

IZVJEŠTAJ O RADU  
INSTITUTA ZA FIZIKU SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAGREB  
1.I - 31.XII 1976.

## S A D R Ž A J

	Strana
ORGANI UPRAVLJANJA . . . . .	3
Zbor radnika . . . . .	3
Radnički savjet . . . . .	3
Vijeće pročelnika . . . . .	3
IZVJEŠTAJ ORGANIZACIONIH JEDINICA . . . . .	4
ODJEL FIZIKE METALA I . . . . .	4
Pregled istraživačkog rada . . . . .	5
Popis radova . . . . .	12
ODJEL FIZIKE METALA II . . . . .	14
Pregled istraživačkog rada . . . . .	14
Popis radova . . . . .	24
ODJEL OPTIČKA SVOJSTVA KRISTALA . . . . .	26
Pregled istraživačkog rada . . . . .	26
ODJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLINOVA . . . . .	28
Pregled istraživačkog rada . . . . .	28
Popis radova . . . . .	32
ODJEL FIZIKE POLUVODIČA . . . . .	34
Pregled istraživačkog rada . . . . .	34
Popis radova . . . . .	40
ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA . . . . .	41
Pregled istraživačkog rada . . . . .	41
Popis radova . . . . .	42
ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU . . . . .	43
Pregled istraživačkog rada . . . . .	43
Popis radova . . . . .	47
TAJNIŠTVO . . . . .	49

## II ORGANI UPRAVLJANJA INSTITUTA

### ZBOR RADNIKA

#### Predsjednik Zbora radnika:

dr ANTON TONEJC, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu  
- znanstveni suradnik

### RADNIČKI SAVJET

#### Predsjednik Radničkog savjeta:

mr ALEKSA BJELIŠ, znan.asistent

#### Članovi Radničkog savjeta:

IVICA BOROŠAK, v.tehn.suradnik

LJUBICA KOZINA, v.ref.općih posl.

MARKO MILJAK, mr fiz.nauka - znan.asistent

GORAN PICHLER, doktor fiz.nauka - znan.surad.

DARINKA ŠTOKIĆ, sam.tehn.suradnik

IVAN ILIĆ, doc.Elektrot.fakulteta - pred.Sveučilišta

MLADEN MARTINIŠ, viši znan.sur.IRB-a - pred.Sveučilišta

### VIJEĆE PROČELNIKA

#### Članovi Vijeća pročelnika:

dr SLAVEN BARIŠIĆ, viši znan.suradnik - pročelnik Odjela  
teorijske fizike

dr ANTUN BONEFAČIĆ, znan.savjetnik - pročelnik Odjela fiz.met.I

dr BORAN LEONTIĆ, znan.savjetnik - proč.Odjela fiz.metala II

dr ZVONIMIR OGORELEC, viši znan.surad. - proč.Odjela fiz.poluv.

dr MLADEN PAIĆ, znan.savjetnik - proč.Odjela optička svojstva kristal

dr VLADIS VUJNOVIĆ, viši znan.surad.-proč.Odjela fiz.ioniz.plinova

#### DIREKTOR INSTITUTA:

dr BORAN LEONTIĆ, znan.savjetnik - proč.Odjela fiz.metala II

III IZVJEŠTAJ ORGANIZACIONIH JEDINICA

## ODJEL FIZIKE METALA I

Pročelnik Odjela:

ANTUN BONEFAČIĆ, doktor fiz.nauka, red.profesor PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - znanstveni savjetnik

Znanstveni suradnici:

KATARINA KRANJC, doktor fiz.nauka, red.profesor PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - znanstveni savjetnik

ANKICA KIRIN, doktor fiz.nauka, asistent Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu - asistent

ANTON TONEJC, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent

DAVOR DUŽEVIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

DRAGAN KUNSTELJ, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent

MIRKO STUBIČAR, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent

ANDJELKA TONEJC, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent

VJEKOSLAV FRANETOVIĆ, dipl.ing.fiz., asistent Farmaceutskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu - asistent

OGNJEN MILAT, dipl.ing.fizike, asistent-postd.(od 11.12.1976.u JNA)

