



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMETIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA MATEMATIKU
I INFORMATIKU



Seminarski rad iz fizike II

ISPITIVANJE MAGNETIKA REZONANTNIM METODAMA

Dr Svetlana Lukic-Petrović

Mirčov Milena 670/05

Sadržaj:

1.Uvod

2.Istorijat

3.Nuklearna magnetna rezonancija

4.Elektronska spinska rezonancija

5.Feromagnetna rezonancija

6.Primena magnetne rezonancije

7.Literatura

—

1.UVOD

Rezonantne pojave su zasnovane na sposobnosti materijala koji se nalazi u konstantnom magnetnom polju da selektivno apsorbuje spoljasnje (visokofrekventno) elektromagnetno zracenje.

Dominantna rezonantna metoda je nuklearna magnetna rezonancija (NMR) dok su poznate i druge, kao što su elektronska paramagnetna rezonancija (EPR, koja se u literaturi pojavljuje i kao elektronska spinska rezonancija – ESR), feromagnetna rezonancija (FMR) i antiferomagnetna rezonancija (AFMR). Rezonantne metode danas imaju značajnu primenu u dijagnostici u medicini a takođe se koriste i u biologiji u izučavanju bioloških procesa, zatim u arheologiji, hemijskoj industriji i u drugim oblastima.

Kao sto je vec receno, metoda nuklearne magnetske rezonancije jedna je od metoda s najširoom primenom. Razvijena je najpre u okviru nuklearne fizike, zbog praćenja nuklearnog magnetizma, ali se širi neočekivano i u fizici čvrstog stanja, hemiji, biologiji, da bi postala najsavršenija metoda za trodimenzionalno snimanje unutrašnjosti ljudskog tela. Da bismo razumeli osnovno načelo metode, potrebno je najpre nešto znati o magnetizmu atomskog jezgra.

U fizici čvrstog stanja, NMR tehnika je moćna u istraživanju mikroskopskih elektronskih i magnetskih svojstava materijala koja uključuju merenja lokalnih spinskih pobuđenja na atomskim pozicijama i pobuđenja naboja. NMR je od otkrića visokotemperaturnih provodnika jedna od glavnih metoda za istraživanje niskoenergijskih pobuđenja u ovim materijalima. U svrhu proučavanja mehanizma visokotemperaturne provodljivosti mogu se meriti uticaji magnetskih i ne-magnetskih supstitucija ili defekata uzrokovanih promenom dopiranja pojedinih elemenata.

2. ISTORIJAT

Iz razvojnog puta NMR-a može najbolje da se sagleda uloga nauke i njen doprinos civilizaciji. NMR je nastao iz puke radoznalosti i želje fizičara da saznaju nešto više o strukturi atomskog jezgra. Razvoju metode su dosta doprineli hemičari u želji da razumeju strukture organskih molekula. Onda je metoda prodrla u biohemiju za određivanje strukture bioloških makromolekula. Istovremeno je našla mesto u biologiji za nedestruktivno ispitivanje bioloških procesa da bi danas postala nezamenljiva dijagnostička metoda za snimanje mekih tkiva. Godine 1984. Američko udruženje radiologa je, da bi uklonilo asocijaciju na nuklearne reakcije i bombe, iz naziva metode ispustilo nuklearna pa je u medicini NMR poznat kao magnetna rezonancija.

Prve eksperimente sa magnetnom rezonancijom u čvrstom telu je ostvario Zavojski godine 1945., kada je primetio jaku apsorpciju usled elektronske spinske rezonancije u većem broju paramagnetskih soli. 1946. godine su istraživačke grupe iz Stenforda i Harvarda nezavisno uspele da detektuju NMR signal u kondenzovanoj materiji. Za taj pronalazak vodeći istraživači Feliks Bloh i Edvard Mils Parsel dobili su Nobelovu nagradu za fiziku 1952. godine.

