetnog polja opada sa povećanjem udaljenosti od magneta. Magnetne linije sile lakše se prostiru kroz gvožđe nego kroz vazduh (za razliku od linija sile električnog polja, gde je obrnuto). Kroz materijale koji se ne mogu namagnetisati, magnetne linije sile prolaze. Zaštitu od magnetnog polja pruža jedino ograda od gvoždenog lima.
- 5) Prilikom zagrevanja stalnog magneta preko Kirijeve temperature, on gubi svoja magnetna svojstva. Znači, zagrevanjem magneta do usijanja vrši se njegovo razmagnetisanje.
- 6) Do razmagnetisanja magneta takođe dolazi usled mehaničkih potresa, pada magneta i slično.
- 7) Zemlja se ponaša kao veliki prirodni magnet: severni magnetni pol Zemlje nalazi se u blizini južnog geografskog, a južni u blizini severnog geografskog pola. Severni pol magnetne igle kompasa okrenut je uvek prema severnom geografskom polu.
- 8) Kada nije u upotrebi, magnet se čuva tako što se optereti tegom – jer ako miruje, njegovo dejstvo onda slabi.

### 3.4. Primena stalnih magneta

Feromagnetni materijali, od kojih se mogu napraviti veštački stalni magneti, dele se na dve grupe: magnetno meki i magnetno tvrdi.

Magnetno meki feromagnetni materijali se lako namagnetišu, ali se lako i razmagnetišu. Stoga oni nalaze primenu pri izradi elemenata kod kojih je potrebno smanjiti postojeće gubitke, posebno usled vrtložnih struja. To se pre svega odnosi na jezgra transformatora i električnih mašina, transformatore snage, magnetne memorije, specijalne kalemове, senzore i konvertore.

Magnetno tvrdi feromagnetni materijali se teško namagnetišu, ali se teško i razmagnetišu, što ih kandiduje za izradu stalnih magneta i pouzdanih magnetnih memorija.



Od materijala koje odlikuje cilindrična domenska struktura izrađuju se elementi magnetne mikroelektronike.

Kao jedna od primena stalnih magneta može se navesti i njihovo korištenje u mnogobrojnim eksperimentima, koji su kasnije rezultirali raznoraznim izumima:

- magnetna igla u Erstedovom eksperimentu, čijim skretanjem je dokazano da se oko strujnog provodnika javlja magnetno polje; ovo će kasnije dovesti do izuma elektromagneta i njegove primene kod elektromagnetnih nosača, električnog zvonca, telegrafa, releja...
- potkovičasti magnet, kojim se objašnjava delovanje homogenog magnetnog polja na strujni provodnik, što će kasnije dovesti do izuma elektromotora
- šipkasti magnet u Faradejevima eksperimentima o elektromagnetnoj indukciji, što će kasnije rezultirati revolucionarnim Teslinim izumom naizmjenične struje
- potkovičasti magnet kao stator generatora za proizvodnju struje
- šipkasti magnet u originalnoj konstrukciji Belovog telefona
- stalni magnet kojim se pokreće kazaljka kod instrumenata za merenje napona i jačine struje
- stalni magnet kojim je stvoreno nehomogeno magnetno polje u Štern-Gerlahovom (Otto Stern, Walther Gerlach) eksperimentu, čime je dokazano postojanje spina elektrona
- magneti koji u akceleratorima imaju ulogu usmerivača naelektrisanih čestica
- magnetna glava u uređajima za snimanje i reprodukciju zvuka

Pošto se i Zemlja smatra velikim stalnim magnetom, eto još jedne primene stalnih magneta—za određivanje strana sveta i orijentaciju u prostoru.

Osim stalnih magneta postoje i elektromagneti, koji imaju magnetna svojstva samo dok kroz njih protiče struja. Elektromagnet je neuporedivo jači od svakog prirodnog ili običnog veštačkog magneta – danas ima tako jakih elektromagneta koji su u stanju da podignu i drže teret od 75 tona, to jest celu lokomotivu! Takvi jaki elektromagneti upotrebljavaju se na modernim dizalicama u fabrikama i pristaništima.

