

# ODABRANA POGLAVLJA FIZIKE ČVRSTOG STANJA

Nastavnik:

**prof. dr. sc. Antun Tonejc**

Asistent:

**dr. sc. Danko Radić**

<b>Raspored predavanja i vježbi</b>				
<b>Utorak (12-15)</b>		<b>P – predavanja Vj - vježbe</b>	<b>Petak (12-15)</b>	
11.10.	<b>3P</b>	<i>LISTOPAD</i>	14.10.	-----
16.10.	<b>3P</b>	<i>LISTOPAD</i>	21.10.	<b>1P+2Vj</b>
25.10	<b>3P</b>	<i>LISTOPAD</i>	28.10.	<b>1P+2Vj</b>
1.11.	-----	<i>STUDENI</i>	4.11.	<b>1P+2Vj</b>
8.11.	<b>3P</b>	<i>STUDENI</i>	11.11.	<b>1P+2Vj</b>
15.11.	<b>3P</b>	<i>STUDENI</i>	18.11.	<b>1P+2Vj</b>
22.11.	-----	<i>STUDENI</i>	25.11.	-----
29.11.	<b>2-1.Test</b>	<i>STUDENI</i>		
		<i>PROSINAC</i>	2.12.	<b>3P</b>
6.12.	<b>3P</b>	<i>PROSINAC</i>	9.12.	<b>2P+1VJ</b>
13.12.	<b>3P</b>	<i>PROSINAC</i>	16.12.	<b>3VJ</b>
20.12.	<b>3Vj</b>	<i>PROSINAC</i>	23.12.	-----
3.1	-----	<i>SIJEČANJ</i>	6.1.	-----
10.1	<b>3 P</b>	<i>SIJEČANJ</i>	13.1.	<b>1P+2j</b>
17	<b>2P + 1 VJ</b>	<i>SIJEČANJ</i>	20.1	<b>2-2.Test</b>

## Prisustvovanje predavanjima i vježbama

- **PREDAVANJA**

- **Studenti ne moraju polagati usmeni dio ispita:**

- ako aktivno sudjeluju na predavanjima: rješavanje domaćih zadaća koje se u principu sastoje u dovršavanju izvoda SVIH zadanih problema (matematički izvodi). Svi problemi su numerirani i treba ih predati u roku tjedan dana. Studenti koje ne predaju dovršene izvode, morat će prije polaganja usmenog ispita kolokvirati (riješiti) tri odabrana izvoda.
- i imaju pozitivnu ocjenu iz testova (2 testa); drugom testu mogu pristupiti samo studenti koji imaju pozitivnu ocjenu iz prvog testa.
- prisustvovanje predavanjima!!!???

## VJEŽBE

- **Studenti mogu biti oslobođeni pismenog dijela ispita ako:**
- a) prisustvuju na minimalno 80% termina vježbi i aktivno sudjeluju u rješavanju zadataka na vježbama
- b) i ako izrade minimalno 80% domaćih zadaća (koje se ocjenjuju) s minimalnom završnom ocjenom **dovoljan**.
- U slučaju neispunjenja uvjeta a) i b) studenti moraju polagati pismeni dio ispita u ispitnim rokovima (4 zadatka iz knjige V. Šips: **Uvod u fiziku čvrstog stanja, uključujući i druge zadatke sa vježbi**)
- Studenti koji po završetku semestra imaju pozitivnu ocjenu iz testova, napravili su sve izvode zadane na predavanjima, i imaju pozitivnu ocjenu iz vježbi, **dobivaju konačnu ocjenu iz kolegija**.
- Studenti koji po završetku predavanja i vježbi imaju pozitivnu ocjenu samo iz vježbi, polažu usmeni dio ispita u ispitnim rokovima.