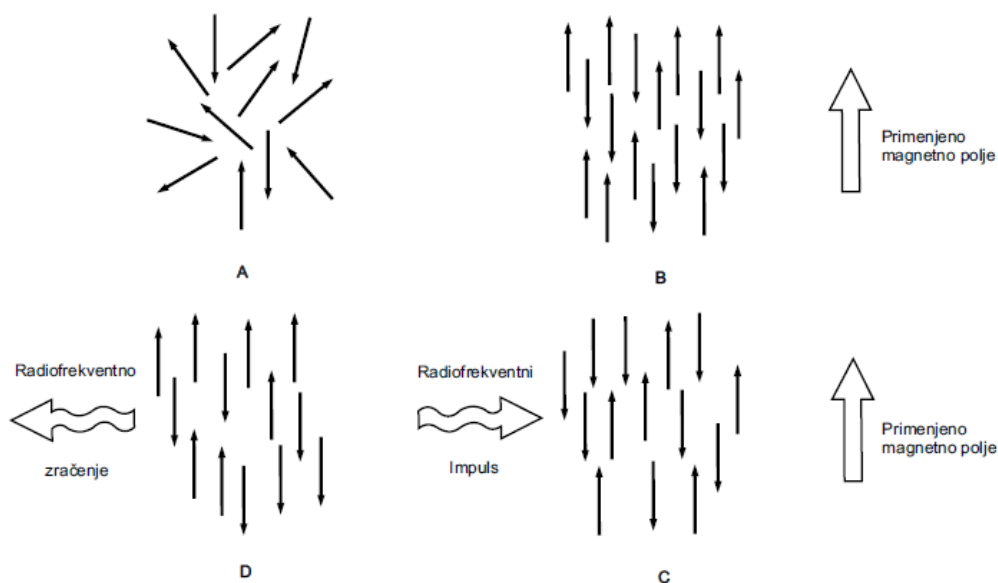
Prvi slikovni prikaz je dobijen krajem sedamdesetih godina prošlog veka (Mensfeld, Modslis, Demedian, Hinšou), dok je za otkrića u vezi sa slikanjem mekih tkiva pomoću NMR 2003. godine dodeljena Nobelova nagrada za medicinu Polu Laterburu i Piteru Mensfeldu.

3. NUKLEARNA MAGNETNA REZONANCIJA

Da bismo upoznali osnovne principe NMR posmatracemo šta se desava sa jezgrom vodonika kada se unese u spoljashnje magnetno polje. Vodonik je sastojak velikog broja jedinjenja u našem organizmu, pa je zato i osnov daljeg istraživanja. Jezgra atoma vodonika se ponasaju kao slabi magneti.

U prostoru su nepravilno rasporedjena [slika 1-A]. Kada se unesu u jako magnetno polje, jezgra ce se orjentisati na dva nacina: u pravcu

polja, ili suprotno [slika 1- B]. Jezgra kod kojih se paralelnost izražava su nizih energetskih stanja od onih



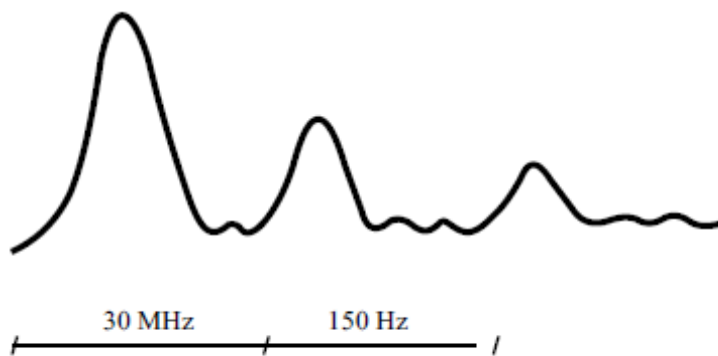
Слика 1.- Принципи магнетне резонанце. (4)

antiparalelnih i prisutni su u većem broju. Za pojavu magnetne rezonance odgovorna su jezgra sa antiparalelnim statusom. Pojavu rezonance definise reorientacija jezgra u pravcu polja. Tada je prisutna magnetizacija maksimalna, jezgro može da apsorbuje rezonantno zračenje i predje na neki susedni nivo. Postrojavanje jezgra u pravcu polja može se postići i kada se uzorak izloži dejstvu radiofrekventnih impulsa strogo određene energije, koja odgovara razlici paralelnih i antiparalelnih stanja koju oni apsorbuju [slika 1-C]. Sada mogu izvršiti prelaz na visji ili nizi energetski nivo, čime se izjednačava naseljenost susednih nivoa.

“Trzanje” jezgara između dva energetska nivoa poznato je kao koherentna rezonancija. Nakon prestanka dejstva polja, prekida energetske impulsa, jezgra se vraćaju u osnovno stanje [slika 1-D], emitujući energiju u obliku radio frekventnog signala iste frekvencije kao i pobudni signal.