Uopšte, može se sa sigurnošću reći da ne postoji oblast čovekovog života i rada u kojoj se magneti ne primenjuju.

## 4. ZAKLJUČAK

Stalni magneti se izučavaju u VI i VIII razredu osnovne škole, a zatim u II razredu srednje škole. Paralelno sa uzrastom, raste i složenost pojmova koje treba usvojiti da bi se objasnila ova tematska jedinica.

Ako se za neku tematsku jedinicu iz fizike sa sigurnošću može tvrditi da se dopada učenicima, da ih intrigira i da o njoj imaju sasvim pristojno predznanje stečeno iz "kućnih" eksperimenata, onda je to svakako magnetizam stalnih magneta. To je činjenica koja olakšava rad nastavniku, ali u isto vreme i obavezuje, jer je potrebno sve te magnetne pojave *i objasniti*. Jednostavno rečeno, kvalitet znanja učenika mora napredovati s uzrastom.

A da bi se to ostvarilo, presudna je uloga nastavnika kao predavača, organizatora i motivatora. U konkretnom slučaju magnetnog polja stalnih magneta, osim uobičajenog objašnjavanja novih pojmova, nastavnik mora da vodi računa i o sledećem:

- mora insistirati na logičnom redosledu uvođenja novih pojmova i fizičkih veličina i na činjenici da je to u stvarnosti bio dugotrajan proces, jer se nekom od učenika uvek može učiniti da je celokupni saznavni proces trajao koliko i izlaganje nastavnika;
- posebnu pažnju treba da usmeri na adekvatnu interpretaciju pojma magnetnog polja kao konkretnog slučaja fizičkog polja, odnosno specijalnog slučaja postojanja materije;
- analogiju sa elektrostatikom može koristiti u objašnjavanju magnetnog polja, ali uz neophodno naglašavanje njihovih razlika gde je to potrebno;
- treba da insistira na tome da se pod pojmom "magnetna indukcija" može podrazumevati i *fizička veličina i pojava*, i da između njih postoji suštinska razlika;
- obavezno da ukaže na neprekidnost magnetnog polja, to jest na činjenicu da ono postoji u svim tačkama prostora, a ne samo na magnetnim linijama sile;
- ma koliko eksperimenti u nastavi bili vizuelno atraktivni na makroskopskom planu, neophodno je zaviriti u strukturu supstancije da bi se oni objasnili, jer čisto makroskopski (fenomenološki) pristup u proučavanju ove teme može da se dovede samo do nivoa empirijskih zaključivanja;
- učenicima treba ukazati na to da magnetna polja postoje ne samo kod makroskopskih tela nego i kod mikročestica i da su ova prva rezultat superponiranja mikromagnetnih polja;

Jednostavni ogledi tipa „Uradi sam” od izuzetnog su značaja kako za razumevanje pojava i sistematsko sticanje znanja iz oblasti magnetnog polja stalnih magneta, tako i za uvođenje naučnog metoda u svakodnevnu nastavu.

Konačan cilj je celovito objašnjenje pojave magnetizma na nivou datog uzrasta, uz naučni i metodološki pristup temi.

Ako je ovaj rad barem delimično pomogao rasvetljavanju mistične pojave magnetizma i ako je svojim sadržajem i načinom izlaganja uspeo da zainteresuje ikoga da sazna nešto više o magnetnom polju stalnih magneta, njegov zadatak je ispunjen.