## Sadržaj kolegija i literatura

**Uvodne napomene**  
**Nešto povijesnih činjenica**  
***Kristalna struktura (Defekti rešetke)***  
**Nanomaterijali**  
**Difuzija**  
**Mehanička svojstva materijala**  
Među-atomske veze u kristalima  
Dinamika kristalne rešetke  
Sommerfeldov model metala  
Elektron u periodičnom potencijalu  
Prijenosne pojave  
Poluvodiči  
***Supravodljivost***  
Magnetska svojstva materijala

**"Bold"** nema u knjizi V. Šipsa &  
***"Bold italic"*** prošireno u odnosu na  
knjigu V. Šipsa &

### Obavezna literatura:

**& Vladimir Šips:**

***Uvod u fiziku čvrstog stanja,***  
**Školska knjiga, Zagreb, 1991**

G. I. Epifanov: *Solid State Physics,*  
MIR Publishers, Moskow, 1979

### Dodatna literatura:

M. A. Omar: *Elementary Solid State Physics*  
Addison-Wesley, New York, 1993

L. H. Van Vlack: *Elements of Materials Science  
and Engineering,* Addison-  
Wesley, New York, 1990

I. Supek: U knjizi *Teorijska fizika i struktura  
materije II dio,* pogl. IX- "Fizika  
čvrstog stanja", Sveučilište u  
Zagrebu, 1977

N.W. Ashcroft, N. D. Mermin: *Solid State  
Physics,* Saunders College  
Publishing, London, 1976

A. Tonejc: Nanomaterijali-interna skripta (www i  
knjižnica Odsjeka)

### **VAŽNO!!**

**Pitanja na testu i usmenim ispitima:  
iz predavanja kao i iz kompletnog  
sadržaja knjige V. Šipsa.**

## **Napomena**

za razumijevanje gradiva OPFČS potrebni su neki sadržaji iz odslušanih/položenih kolegija: Osnove fizike, Statistička fizika. Kvantna fizika

- **PRIMJERICE: srednja kinetička energija čestice po stupnju slobode u toplinskoj ravnoteži, načini titranja/modovi u mehaničkim sustavima, harmonijski oscilator, Faradayev zakon indukcije, Lenzovo pravilo, Lorentzova sila, magnetski dipolni moment, petlja histereze, Boltzmannova raspodjela, Bose-Einsteinova raspodjela, Fermi-Diracova raspodjela, Heisenbergove relacije neodređenosti, Paulijev princip,.....**
- **Smatrat će se da studenti te sadržaje znaju (i na ispitu!!) i neće se objašnjavati na predavanjima iz OPFČS**

Koja je svrha kolegija

ODABRANA POGLAVLJA FIZIKE ČVRSTOG STANJA?

Oko nas:

metali, poluvodiči, slitine, keramike, plastike,...

Njihova svojstva se relativno lako mjere, neka svojstva su poznata tisućljećima (mehanička svojstva metala), neka više od stoljeća (električna svojstva), neka tek nakon 2. svjetskog rata (poluvodiči), a neka tek desetak godina (visokotemperaturna supravodljivost keramika), .....

Ali zašto takva svojstva?

Odgovor daje fizika čvrstog stanja

Zašto odabrana poglavlja..... ?

Razlika između fizike čvrstog stanja (FČS), fizike kondenzirane materije (FKM) i fizike materijala (FM)

**Fizika čvrsta stanja (fizika kondenzirane materije** uključuje tekuće kristale i tekućine) i bavi se više teorijskim modelima kojima se pokušaju objasniti eksperimentalno izmjerena svojstva materijala i povezuju se sa unutarnjom strukturom, ali se ne pitamo kako je ta struktura određena, niti kako je takav materijal napravljen (to je područje **fizike materijala**).

Kako dijelimo čvrsta tijela?