Taj signal će uputiti na mesto nastanka, odnosno na položaj jezgra-protona. Oblik signala je predstavljen na slici 2, gde maksimumi odgovaraju položaju protona.

Odmah posle stimulacije uzorka RF signalom najveći je broj pobudjenih jezgara.



Слика 2.- Сигнал нуклеарне резонанце. (2)

NMR spektar se može očekivati kod izotopa elemenata neparnog rednog ili masenog broja, imajući u vidu da je spin jezgara izotopa sa parnim rednim i masenim brojem jednak nuli.

Jezgra koja imaju neparan broj protona i neutrona imaju magnetni moment μ_J različit od nule. Kao jedinica mere momenta jezgra uvodi se nuklearni magneton μ_0 :

$$\mu_0 = \frac{eh}{4\pi m_p}$$

gde je e -elementarno naelektrisanje, h -Plankova konstanta i m_p -masa protona.

Paralelno se može analizirati mehanički moment količine kretanja jezgra, odnosno spin jezgra kao osnova za definisanje magnetnih svojstava jezgra i njemu pridružen spinski kvantni broj I_J . Kako se pravci vektora magnetnog i mehaničkog momenta poklapaju, pri razmatranju interakcije jezgra i primenjenog magnetnog polja, može se ravnopravno tretirati ponašanje spina jezgra ili njegovog magnetnog momenta. Veza između njih je data sledećom relacijom:

$$\mu_J = g\mu_0 I_J$$

U ovom izrazu g je nuklearni ili g-faktor jezgra, koji predstavlja analog elektronskom g-faktoru koji je za sisteme elektrona definisan relacijom:

$$g\mu_B \equiv -\gamma\hbar$$

zapravo, daje odnos broja Borovih magnetona (μ_B) i jedinica \hbar momenta impulsa. Konstanta γ je jednaka odnosu magnetskog momenta i momenta impulsa i naziva se magnetomehanički odnos ili žiromagnetski odnos.

Svakoj orijentaciji odgovara određena unutrašnja energija koja se može izraziti kao:

$$E = \frac{\mu_J H_0 M}{I_J}$$

gde je M -magnetni kvantni broj jezgra. Pri izmeni orijentacije jezgra dolazi do apsorpcije ili emisije kvanta elektromagnetne energije čija vrednost odgovara energijskoj razlici tih stanja:

$$E_2 - E_1 = h\nu = (M_2 - M_1) \frac{\mu_J H_0}{I_J}$$

Mogući su samo prelazi pri kojima se magnetni kvantni broj menja za jedinicu i to na osnovu izbornih pravila. Odatle sledi da je rezonantna frekvencija:

$$\nu = \frac{\mu_J H_0}{I_J h}$$

To je glavni uslov NMR, koji se takođe piše i u obliku gde figurišu kružna frekvencija ω i magnetomehanički odnos γ :