Tehnički suradnici:

LEPČIN VILIM, viši tehn.suradnik

STOKIĆ DARINKA, tehn.suradnik

## Pregled istraživačkog rada

### 1. Ispitivanje kristalnih faza i faznih prijelaza

#### 1.1. Slitine s aluminijskom bazom

Nastavljeno je istraživanje koherentne metastabilne faze koja se pojavljuje tijekom dozrijevanja čvrste otopine u slitini aluminij-nikal. Utvrđeno je da pločasti precipitati leže u ravninama 100 matične slitine, te u elektronskim mikrografijama prouzrokuju karakterističan kontrast (nazvan "kontrast zrna kave"), koji nastaje zbog neslaganja rešetke inluzije s matičnom rešetkom. Polje distorzije aluminijske rešetke u okolini takvih koherentnih precipitata istraženo je eksperimentalno i računski.

Radi usporedjivanja teorije s eksperimentalnim rezultatima korištena je matrična metoda u aproksimaciji dvaju snopova. Pri računanju kontrasta prouzrokovanih precipitatima primijenjena je linearna teorija elastičnosti. Adaptirani su programi pomoću kojih su elektronskim računarima dobivene simulirane mikrografije distorzionih polja prouzrokovanih koherentnim precipitatima, koje su usporedive s eksperimentalno dobivenim slikama u elektronskom mikroskopu.

Metodom elektronske mikroskopije izmjereni su i kristalografski parametri dislokacijskih petlji u slitinama aluminij-nikal i aluminij-cer. U prezasićenim čvrstim otopinama dislokacijske petlje pojavljuju se do odredjenih koncentracija, ovisno o energiji veze između otopljenih atoma i vakancija. U skladu s mjerenjima drugih autora, ustanovljeno je da je energija veze atoma nikla i vakancija u aluminiju manja od odgovarajuće energije za željezo, a veća od energije veze za krom.

Metodom raspršenja rendgenskih zraka pod malim kutom praćene su promjene uzrokovane dozrijevanjem zakaljenih slitina aluminij-srebro. Na osnovi dobivenih rezultata zaključeno je da se promjene u intenzitetu mogu objasniti modelom spinodalnog mehanizma raspada. U tom slučaju slaganje je zadovoljavajuće samo za početni stadij dekom-

pozicije, kako s obzirom na kvalitativne tako i kvantitativne zaključke. Na osnovi prethodnog modela određene su vrijednosti za veličine kao što su koeficijent interdifuzije, energija aktivacije za istraživani proces itd. i iste su u skladu s publiciranim vrijednostima. Kasniji stadij dekompozicije nije mogao biti analiziran na osnovi prethodnog modela budući da isti nije još u tolikoj mjeri razradjen. Medjutim, učinjen je uspješni pokušaj da se taj stadij dekompozicije objasni modelom nukleacije i rasta nove faze. Kako pak taj model ne može objasniti početni stadij dekompozicije to se s izvjesnom sigurnošću može zaključiti da, nakon što bude potpuno razradjena teorija koja će omogućiti kvantitativno zaključivanje, modelom spinodalnog mehanizma moći će se objasniti cijeli tok dekompozicije zakaljene slitine.

## 1.2. Slitine s bazom srebra

Nastavljen je rad na mikrostrukturnim istraživanjima slitine srebro-kositar i srebro-indij kaljenih iz taljevine.

Kod slitine srebro-kositar određeni su mikrostrukturni parametri: mikronaprezanje, veličina zrna, te vjerojatnost pogrešaka u slaganju nastalih deformacijom i sraštanjem. Utvrđeno je da efektivne veličine zrna opadaju, a mikronapetosti rastu s povećanjem kositra u uzorcima. Temperatura pri kojoj započinje oporavak prilikom izohronog popuštanja zavisna je o koncentraciji kositra u uzorcima, što utječe kako na mikronapetosti, tako i na efektivne veličine zrna. Izračunata je energija pogrešaka u slaganju i utvrđeno je da su pogreške u slaganju prouzrokovane sraštanjem i deformacijom podjednako vjerojatne (vidi popis radova, ref.3).

