

Kaja Krhač

Mentor: Karmena Vadjla-Rešetar, prof.

karmena.vadjla-resetar@ck.t-com.hr

CURIEVA TEMPERATURA

Čakovec

15.02.2013.

Gimnazija Josipa Slavenskog Čakovec

Vladimira Nazora 34

40 000 Čakovec

Sažetak

Čitajući o magnetima, saznala sam da magnet ima mogućnost izgubiti svojstvo privlačenja na određenoj temperaturi, koja se naziva Curieva temperatura. Curieva temperatura je temperatura iznad koje feromagnetična tvar gubi svoja feromagnetska svojstva i postaje paramagnetična. Ime je dobila po Pierru Curieiu.

Pierre Curie bio je francuski fizičar, koji se između ostalog bavio kristalografijom, magnetizmom, piezoelektricitetom i radioaktivnošću. Godine 1903. dobio je Nobelovu nagradu za fiziku. Proučavao je feromagnetizam, paramagnetizam i dijamagnetizam, te otkrio utjecaj temperature na paramagnetizam, koji je danas poznat kao Curiev zakon. Konstanta u Curievom zakonu, poznata je i pod nazivom curieva konstanta. Također je otkrio da feromagnetske tvari gube svoja svojstva na određenoj temperaturi, što se naziva Curieva temperatura, ili Curieva točka.

Pri temperaturama nižim od Curieve, magnetski momenti atoma unutar magnetskih domena djelomično su jednako usmjereni. Približavanjem temperature Curievoj temperaturi, termičko gibanje atoma sve više narušava ovo zajedničko usmjerenje. Pri Curievoj temperaturi ukupna magnetizacija jednaka je nuli tako da materijal postaje paramagnetičan.

Cilj je pokusa dokazati da magnet doista gubi svoja svojstva privlačenja na određenoj temperaturi, te otkriti gubi li ta svojstva prije magnet ili željezna žica.

Pokus se izvodi tako da se na stalak objesi magnet, te se na određenoj udaljenosti rastegne željezna žica kroz koju pustimo struju. Magnet i žica se najprije privlače, no nakon zagrijavanja do određene temperature, željezo i magnet više se ne privlače. Kad se žica ohladi, magnet je ponovno privlači. Primljena toplina određuje se kalorimetrijskom metodom, a pomoću nje možemo odrediti i Curievu temperaturu magneta. Kroz nekoliko mjerenja, dobila sam vrijednost te temperature koja iznosi $t = (323,28 \pm 26,72) ^\circ\text{C}$. Ta temperatura upravo odgovara temperaturama koje se navode u literaturi kao Curieve temperature za neodimijske magnete, dok je Curieva temperatura željeza puno viša.

To svojstvo magneta koristi se kod magnetskih medija za pohranu, za brisanje i pisanje novih podataka. Magnetski mediji načinjeni su od feromagneta. Pri upisu podataka kroz zavojnicu protječe električna struja koja stvara magnetsko polje, koje magnetizira djelić površine feromagneta. Ostale upotrebe odnose se na stabiliziranje magnetskog polja tahometra generatora na promjene temperature.

Sadržaj:

Sažetak.....	1
1. Uvod.....	3
1.1. Magneti.....	3
1.2. Podjela materijala s obzirom na magnetska svojstva.....	6
1.3. Curieva temperatura.....	7
1.4. Željezo.....	8
1.5. Neodimijski magneti.....	11
1.6. Primjena.....	12
2. Mjerenje.....	13
2.1. Kalorimetrijska metoda.....	13
2.2. Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta.....	14
2.3. Cilj pokusa.....	15
2.4. Pribor.....	15
2.5. Opis rada.....	16
2.5.1. Određivanje Curieve temperature kalorimetrijskom metodom.....	16
2.5.2. Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta magneta.....	17
3. Rezultati mjerenja.....	18
3.1.1. Određivanje Curieve temperature kalorimetrijskom metodom.....	18
3.1.2. Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta magneta	18
4. Diskusija.....	19
5. Zaključak.....	21
6. Literatura.....	22
7. Prilog.....	23

1. UVOD

1.1. MAGNETI

Magnet je tvar s vlastitim magnetskim poljem, koje stvaraju gibajući električni naboji i magnetski dipoli u magnetima. Magnetska svojstva materijala moguće je objasniti međudjelovanjem vanjskog magnetskog polja i magnetskih momenata atoma i molekula.

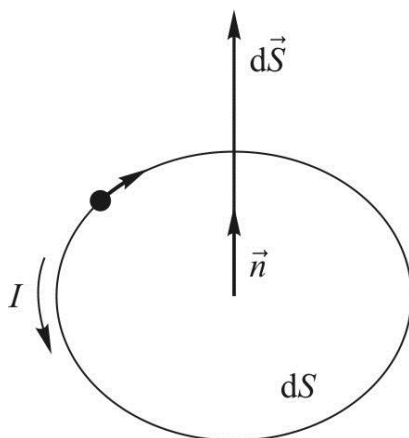
^[1] Atom je osnovna građevna jedinica tvari, a sastoji se od jezgre (koju čine pozitivno nabijeni protoni i neutralno nabijeni neutroni) i elektronskog omotača (u kojem, raspoređeni u ljuskama, tj. orbitalama kruže negativno nabijeni elektroni). U neutralno nabijenom atomu, broj protona, elektrona i neutrona je jednak. ^[2]

Magnetsko polje može nastati ako kroz vodič teče električna struja, a nastat će zbog gibanja elektrona, tj. oko naboja koji se giba, zbog orbitalnog momenta elektrona koji stvara magnetski dipol, te zbog spinskog magnetskog momenta elektrona.