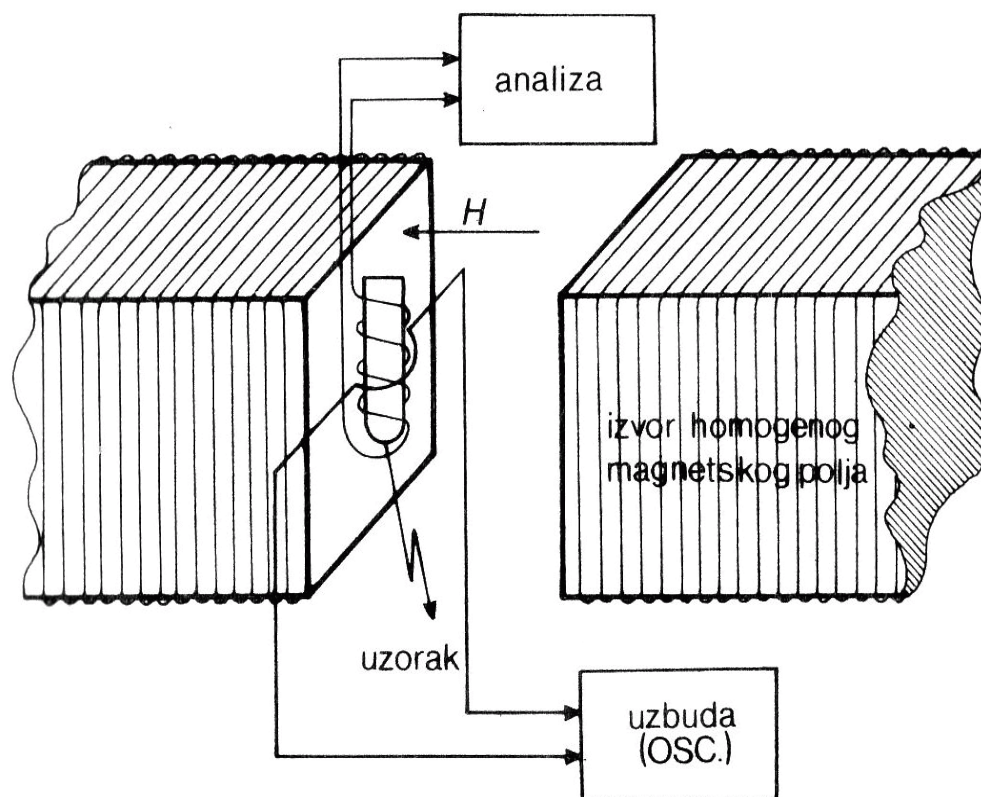
$$\omega = \gamma H_0$$

Inace, **nuklearna magnetna rezonancija** (NMR) je dobila naziv:

- **Nuklearna** jer se radi o spinovima atomskog jezgra
- **Magnetna** jer su u pitanju magnetni prelazi
- **Rezonancija** zato što se elektromagnetnim talasima, pri izjednacavanju energija, spinski sistem dovodi u rezonanciju.

TIPIČNI EKSPERIMENT:

Dat je sematski prikaz merenja metodom nuklearne magnetne rezonancije. Uzorak (epruveta) stavlja se u homogeno magnetno polje. Pobudjeni oscilator generise u okolini uzorka polje zracenja tacno odredjene frekvencije. Kada se dostigne rezonantni uslov da je ta frekvencija upravo frekvencija prelaza izmedju rascepljenih nivoa tog uzorka, on pocne upijati zracenje. Druga zavojnica oko tog uzorka vodei do analizatora koji prati intenzitet zracenja tog uzorka. Ovaj analizator opaza nestanak zracenje iz okoline.



4. Elektronska spinska rezonancija

Elektronska spinska rezonancija (ESR) slična je nuklearnoj magnetskoj rezonanciji, samo što je pojava na atomskom nivou. Ponovno se radi o indukciji među rasepljenim nivoima. Ulogu jezgrovog spina u NMR u elektronskoj rezonanciji preuzima spin poslednjega nesparenog elektrona. Tu metodu s elektronskom spinskom rezonancijom također često nazivaju elektronskom paramagnetskom rezonancijom ili EPR-metodom, jer funkcioniše upravo na nesparenom elektronu. Metoda se često primenjuje za provodne elektrone u metalu, i one prielaznih metala, slobodne radikale itd.

Ona se odnosi na eksperimentalnu tehniku detekcije pojava vezanih za kvantne prelaze između energijskih nivoa magnetnih momenata atoma koji se nalaze u jakom magnetnom polju kada ulogu magnetika imaju spinski i orbitalni momenti elektrona.

Energija čestice sa spinom S koja se nalazi u stalnom magnetom polju jačine H može dobiti niz diskretnih vrednosti koje zavise od jačine polja. Pri tome elektroni jednog spina se postavljaju paralelno spoljašnjem polju i popunjavaju niži energijski nivo. Elektroni suprotnog spina se postavljaju antiparalelno spoljašnjem polju i zbog toga zauzimaju više stanje. Razlika energija između tih nivoa je

$$E_2 - E_1 = h\nu = g\mu_B H_0$$

gde je g - Landeov faktor spektroskopskog cepanja, μ_B - Borov magneton i H_0 - jačina primenjenog polja.

Korišćenjem navedene jednačine, iz eksperimentalno detektovanih EPR spektara dobija se da Landeov faktor ima vrednost $g=2.0023$ kad je magnetni moment čestice određen samo spinom. U slučaju da postoji i orbitalni moment koji se dodaje na moment spina, vrednost Landeovog faktora znatno odstupa od 2.