## 5. LITERATURA

1. dr Dušanka Ž. Obadović: *Jednostavni eksperimenti u nastavi fizike (skripta)*, Novi Sad, 2006/2007.
2. Vukadinov Pavle, Tolmač Milan, Vasić Dragan: *Magnetno polje stalnih magneta (seminarski rad)*, Novi Sad, 2007.
3. dr inž. Dragiša M. Ivanović, inž. Vlastimir M. Vučić: *Fizika II – elektromagnetika i optika*, Naučna knjiga, Beograd, 1976.
4. Dragoslav M. Petrović, Svetlana R. Lukić: *Eksperimentalna fizika kondenzovane materije*, Univerzitet u Novom Sadu, PMF Novi Sad, 2000.
5. dr Ivan Janić: *Osnovi atomske fizike (skripta)*, Novi Sad, 1992.
6. Milan O. Raspopović: *Metodika nastave fizike*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
7. dr Đorđe Mušicki: *Uvod u teorijsku fiziku II*, Zavod za izdavanje udžbenika socijalističke republike Srbije, Beograd, 1965.
8. dr Gojko Dimić, Dušan Ilić, Jezdimir Tomić: *Fizika za VIII razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1976.
9. dr Milan Raspopović, mr Bojan Nikić, dr Dragiša Ivanović, dr Dragomir Krpić, Jezdimir Tomić: *Fizika za VIII razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2001.
10. Milan Raspopović, Jezdimir Tomić, Branko Radivojević: *Zbirka zadataka iz fizike sa laboratorijskim vežbama za VIII razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1997.
11. Milan Raspopović, Svetozar Božin, Emilo Danilović: *Fizika za II razred gimnazije prirodno-matematičkog smera*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1994.
12. Živko K. Kostić: *Između igre i fizike*, Novinsko-izdavačko preduzeće “Tehnička knjiga”, Beograd, 1962.
13. Tomislav Senćanski: *Mali kućni ogledi 2*, Kreativni centar, Beograd, 2003.
14. Internet sajtovi: <http://www.eduref.org>; <http://www.weatherwizkids.com>; <http://www.askeric.org>

## **KRATKA BIOGRAFIJA KANDIDATA**



Roden je 21.06.1963. godine u Novom Kneževcu u Vojvodini. Osnovnu školu završio je u Padeju, I i II razred srednje škole u Čoki, a III i IV razred usmerenja (smer matematika) u Kikindi. Krajem 1988. godine završava studije na FTN Novi Sad, Odeljenje u Kikindi i stiče zvanje diplomirani inženjer mašinstva. Trenutno predaje fiziku u osnovnoj školi "Vasa Stajić" u Mokrinu.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET**

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

<i>Redni broj:</i>	
<b>RBR</b>	
<i>Identifikacioni broj:</i>	
<b>IBR</b>	
<i>Tip dokumentacije:</i>	Monografska dokumentacija
<b>TD</b>	
<i>Tip zapisa:</i>	Tekstualni štampani materijal
<b>TZ</b>	
<i>Vrsta rada:</i>	Diplomski rad
<b>VR</b>	
<i>Autor:</i>	Vasić Dragan
<b>AU</b>	
<i>Mentor:</i>	dr Dušanka Obadović, redovni prof.
<b>MN</b>	
<i>Naslov rada:</i>	Obrada tematske jedinice: Osobine magnetnog polja –
<b>NR</b>	stalni magneti
<i>Jezik publikacije:</i>	srpski (latinica)
<b>JP</b>	
<i>Jezik izvoda:</i>	srpski/engleski
<b>JI</b>	
<i>Zemlja publikovanja:</i>	Srbija
<b>ZP</b>	
<i>Uže geografsko područje:</i>	Vojvodina
<b>UGP</b>	
<i>Godina:</i>	2007.
<b>GO</b>	
<i>Izdavač:</i>	Autorski reprint
<b>IZ</b>	
<i>Mesto i adresa:</i>	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,
<b>MA</b>	Novi Sad
<i>Fizički opis rada:</i>	5 / 45 / 1 / 0 / 30 / 6 / 0
<b>FO</b>	
<i>Naučna oblast:</i>	Fizika
<b>NO</b>	
<i>Naučna disciplina:</i>	Demonstracioni eksperimenti u nastavi
<b>ND</b>	
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i>	magnetizam, stalni magneti, nastava fizike
<b>PO</b>	
<b>UDK</b>	
<i>Čuva se:</i>	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
<b>ČU</b>	
<i>Važna napomena:</i>	nema
<b>VN</b>	