Svaki kružeći elektron može se nadomjestiti ekvivalentnom malom strujnom petljom koja omeđuje površinu ΔS , a električna struja I petlje teče suprotno od smjera kruženja elektrona. Magnetsko polje male petlje električne struje na većoj udaljenosti jednako je polju magnetskog dipola. Magnetski moment dipola je:

$$m = nI\Delta S = I\Delta S$$

gdje je n vektor normale na površinu ΔS , a I struja.



Slika 1.1. Mala kružna petlja

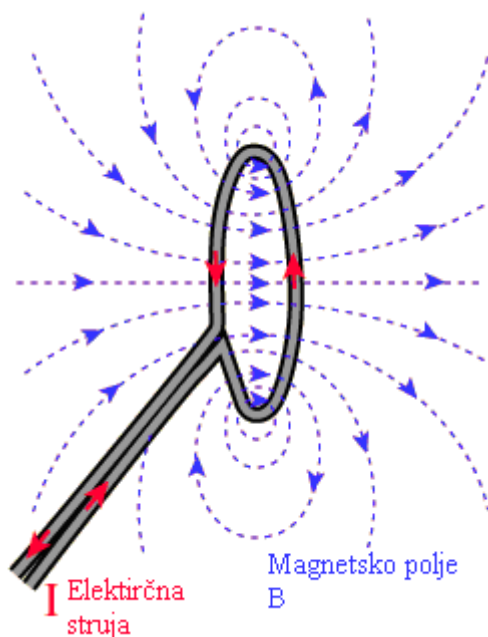
Magnetski moment atoma se sastoji od tri komponente: magnetskog momenta, rotacije elektrona oko jezgre magnetskog momenta zbog spina elektrona i magnetskog momenta zbog spina jezgre.

Magnetsko polje male petlje strujne struje na većoj udaljenosti jednako je polju magnetskog dipola. Rotacija električnog naboja oko vlastite osi (spin) može se smatrati graničnim slučajem strujne petlje čija površina teži nuli. Zato je elektronu uz magnetski moment, zbog kružnog gibanja, pridružen i magnetski moment zbog spina. Jezgra atoma ima magnetski moment zbog spina, ali znatno manjeg iznosa od magnetskih momenata elektrona. Ukupni magnetski moment atoma ili molekule rezultanta je magnetskih momenata elektrona i jezgre. Zbog spinskog magnetskog momenta elektrona, nastaje i magnetsko polje. ^[3] Magnetsko polje u svakoj točki potpuno je opisano pomoću magnetske indukcije B u toj točki. Svakoj je točki magnetskog polja pridružen pripadni vektor magnetske indukcije B , koji iskazuje jakost magnetskog polja. Ako je magnetsko polje homogeno (ima homogen raspored silnica), tada je vektor magnetske indukcije B u svakoj točki tog prostora jednak, tj. ima isti iznos i smjer. Mjerna jedinica za magnetsku indukciju je tesla [T]. Što je magnetsko polje jače, veća mu je magnetska indukcija.

Izraz za magnetsku indukciju je :

$$B = \frac{F_m}{Il}$$

gdje je F_m vrijednost Amperove sile, I jakost struje kroz žicu, a l duljina žice. ^[1]



Slika 1. 2. Struja teče kroz strujnu petlju, stvarajući magnetsko polje^[4]

Tablica 1. Vrijednosti magnetske indukcije B za neka magnetska svojstva^[1]

MAGNETSKO POLJE	MAGNETSKA INDUKCIJA
na površini Zemlje	$2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
Na većini zvijezda	do 1 T
stalnog magneta	do otprilike 1 T
elektromagneta	do otprilike 20 T
kratkotrajnih elektromagneta (oko 10^{-4})	do otprilike 500 T

1.2. PODJELA MATERIJALA S OBZIROM NA MAGNETSKA SVOJSTVA

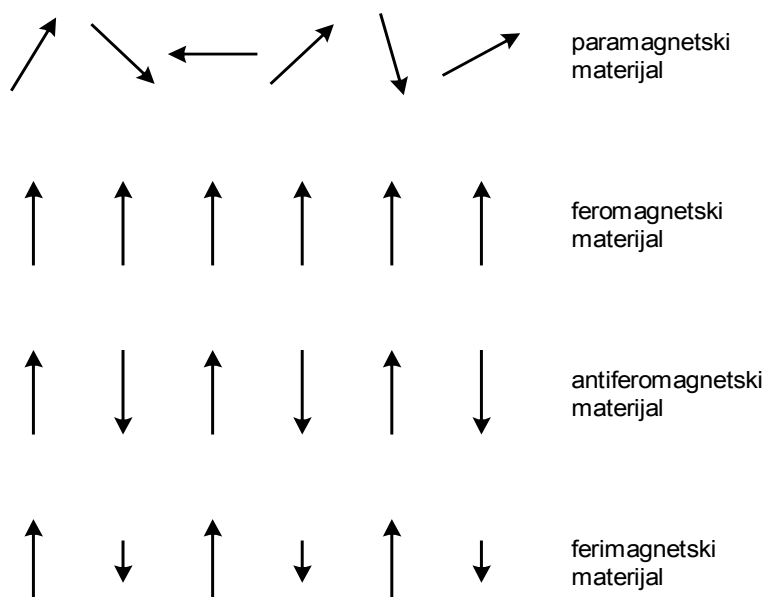
Materijali se s obzirom na magnetska svojstva dijele na dijamagnetske materijale, paramagnetske, feromagnetske, antiferomagnetske i ferimagnetske. Dijamagnetski materijali, nemagnetski su, jer svaki atom nema magnetski dipolni moment. Štoviše, magnetski moment atoma ili molekula jednak je nuli, kad nisu izloženi djelovanju vanjskog magnetskog polja.