Kao i kod NMR, rezonantna frekvencija je proporcionalna jačini magnetnog polja. Ali kako je spinski i orbitalni magnetni moment elektrona znatno veći od magnetnog momenta jezgra, faktor proporcionalnosti za EPR je približno 10^3 puta veći nego kod NMR. To znači da se rezonantni efekti pod analognim uslovima u slučaju EPR ostvaruju pri frekvencijama koje pripadaju intervalu centimetarskih ili čak milimetarskih talasnih dužina.

5. Feromagnetna rezonancija

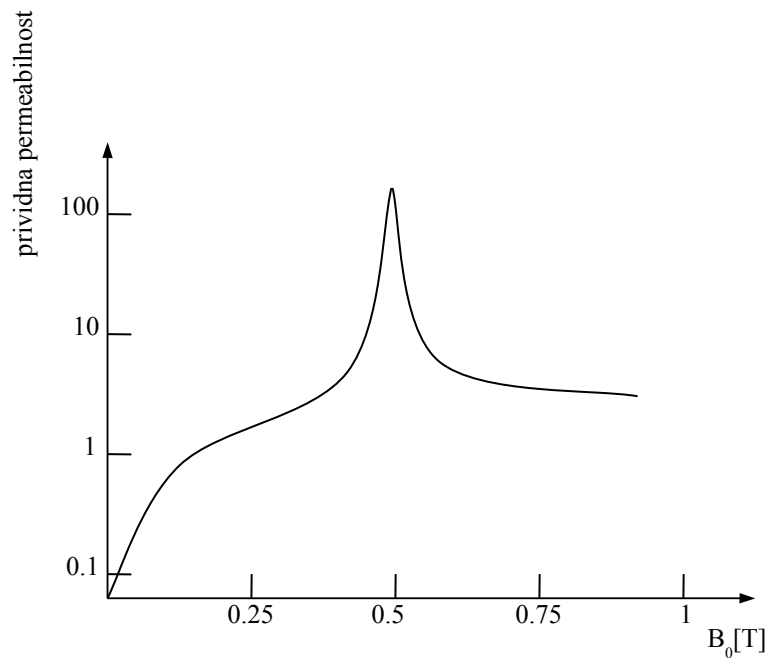
Pojava rezonantne apsorpcije kvanta energije visokofrekventnog polja u feromagnetnom materijalu pracaena promenom susceptibiliteta (permeabiliteta), predstavlja feromagnetnu rezonanciju. Efekat se realizuje ako na feromagnetik istovremeno deluje jako konstantno magnetno polje i na njega normalno slabo visokofrekventno polje. Rezonantna frekvencija pri kojoj se ispoljava maksimum na krivoj magnetnog permeabiliteta zavisi pre svega od karakteristika materijala, ali i od jačine priloženog polja.

Oblik uzorka igra važnu ulogu. Za proučavanje FMR je najpogodnije da se eksperimentiše sa uzorkom u obliku tanke pločice koji se drži u spoljašnjem magnetnom polju čija se jačina menja u odabranom intervalu i da se fekvencija visokofrekventnog zračenja održava konstantnom. Rezonantna apsorpcija energije

slabog visokofrekventnog polja dovodi do promene faktora dobrote rezonatora. Ta promena je prouzrokovana promenom magnetnog susceptibiliteta. Izraz za rezonantnu frekvenciju je:

$$\omega_r = \gamma\sqrt{HB}$$

gde je γ - žiromagnetni odnos, H - jačina primenjenog magnetnog polja, B - magnetna indukcija u materijalu.



Na slici je predstavljena rezonantna kriva prividne magnetne permeabilnosti (μ_p) za legure gvozdja i nikla , pa i sa nekim drugim elementima koji se zajednickiim imenom zovu supermale.