*Izvod:*

**IZ**

Prikazana je obrada tematske jedinice »Osobine magnetnog polja – stalni magneti«. Pored teorijskog objašnjenja pojave magnetizma, posebna pažnja u radu posvećena je metodama koje se koriste u nastavi fizike. U cilju što boljeg razumevanja pojava iz magnetizma i magnetnog polja stalnih magneta, kao i uvođenja naučnog metoda u svakodnevnu nastavu, prikazani su jednostavni ogledi tipa „Uradi sam”, odabrani tako da svaki od njih reprezentuje po jednu osobinu magnetnog polja stalnih magneta: polovi magneta i njihovo uzajamno delovanje, magnetno polje i magnetne linije sile, dobijanje veštačkih magneta, uticaj temperature i sredine na magnetno polje, uticaj mehaničkih potresa na magnet, magnetno polje Zemlje, čuvanje magneta.

*Datum prihvatanja teme od NN*

*veća:*

18.05.2007.

**DP**

*Datum odbrane:*

25.07.2007.

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:*

dr Božidar Vujičić, redovni prof.

*član:*

dr Darko Kapor, redovni prof.

*član:*

dr Dušanka Obadović, redovni prof.

**UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS**

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

<i>Accession number:</i>	
<b>ANO</b>	
<i>Identification number:</i>	
<b>INO</b>	
<i>Document type:</i>	Monograph publication
<b>DT</b>	
<i>Type of record:</i>	Textual printed material
<b>TR</b>	
<i>Content code:</i>	Final paper
<b>CC</b>	
<i>Author:</i>	Vasić Dragan
<b>AU</b>	
<i>Mentor/comentor:</i>	Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.
<b>MN</b>	
<i>Title:</i>	Treatment Themes Unit: Properties of Magnetic Field –
<b>TI</b>	Permanent Magnets
<i>Language of text:</i>	Serbian (Latin)
<b>LT</b>	
<i>Language of abstract:</i>	English
<b>LA</b>	
<i>Country of publication:</i>	Serbia
<b>CP</b>	
<i>Locality of publication:</i>	Vojvodina
<b>LP</b>	
<i>Publication year:</i>	2007.
<b>PY</b>	
<i>Publisher:</i>	Author's reprint
<b>PU</b>	
<i>Publication place:</i>	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja
<b>PP</b>	Obradovića 4, Novi Sad
<i>Physical description:</i>	5 / 45 / 1 / 0 / 30 / 6 / 0
<b>PD</b>	
<i>Scientific field:</i>	Physics
<b>SF</b>	
<i>Scientific discipline:</i>	Demonstrative experiments in teaching
<b>SD</b>	
<i>Subject/ Key words:</i>	magnetism, permanent magnets, physics class
<b>SKW</b>	
<b>UC</b>	
<i>Holding data:</i>	Library of Department of Physics
<b>HD</b>	
<i>Note:</i>	none
<b>N</b>	
<i>Abstract:</i>	Theme unit »The properties of magnetic field – permanent magnets« is treated in this work. In addition to theoretical explanation of the phenomenon of magnetism. Particular attention is dedicated here to the methods used in the
<b>AB</b>	

teaching of physics. In order to understand better the phenomena from magnetism and the magnetic field of permanent magnets, as well as the introduction of scientific methods in daily teaching practice, simple experiments were chosen, “do-it-yourself” type, they were chosen so that each of them represents one property of permanent magnets magnetic field: magnet poles and their mutual interaction, magnetic field and magnetic lines of force, getting of artificial magnets, the effect of temperature and environment on the magnetic field, the effect of mechanical shocks on the magnet, the magnetic field of the Earth, the preservation of magnets.

*Accepted by the Scientific Board:*

18.05.2007.

**ASB**

*Defended on:*

25.07.2007.

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President:*

Ph.D. Božidar Vujičić, full prof.

*Member:*

Ph.D. Darko Kapor, full prof.

*Member:*

Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.