Kod paramagnetskih materijala međusobni utjecaj magnetskih momenata atoma je zanemariv pa su oni proizvoljno orijentirani. Djelovanjem vanjskog magnetskog polja magnetski momenti (magnetski dipoli) se zakreću u pravcu polja i materijal se magnetizira.

Kod feromagnetskih materijala međusobni utjecaj magnetskih momenata susjednih atoma je takav, da su oni jednakih iznosa, paralelni i istog smjera.

Magnetski momenti susjednih atoma kod antiferomagnetskih materijala, jednakih su iznosa paralelni i suprotnog smjera, a kod ferimagnetskih su materijala različitog iznosa, paralelni i suprotnog smjera.

Možemo zaključiti da je magnetizacija kod feromagnetskih materijala izrazita, kod antiferomagnetskih jednaka je nuli, a kod ferimagnetskih različita od nule. Kada se ukloni vanjsko magnetsko polje, domene se dijelom razjedine i magnetizacija opada. Da bi se materijal razmagnetizirao, potrebno je primijeniti vanjsko magnetsko polje suprotnog smjera. Magnetsko uređenje može se poremetiti zagrijavanjem. ^[3]



Slika 1.3. Spinovi kod paramagnetskih, feromagnetskih, antiferomagnetskih i ferimagnetskih materijala

1.3. CURIEVA TEMPERATURA

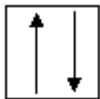
Temperatura na kojoj feromagnetni i ferimagnetni dobivaju paramagnetična svojstva naziva se Curieva temperatura (Curieva točka). Efekt je reverzibilan, tj. magnet će izgubiti magnetska svojstva ako je zagrijan iznad Curieve temperature. Kad se ohladi ispod Curieve temperature, magnet dobiva ista svojstva koja je imao prije. ^[5]

Temperatura Zemlje povećava se kako se približavamo središtu. Na dubini od 25 km, dostiže se (ili čak nadmašuje) Curieva temperatura. Temperature na većim dubinama premašuju Curievu temperaturu svih feromagnetskih materijala. Kako je Zemljina jezgra sastavljena od uglavnom tekućeg željeza, nikla (te manje zastupljenih nemetala), ne može biti magnetizirana, no Zemlja ima magnetsko polje. Unutar Zemljine jezgre, kruže električne struje i pretvaraju Zemlju u jedan veliki elektromagnet. ^[5]

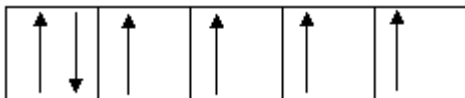
1.4. ŽELJEZO

Jedan od najviše iskorištenih metala je željezo. U elementarnom stanju čisto je željezo srebrnkastog sjaja, razmjerno mekano i može se lako kovati. Na zraku je vrlo nestabilno i relativno brzo oksidira. Ono je i feromagnetično, što znači da zadržava magnetska svojstva i prestankom djelovanja magnetskog polja.

Značajna karakteristika željeza je smještanje elektrona u N ljusku, prije no što je M-ljuska u cijelosti popunjena. Šesti elektron u 3d podljusci, suprotno je orijentiran i stoga najslabije vezan za atom. Spinovi svih vodljivih elektrona međusobno su paralelni i suprotno orijentirani od spinova ostalih elektrona u 3d podljusci. Posljedica je permanentni magnetski dipol.

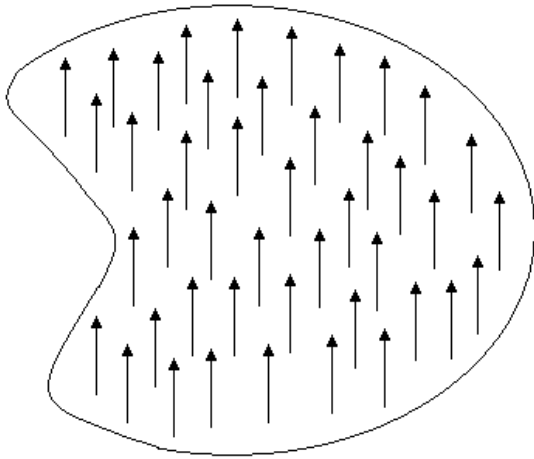


Slika 1.4. "Normalni" elektronski par u podljusci



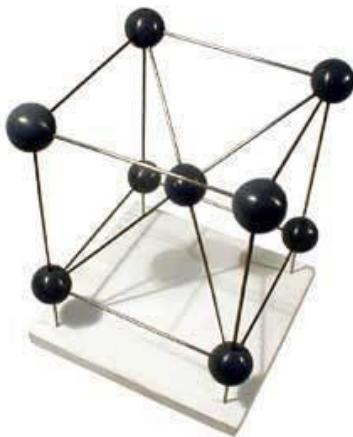
Slika 1.5. Podljuska odgovorna za magnetska svojstva željeza

U područjima željeza, koje su tako velike da sadrže milijune atoma, spinovi, dakle i magnetski momenti gotovo svih atoma imaju isti smjer. Daleko ispod Curiejeve točke na sobnoj temperaturi, za željezo, usmjeravanje je gotovo potpuno. Kada bismo pogledali u unutrašnjost jednog kristalića metalnog željeza i vidjeli vektore magnetskih momenata kao strelice, vidjeli bismo da strelice pokazuju u istom smjeru.