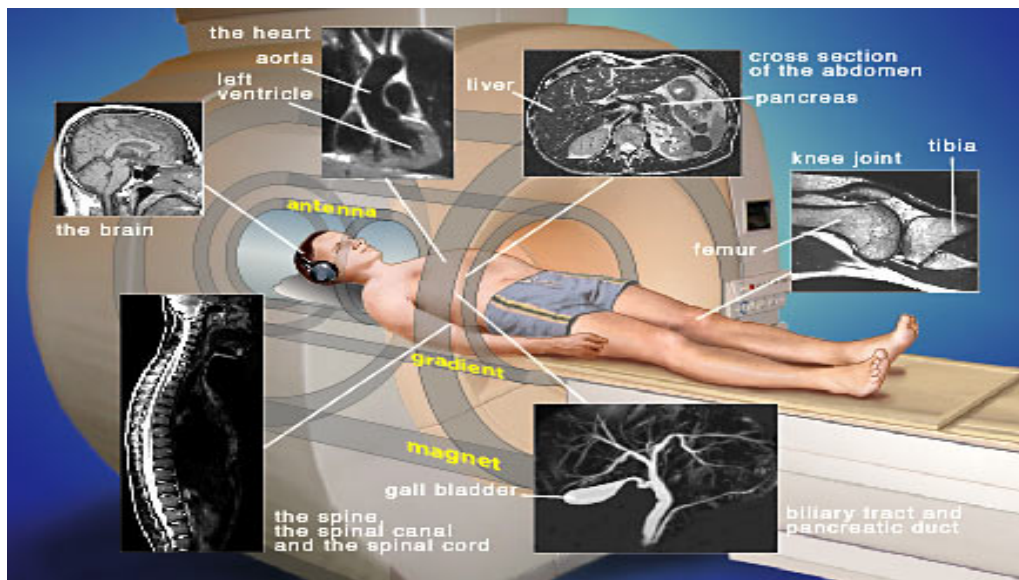
6. Primena magnetne rezonancije

NMR je kao metoda zasnovana iskljucivo na prirodnim fizickim osobinama atomskih jezgara nasla veliku primenu u dijagnostici. Radiofrekventni signali koji se

koriste za dobijanje MR slike preseka tela poticu od sveprisutnog vodonika u telu. Rezonantni signal potice pre svega od vodonika u nestabilnim hemijskim strukturama. U stvari prisustvo kontrasta u NMR slici izmedju tkiva sa razlicitom koncentracijom vode, posledica je razlicitog intenziteta signala koji se dobija radiofrekventnom pobudom posmatranog volumena. Pocetni intenzitet direktno zavisi od stepena magnetizacije jezgara, kao i koncentracije onih protona koji su raspoloživi za interakciju sa određenom frekvencijom impulsa. Izborom ispravne metode moguće je prikazati neka oštećenja, promene na tkivima, sve dok normalna i bolesna tkiva pokazuju razlike u svojim parametrima.

Osamdesetih godina postala je klinicka metoda koja se najcesce upotrebljavala u svim onim podrucijama tela gde nema respiratornog i drugog kretanja, gde se organi raspoznaju sa manje detalja. Ali ako bi se parametri NMR uskladili sa recimo respiratornim ciklusom ili radom srca, onad bi se znatno poboljsala detaljnost ovih slika. Podrucija sa kojih se dobijaju slike koje obiluju detaljima u prostornoj rezoluciji su: centralni nervni sistem-mozak i kicmena mozdina, paketi limfnih cvorova, grudni kos i trbuh, srce i krvni sudovi. Prisustvo kostane mase ne utice na dobijanje dobrih NMR slika, sto metodi daje jos jednu prednost u odnosu na jonizujuce X-zrake.

Sta sve moze NMR:



Kod snimanja tkiva nervnog sistema, mozak i kicmena mozdina, najveći deo intenziteta signala uzrokovan je rezonancijom jezgra vodonika spremnih za pobudu u molekulima vode. Poznato je da siva i bela masa imaju istu koncentraciju vode, ali je koncentracija spinova veća u sivoj masi. Ova metoda se ne koristi samo za prikaz normalne anatomije, već za otkrivanje malih promena koje prate patoloske

peomene,usled promene sadrzaja vode u tkivima. NMR je postala najbolja metoda za otkrivanje pocetnih promena bolesti nervnog sistema.

Osim toga,i u arheologiji se koriste detektori, koji rade na principima NMR radi registrovanja poremećaja u normalnom magnetizmu zemljine površine prouzrokovanih arheološkim ostacima u zemlji koji su previše slabi da bi ih otkrili nekim drugim instrumentima.

7.Literatura

1. Charles Kittel, Uvod u fiziku čvrstog stanja, Beograd, 1970
2. www.wikipedia.org
3. www.cis.rit.edu/htbooks/nmr
4. Dragoslav M.Petrovic i Svetlana Lukic, Eksperimentalna fizika kondenzovane materije