- **Kristalna tijela (materijali):**  
metali (bakar, aluminijski, željezo,....), poluvodiči (Si, Ge, ..), izolatori (korund,...), keramike , ....., kuhinjska sol (NaCl), dijamant, razni minerali, kristalno staklo, pahulje snijega, led, školska kreda,....
- **Amorfna tijela (materijali):**  
obično staklo, plastike i ostali polimeri (oprez-mogu biti i kristalni), smole (jantar), guma, amorfne tvari organskog porijekla,....
- **Nanomaterijali:**  
Nisu ni pravi kristalni ni amorfni. Često se kaže da su "treće stanje čvrstog stanja"
- **Kvazikristali:**  
Metalne slitine posebne "zabranjene" kristalne strukture (ovogodišnja NN iz kemije)

"Od sramote do zvijezda" mogao bi se nazvati znanstveni put Dan Shechtmana, koji je dobio Nobelovu nagradu iz kemije za otkriće kvazikristala; malo me iznenadilo jer bi prije očekivao da je dobio za fiziku jer se kvazikristalima bave uglavnom fizičari jer drugi ne mogu objasniti svojstva kvazikristala (na susjednom IF-u s grupa dr Ane Smontare godinama istražuje transportna svojstva kvazikristala), a i sve publikacije su od početka objavljujane u "fizičkim časopisima". Samo otkriće se dogodilo 1982.g. u okviru programa istraživanja metalurgijskih svojstava slitina aluminija i željeza te slitina aluminija i mangana koje je financirao U.S. Air Force. Shechtman i suradnici su pomiješali aluminij i mangan u omjeru otprilike Al<sub>86</sub> Mn<sub>14</sub>, zagrijali do taljevine te naglo ohladili metodom ultra brzog hlađenja. Nakon ispitivanja dobivene slitine elektronskim mikroskopom uočeno je da uzorak posjeduje simetriju petog reda koja je zabranjena u kristalima, te dugodosežno uređenje kojega nema u amorfnim materijalima. Ta struktura je čak nazvana "Shechmanite".

Poslao je u kolovozu 1984.g. članak u Journal Applied Physics, ali je odbijen s obrazloženjem "being of no interes to physicists" i savjetovano da pošalje u neki metalurški časopis te je i objavljen u Metallurgical Transaction u junu 1958.g. No poslao je rad sa novim spoznajama i u Phys. Rev.Letters, gdje je i objavljen 53 (1984) 1951.

Istovremeno, ustvari odmah nakon otkrića, imao je velikih problema sa svojim šefom Linusom Paulingom (dvostruki nobelovac, za kemiju i za mir) i također vrsnim kristalografom, za koga je bilo postojanje rotacijske simetrije petog reda potpuno neprihvatljivo "jer se zna da to ne postoji i da o tome nema diskusije". To je eskaliralo do te mjere da ga ja Pauling praktički 1984.g. "potjerao" iz grupe.

Na kraju je ipak Dan Shechtman dobio najveću moguću satisfakciju, Nobelovu nagradu.

Svi materijali su izgrađeni od jednog ili više kombinacija nekog (nekih) od 92 elementa.

Ovisno o tome kako su prostorno raspoređeni elementi (atomi) u materijalima, dijelimo ih na kristalne, amorfne, na nanomaterijale i kvazikristale

FIZIKA ČVRSTOG STANJA bavi se onim fizikalnim svojstvima materijala koja su proizvod kolektivnih svojstava atomskog uređenja.

Fizikalna svojstva se definiraju s obzirom na čvrsto tijelo, a ne s obzirom na individualni atom.

**Primjerice, rentgenski spektar atoma bakra donekle se razlikuje od rentgenskog spektra materijala bakra**

Postavljam dva osnovna pitanja:

- koje je osnovno stanje danog čvrstog tijela? Zašto je stabilno? Kakve sile drže atome na okupu, čineći čvrsto tijelo (kristalnu rešetku)? (*Ravnotežno stanje  $T=0$  K, Neravnotežno-pobuđeno stanje  $T>0$  K*)

- kako se čvrsto tijelo ponaša pod utjecajem vanjskih faktora?

- 1) **Prijenos naboja uslijed električnog polja**
  - 2) **Utjecaj magnetskog polja**
  - 3) **Gradijent temperature**
  - 4) **Optička svojstva**
  - 5) **Zračenje**
  - 6) **Kontrolirano uvođenje defekata**
  - 7) **Deformacije materijala uzrokovane vanjskim silama**
- itd.

Važno! nemoguće je stvoriti jedan teorijski model koji bi opisivao sva svojstva čvrstog tijela (fizika elementarnih čestica- standardni model)