Slika 1.6. Sređenost spinskih usmjerenja u malom djeliću kristala željeza. Svaka strelica predstavlja magnetski moment jednog atoma željeza

Povišenjem temperature (koja je «neprijatelj» reda) , spinovi ipak ostaju usmjereni zbog kvantno – mehaničke strukture atoma željeza. Energetski je povoljnije da spinovi susjednih atoma željeza imaju isti smjer. To nije posljedica njihova magnetskog međusobnog djelovanja, već nekog učinka koji je jači od magnetskog i pogoduje da su spinovi usmjereni u istom smjeru, iako međusobna djelovanja ne djeluju na taj način. Ako se krene od potpuno neuređenog stanja, npr. ako se snižava temperatura željeza preko Curieve točke bez vanjskog magnetskog polja, tada slučaj na neki način određuje koji će se smjer od jednakovaljanih smjerova izabrati za smjer magnetizacije. Čisto se željezo sastoji od prostornocentriranih kubnih kristala. Svaki atom ima osam najbližih susjeda.



Slika 1.7. Struktura željeza

Ta simetrija okoline pojedinog atoma određuje njegova fizička svojstva, posebno vezanje elektronskih spinova. U željezu su smjerovi bridova kubne rešetke osi najlakše magnetizacije. To znači spinovi teže da se jednako usmjere, a ta težnja izražena je u svakom od šest smjerova. To je važno jer se zbog toga spinovi ne mogu lako zajednički zakrenuti od jednog smjera najlakše magnetizacije u drugi pod pravim kutom. Da bi to načinili morali bi proći nizom manje povoljnih usmjerenja. Upravo ta zapreka čini trajne magnete mogućima. Približavanjem temperature Curievoj temperaturi, termičko gibanje atoma sve više narušava ovo zajedničko usmjerenje. Pri Curievoj temperaturi ukupna magnetizacija jednaka je nuli tako da materijal postaje paramagnetičan.

Iako su svi atomski momenti usmjereni, svaki komad željeza nije snažan magnet na sobnoj temperaturi. Prividno nemagnetično željezo se zapravo sastoji od mnogo područja istovjetne magnetizacije (domena). U svakom "području", tj. domeni spinovi su jednako usmjereni, međutim ti su smjerovi različiti za susjedna područja. Stoga su u nemagnetiziranom željezu svi smjerovi jednako zastupljeni i makroskopski magnetski učinci se ne opažaju. Područja se uspostavljaju i u mono kristalima. Ta područja obično imaju mikroskopske mjere, no s gledišta veličine atoma, to su još uvijek ogromne skupine atoma. Područje istovjetne magnetizacije obično sadrži milijarde elementarnih magnetskih momenata. Različita usmjerenost područja, posljedica je toga što takva stanja imaju nižu energiju nego stanje u kojima bi svi spinovi u tijelu bili jednako usmjereni. Utrajnim magnetima imamo djelomično ili skoro potpuno jednosmjerno uređenje pa usmjerena područja stvaraju snažno vanjsko magnetsko polje magneta. Energija koju to vanjsko magnetsko polje sadrži veća je od energije koja je potrebna da se mali dio spinova u kristalu (i to onih na granicama područja), usmjeri različito od usmjerenja neposredno susjednih područja. Stoga je struktura područja rezultat "traženja" minimuma energije. ^[6]

1.5. NEODIMIJSKI MAGNETI

Neodimijski magneti najjači su poznati stalni magneti. Koriste se u proizvodima kao što su naprimjer hard disk, mikrofoni, zvučnici, tj. u uređajima gdje su potrebni snažni magneti male mase i/ili volumena jer njihova snaga omogućuje korištenje manjih, lakših magneta. Srebrno su bijele boje, te brzo pocrne na zraku. Često su kromirani niklom. Kristalna struktura ima iznimno visoku jednoosnu magnetsku anizotropiju, što im daje visoku koercitivnost. Njihovo magnetsko polje može biti opasno za magnetske medije, kao što su diskete, ili kreditne kartice, jer mogu izbrisati podatke.

Tablica 2. Usporedbe Curieve temperature neodimijskih magneta s ostalim permanentnim magnetima. ^[7]

Magnet	T_C (°C)
$Nd_2Fe_{14}B$	310–400
$Nd_2Fe_{14}B$	310–400
$SmCo_5$	720
$Sm(Co, Fe, Cu, Zr)_7$	800
Alnico	700–860
Sr-ferrite	450

1.6. PRIMJENA CURIEVE TEMPERATURE

Pojava da materijal gubi magnetska svojstva pri određenoj temperaturi koristi se kod stabiliziranja magnetskog polja tahometra generatora na promjene temperature, stabiliziranje temperature kod lemilice, te kod magnetsko – optičkih medija za pohranu podataka, tj. za brisanje i pisanje novih podataka. Poznati primjeri uključuju Sony MiniDisc format i sada zastarjeli CD – MO format. Naime, spremanje (i brisanje) podataka postiže se tako da se optičko – magnetski sloj zagrije na Curievu temperaturu, čime se brišu postojeći podaci. Nakon što se temperatura spusti ispod Curieve koriste se svojstva magnetskog polja za spremanja novih podataka. Princip je sličan kod mnogih magnetsko – optičkih medija za pohranu podataka. ^[5]

Piroliza GC, analitička je metoda koja se koristi za analizu polimera i hlapljivih organiskih spojeva. Uzorak se zatvori u feromagnatski materijal, pirožicu ili pirofoliju i zatim zagrijava na Curievu temperaturu feromagneta, čime se analizira široki spektar spojeva. ^[8]

2. MJERENJA

2.1. KALORIMETRIJSKA METODA

Razina energije koju sustav posjeduje ne ovisi o načinu na koji ju je sustav primio niti što će biti s njom u budućnosti. Energija sustava je jedino ovisna o uvjetima u kojima je sustav, tj. energija je funkcija stanja sustava. Energija nekog sustava ne može se mjeriti izravno, izračunati se može samo prirast energije za određenu reakciju na temelju izmjerenih vrijednosti.

Kalorimetar je uređaj za određivanje količine topline koja se oslobađa ili troši tijekom nekog procesa, a služi i za određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta. Sama metoda mjerenja topline, naziva se kalorimetrija. Sve tvari imaju određeni toplinski kapacitet pa mogu apsorbirati ili oslobađati toplinu a da se kemijski ne promijene. Toplina koju neko tijelo zagrijavanjem primi odnosno hlađenjem izgubi jednaka je

$$Q = mc\Delta t$$

gdje je m masa tijela, c spec. topl. kapacitet, a Δt promjena temperature tijela.

Kad su u međusobnom dodiru dva tijela različitih temperatura, onda je, prema zakonu o očuvanju energije, povećanje unutrašnje energije tijela koje se grije jednako smanjenju unutrašnje energije tijela koje se hladi.

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_1c_1 (\Theta - t_1) = m_2c_2 (t_2 - \Theta)$$

Gdje je Θ konačna temperatura pri kojoj oba tijela postižu toplinsku ravnotežu.

2.2. ODREĐIVANJE SPECIFIČNOG TOPLINSKOG KAPACITETA

Sve tvari imaju određeni specifični toplinski kapacitet, pa mogu oslobađati ili apsorbirati određenu količinu energiju, a da se kemijski ne promijene, te ovisi o vrsti tvari. Što je veći specifični toplinski kapacitet, to pri zagrijavanju tijela određene mase, za postizanje željene temperature moramo dovesti više topline. Specifični toplinski kapacitet izražava se u džulima po kilogramu kelvina, a označuje se c .

$$c = \frac{C}{m}$$

Osim specifičnog toplinskog, imamo i toplinski kapacitet, koji je jednak umnošku mase i specifičnog toplinskog kapaciteta. Označavamo ga s velikim C , a izražava se u džulima po kelvinu.

$$C = mc$$

Tablica 3. Neke tvari i njihovi specifični toplinski kapaciteti ^[9]

TVAR	$c/\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
bakar	385
nikal	440
željezo	460
etanol	2350
voda	4190

2.3. CILJ POKUSA

Cilj pokusa je dokazati da magnet doista gubi svoja svojstva privlačenja na određenoj temperaturi, odrediti tu temperaturu te pomoću rezultata otkriti gubi li magnetska svojstva magnet ili žica. Također, želim provjeriti vraćaju li se magnetska svojstva magneta nakon hlađenja.

2.4. PRIBOR

Od pribora koristila sam željeznu žicu, neodimijski magnet (promjera 0,6 mm), kalorimetar, stalke, žice, krokodilke, termometar.

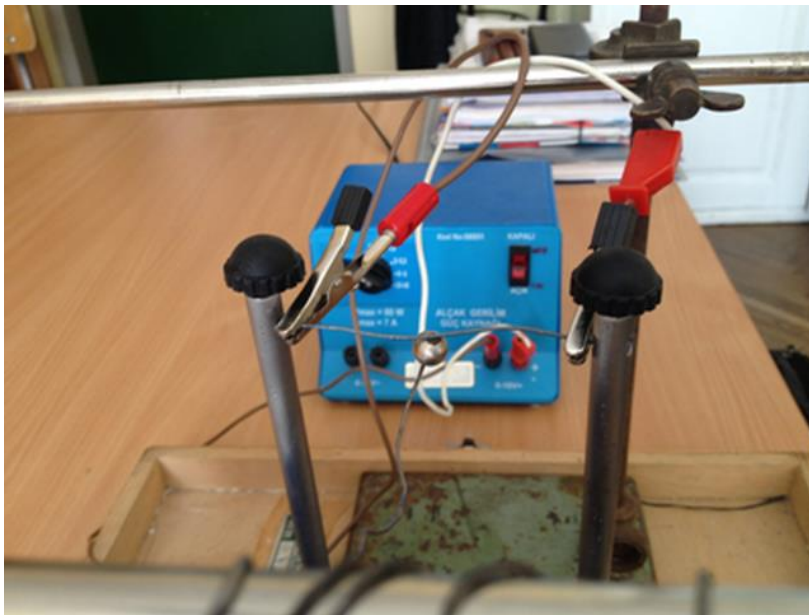


Slika 8. Pribor korišten u eksperimentu

2.5. OPIS RADA

2.5.1. Određivanje Curieve temperature kalorimetrijskom metodom

Kroz dva željezna stalka provukla sam željeznu žicu dugu desetak centimetara. Na krajeve žice, postavila sam elektrode. Na drugi stalak, udaljen nekoliko centimetara, objesila sam magnet. Magnet i žica se privlače.



Slika 10. Magnet i žica prije zagrijavanja

Ispod žice postavila sam kalorimetar i pustila struju kroz elektrode. Nakon nekog vremena, žica se užari, a magnet i žica se više ne privlače.



Slika 11. Magnet i žica nakon zagrijavanja

Žicu stavljam u kalorimetar i mjerim promjenu temperature. Računom određujem temperaturu žice u trenutku kada je magnet izgubio svoja magnetska svojstva i odvojio se od žice. Kako bi odredila gubi li žica svojstvo magnetizacije ili magnet svojstvo privlačenja željezne žice, magnet umjesto na nit, stavljam na željeznu žicu. Ovisno o tome hoće li magnet otpasti i sa željezne „niti“ na kojoj visi, te o izmjerenoj temperaturi užarene žice dobit ćemo odgovor na pitanje je li cijeli magnet izgubio magnetska svojstva ili samo u području dodira sa žicom.

Kalorimetar sam napravila od limene kutije koju sam izolirala stiroporom. U stiropor sam stavila plastičnu čašu koja može sadržavati vodu. U poklopcu kutije, kojeg sam također izolirala stiroporom, izbušila sam rupu kroz koju se može provući termometar. (Kalorimetar je prikazan na slici 8.)

2.5.2. Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta magneta

Kako bih odredila specifični toplinski kapacitet magneta, magnet sam ubacila na nekoliko minuta u kipuću vodu kako bi magnet imao istu temperaturu kao i voda pri vrenju. Zatim sam magnet stavila u kalorimetar. Kada su dva tijela različitih temperatura u kontaktu, dolazi do prijelaza toplinske energije s tijela više temperature, na tijelo niže temperature. Ukoliko su dva tijela izolirana od okoline, proces prelaženja topline završava izjednačavanjem njihovih temperatura.

Iz toga slijedi:

$$C_{\text{mag}} = \frac{m(\text{voda}) \cdot c(\text{voda}) \cdot (\Theta - t(\text{voda}))}{\text{masa}(\text{mag}) \cdot (t(\text{mag}) \cdot \Theta)}$$

3. REZULTATI MJERENJA

3.1.1. Određivanje Curieve temperature kalorimetrijskom metodom

Tablica 4. Određivanje temperature užarene žice prilikom otpuštanja magneta

Br.	$m_{\text{vode}}/\text{kg}$	$t_{\text{vode}}/^{\circ}\text{C}$	$m_{\text{žice}}/\text{kg}$	$\theta/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{žice}}/^{\circ}\text{C}$	$ \bar{t} - t /^{\circ}\text{C}$
1.	0,025	21,0	0,00075	22,0	350,0	26,72
2.	0,046	20,0	0,00075	20,5	299,8	23,48
3.	0,021	18,0	0,00065	19,0	313,3	9,98
4.	0,021	19,0	0,00065	20,0	313,3	9,98
5.	0,030	20,5	0,00070	21,0	340,0	16,72

$$c_{\text{voda}} = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J/kgK}, \quad c_{\text{željezo}} = 0,46 \cdot 10^3 \text{ J/kgK}$$

$$\bar{t} = \frac{299,8 + 313,3 + 313,3 + 340 + 350}{5} = 323,28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t = (323,28 \pm 26,72) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$r_m = \frac{26,72}{323,28} \cdot 100 = 8,26\%$$

3.1.2. Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta magneta

Tablica 5. Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta magneta

Br.	$m_{\text{vode}}/\text{kg}$	$t_{\text{vode}}/^{\circ}\text{C}$	$m_{\text{magneta}}/\text{kg}$	$t_{\text{magneta}}/^{\circ}\text{C}$	$\theta/^{\circ}\text{C}$	$c_{\text{magneta}}/\text{J/kg K}$	$ \bar{c} - c /\text{J/kg K}$
1.	0,032	19	0,0039	73	20	648,66	13,59
2.	0,010	18,5	0,0039	45	20	644,61	9,54
3.	0,080	18,5	0,0280	69	21	623,50	11,57
4.	0,080	18,5	0,0280	69	21	623,50	11,57

$$c_{\text{mag}} = \frac{648,66 + 644,61 + 623,5 + 623,5}{4} = 635,07 \text{ J/kg K}$$

Dakle, specifični toplinski kapacitet magneta iznosi

$$c_{\text{mag}} = (635,07 \pm 13,59) \text{ J/kg K}$$

$$r_m = \frac{13,59}{635,07} \cdot 100 = 2,14\%$$

4. DISKUSIJA

Cilj pokusa bio je dokazati da magnet doista gubi svoja svojstva privlačenja na određenoj temperaturi, a žica sposobnost magnetizacije, te izmjeriti temperaturu na kojoj se to događa (Curieva temperatura).

Između magneta i žice djeluje privlačna magnetska sila. Kada sam kroz žicu pustila struju ona se ubrzo užarila i tada se magnet odvaja od žice. Dakle, magnetska sila između njih više ne postoji.

Pitanje koje se postavlja je: što je zapravo izgubilo magnetska svojstva? Gubi li magnetska svojstva magnet ili je žica izgubila svojstvo magnetizacije? Kako željezna žica, prema literaturi, ima puno višu Curievu temperaturu od neodimijskih magneta, pretpostavila sam da je magnet izgubio mag. svojstva i postao paramagnetičan.

Magnet je u dodiru sa željeznom žicom na vrlo maloj površini. Zbog njegovog relativno velikog volumena, ne zagrije se cijeli na istu temperaturu kao i željezo s kojim je u dodiru, već se to dešava samo u tom uskom području dodira. Zbog toga ne mogu mjeriti temperaturu magneta kalorimetrijski. Kako magnet gubi svojstva uz dodirnu površinu, da bi dobila temperaturu dodirne površine moram odrediti temperaturu željezne žice i to u onom trenutku kada se ona i magnet razdvajaju.

Kalorimjetrijskom metodom, kroz nekoliko mjerenja, dobila sam vrijednost te temperature koja iznosi $t = (323,28 \pm 26,72) \text{ }^\circ\text{C}$. Ta temperatura upravo odgovara temperaturama koje se navode u literaturi kao Curieve temperature za neodimijske magnete.

Kako u literaturi nisam mogla pronaći specifični toplinski kapacitet neodimijskih magneta, provela sam i to mjerenje kalorimetrijskom metodom. Rezultat pokazuje da je specifični toplinski kapacitet tih magneta

$$c_{\text{mag}} = (635,07 \pm 13,59) \text{ J/kg K}$$

Mane eksperimenta su gubitak topline, tj. brzo hlađenje magneta za vrijeme koje nam treba da ga stavimo u kalorimetar, relativno neprecizni uređaji te proizvoljno očitavanje temperature kod promjene vrijednosti za manje od $1 \text{ }^\circ\text{C}$

Kako bi bila sigurna u dobivena mjerenja, mogla bih temperaturu izmjeriti preko napona i struje. Naime, toplina koja se razvija prolaskom struje kroz žicu jednaka je uloženom radu W , a rad možemo izračunati kao umnožak napona U , jakosti struje I i vremena t ,

$$U I t = W$$

Rad W , jednak je toplini Q koju magnet prima u dodiru s užarenom žicom

$$W = Q$$

$$U \cdot I \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Problem u ovom pokusu je taj da bi za mjerenje struje trebala imati ampermetar kojim mogu izmjeriti jakost struje veću od 20 A.

5. ZAKLJUČAK

Curieva temperatura je temperatura na kojoj feromagnet gubi svoja svojstva privlačenja. Pri Curievoj temperaturi ukupna magnetizacija jednaka je nuli tako da materijal postaje paramagnetičan.

Pokus sam izvela tako da sam između dva stalka stavila žicu i na nju zakačili elektrode. Na nekoliko centimetara razmaka, napravila sam njihalo na koje sam stavila magnet. Magnet i žica su se privlačili. Pustila sam struju kroz žicu privlačio i ona se zagrijala. Nakon kratkog vremena, temperatura na dodirnoj površini magneta postignula je Curievu, te je magnet otpao.

Da se radi o Curievoj temperaturi magneta, a ne željezne žice, odredila sam pomoću kalorimetrijske metode. Kako je željezna žica u dodiru s magnetom, tako se i on na dodirnoj površini zagrijava na istu temperaturu. Eksperimentalni podaci pokazuju da ta temperatura upravo odgovara teorijskim vrijednostima Curieve temperature za neodimijske magnete, dok je ona za željezo puno viša. Dobivena vrijednost temperature iznosila je $t = (323,28 \pm 26,72) ^\circ\text{C}$

Specifični toplinski kapacitet neodimijskih magneta odredila sam da bi mogla kalorimetrijski odrediti vrijednost Curieve temperature, ali ta metoda nije bila primjerena jer nije cijeli magnet bio na istoj temperaturi. Naime, zbog relativno velikog volumena magnetne kugle koju sam koristila, na temperaturu dovoljnu za gubitak magnetskih svojstava, zagrijao se samo dio magneta uz dodirnu površinu sa žicom. Dakle, temperatura žice u trenutku odvajanja je zapravo temperatura na kojoj je taj dio magneta izgubio mag. svojstva i postao paramagnetičan.

Određujući temperaturu žice, došla sam do rezultata da vrijednost Curieve temperature neodimijskih magneta iznosi $t = (323,28 \pm 26,72) ^\circ\text{C}$ što je u skadu s teorijskim vrijednostima.

Nakon hlađenja žica i magnet ponovo su se privlačili, dakle na temperaturama ispod Curieve temperature, ponovno su imali svoja magnetska svojstva.

Greške kod mjerenja pojavile su se zbog vremena koje je potrebno da žicu stavimo u kalorimetar, priručnosti mjernog uređaja, te proizvoljnog očitavanja temperature na termometru jer je najmanja podjela na 1°C .

Zaključila sam i da je kalorimetrijska metoda, s nama dostupnim kalorimetrom neprecizna, ali i pomoću nje uspjela sam odrediti približnu vrijednost Curieve temperature neodimijskog magneta i potvrditi svoje pretpostavke.

6. LITERATURA

- [1] V. Paar, V. Šips, Fizika 2, Školska knjiga, III. Izdanje, Zagreb, 2007.
- [2] M. Herak, Dunja N. Hus, Opća kemija 2, Školska knjiga, V. izdanje, Zagreb, 2002.
- [3] https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:2xyUaWwzBr0J:www.pfst.hr/~ivujovic/stare_stranice/ppt/pred12.ppt+magnetski+materijali&hl=hr&gl=hr&pid=bl&srcid=ADG EESge9vvy_Sp2ZTYic7lwWPIDeQ8WyXJbmMUz0dhy41ORzgeeVnNDIxIVlzLXhhzvhzvy_7yDAG5KjrlmH0btwxNaEEJ7D_U_-ueYko_9yYBHIIHvm8PdcNKYYEtrYU74StheCdDVjP6&sig=AHIEtbTLSSqkVhFSIGfbvQkZI9ZUqycABQ
- [4] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/curloo.html>
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Curie_temperature
- [6] I. Supek, Teorijska fizika i strukutra materije br. 1, Štamparski zavod „Ognjen Prica”, Zagreb, 1974.
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet
- [8] <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2002/021922.pdf>
- [9] Mikuličić, Varićak, Vernić, Fizika, zbirka zadataka 1- 4, Školska knjiga, Zagreb, 2000

7. PRILOG

Određivanje Curieve temperature kalorimetrijskom metodom

1.

$$m_{\text{voda}} = 0,025 \text{ kg}$$

$$m_{\text{željeza}} = 0,00075 \text{ kg}$$

$$t_{\text{voda}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta = 22,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{željeza}} = 460 \text{ J/kg K}$$

$$c_{\text{voda}} = 4190 \text{ J/kg K}$$

$$m_{\text{željeza}} c_{\text{željeza}} (t - \Theta) = m_{\text{voda}} c_{\text{voda}} (\Theta - t_{\text{voda}})$$

$$0,00075 \cdot 460 (t - 22) = 0,025 \cdot 4190 (22 - 21)$$

$$t = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2.

$$m_{\text{voda}} = 0,046 \text{ kg}$$

$$m_{\text{željeza}} = 0,00075 \text{ kg}$$

$$t_{\text{voda}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta = 20,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{željeza}} = 460 \text{ J/kg K}$$

$$c_{\text{voda}} = 4190 \text{ J/kg K}$$

$$m_{\text{željeza}} c_{\text{željeza}} (t - \Theta) = m_{\text{voda}} c_{\text{voda}} (\Theta - t_{\text{voda}})$$

$$0,000745 \cdot 460 (t - 20,5) = 0,046 \cdot 4190 (20,5 - 20)$$

$$t = 299,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.

$$m_{\text{voda}} = 0,021 \text{ kg}$$

$$m_{\text{željeza}} = 0,00065 \text{ kg}$$

$$t_{\text{voda}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{željeza}} = 460 \text{ J/kg K}$$

$$c_{\text{voda}} = 4190 \text{ J/kg K}$$

$$m_{\text{željeza}} c_{\text{željeza}} (t - \Theta) = m_{\text{voda}} c_{\text{voda}} (\Theta - t_{\text{voda}})$$

$$0,00065 \cdot 460 (t - 19) = 0,021 \cdot 4190 (19 - 18)$$

$$t = 313,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.

$$\begin{aligned}
 m_{\text{voda}} &= 0,021 \text{ kg} \\
 m_{\text{željeza}} &= 0,00065 \text{ kg} \\
 t_{\text{voda}} &= 19 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Theta &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 c_{\text{željeza}} &= 460 \text{ J/kg K} \\
 c_{\text{voda}} &= 4190 \text{ J/kg K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{željeza}} c_{\text{željeza}} (t - \Theta) &= m_{\text{voda}} c_{\text{voda}} (\Theta - t_{\text{voda}}) \\
 0,00065 \cdot 460 (t - 20) &= 0,021 \cdot 4190 (20 - 19) \\
 t &= 313,3 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

5.

$$\begin{aligned}
 m_{\text{voda}} &= 0,030 \text{ kg} \\
 m_{\text{željeza}} &= 0,00070 \text{ kg} \\
 t_{\text{voda}} &= 20,5 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Theta &= 21 \text{ }^\circ\text{C} \\
 c_{\text{željeza}} &= 460 \text{ J/kg K} \\
 c_{\text{voda}} &= 4190 \text{ J/kg K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{željeza}} c_{\text{željeza}} (t - \Theta) &= m_{\text{voda}} c_{\text{voda}} (\Theta - t_{\text{voda}}) \\
 0,00070 \cdot 460 (t - 21) &= 0,03 \cdot 4190 (21 - 20,5) \\
 t &= 340 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta magneta

$$\begin{aligned}
 1. \quad m(\text{voda}) &= 32 \text{ g} = 0,032 \text{ kg} \\
 m(\text{magneta}) &= 3,9 \text{ g} = 0,0039 \text{ kg} \\
 t(\text{voda}) &= 19 \text{ }^\circ\text{C} \\
 t(\text{magneta}) &= 73 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Theta &= 20 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{C}{m}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$C_{\text{mag}} = \frac{m(\text{voda}) \cdot c(\text{voda}) \cdot (\Theta - t(\text{voda}))}{\text{masa}(\text{mag}) \cdot (t(\text{mag}) - \Theta)}$$

$$C_{\text{mag}} = \frac{0,032 \cdot 4190 \cdot (20 - 19)}{0,0039 \cdot (73 - 20)} = 648,66 \text{ J/kg K}$$

2. $m(\text{voda}) = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$
 $m(\text{magneta}) = 3,9 \text{ g} = 0,0039 \text{ kg}$
 $t(\text{voda}) = 18,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t(\text{magneta}) = 45^\circ\text{C}$
 $\Theta = 20^\circ\text{C}$
-

$$c_{\text{mag}} = 644,61 \text{ J/kg K}$$

3. $m(\text{voda}) = 80 \text{ g}$
 $m(\text{magneta}) = 28 \text{ g}$
 $t(\text{voda}) = 18,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t(\text{magneta}) = 69 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Theta = 21^\circ\text{C}$
-

$$c_{\text{mag}} = 623,5 \text{ J/kg K}$$

4. $m(\text{voda}) = 80 \text{ g}$
 $m(\text{magneta}) = 28 \text{ g}$
 $t(\text{voda}) = 18,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t(\text{magneta}) = 69 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Theta = 21^\circ\text{C}$
-

$$c_{\text{mag}} = 636,78 \text{ J/kg K}$$