Energija pogrešaka u slaganju znatno utječe na mnoga svojstva metala, a malo se zna o faktorima koji na nju utječu. Teorijska razmatranja ukazuju da bi energija pogrešaka u slaganju trebala opadati kad se sastav bliži h.c.p. - f.c.c. faznoj granici i trebala bi biti jednaka nuli u točki prijelaza. Zbog toga su, u svrhu ispitivanja pogrešaka u slaganju, izabrana upravo ona područja koncentracije slitine srebro-indij u kojoj se sastaju heksagonska i kubična plošno-centrirana faza. Mjerenje energija pogrešaka u slaganju vršeno je direktnim promatranjem konfiguracija dislokacija pomoću elektronskog mikroskopa. Prvi

rezultati pokazuju da se energija pogrešaka u slaganju smanjuje pri faznoj granici, ali su potrebna daljnja mjerenja da bi se izveli kvalitativni zaključci.

Na istim uzorcima slitina srebro-indij utvrđeno je rendgenskim mjerenjima da se, u brzo kaljenim uzorcima, osim pogrešaka u slaganju javlja i proširenje područja metastabilne heksagonske intermedijarne faze na račun terminalne kubične faze. Kod brzo kaljenih slitina uobičajeno je povećanje područja topljivosti terminalne faze pa zaključujemo da je u ovoj slitini pri danim uvjetima heksagonska faza energijski povoljnija u odnosu na kubičnu fazu. Analizom profila difrakcijskih linija ocijenjen je doprinos pogrešaka u slaganju, veličine zrna i unutrašnjih napetosti širenju difrakcijskih linija.

### 1.3. Slitine s bazom kobalta

Unatoč važnosti za industrijsku primjenu, neka fundamentalna pitanja vezana za strukturu kobalta nisu dobila neprotuslovne odgovore, kao na primjer pitanje egzistencije visokotemperaturne heksagonske  $\epsilon$ -modifikacije, mehanizam volumske ekspanzije kod martenzitnog  $\epsilon$ - $\alpha$  prijelaza itd. Eksperimentalne poteškoće oko separacije čistih faza gotovo su nepremostive, pa se i u ultrabrzo kaljenim uzorcima u fcc matrici nalaze tragovi hcp modifikacije. Postoje indicije da se literaturna neslaganja mogu povezati s mehanizmom pogrešaka slaganja atomskih ravnina kod izgradnje guste kobaltove kristalne rešetke, a uzrok se može potražiti i u utjecaju onečišćenja, kako metalnih tako i nemetalnih.

U dosadanjem radu ispitan je utjecaj radne atmosfere na strukturu levitacijski kaljenih uzoraka čistog kobalta. Utvrđeno je da plinske sredine s većim sadržajem kisika stabiliziraju veće količine heksagonske modifikacije. Zbog velikog tehničkog značaja ispitan je i utjecaj dodataka karbida na strukturna i mehanička svojstva kobalta. Čvrsta topljivost WC u kobaltu pomaknuta je od ravnotežnih 14tež.% na oko 33 tež.%, porast parametra rešetke u kvantitativnom je skladu s literaturnim navodima, a linearni porast mikrotvrdoće vodi na visoke vrijednosti iznad 800 kp/mm<sup>2</sup>.

U okviru istraživanja kobalta i slitina s bazom kobalta ispitivana je korelacija procesa konsolidacije i magnetske tvrdoće feromagnetskih prahova. Praćenjem zavisnosti koercitivne sile i remanentne magnetizacije o tlaku stiskanja i temperaturi sinterizacije uočava se da su te zavisnosti recipročne, tj. da povećanje tlaka stiskanja uzrokuje magnetsko otvrdnjavanje, a suprotno tome povećanje temperature sinterizacije uzrokuje magnetsko smekšavanje feromagnetskih prahova. Otvrdnjavanje u procesu stiskanja vjerojatno je posljedica pojačane interakcije površinskih elementarnih magnetskih domena susjednih čestica dok, čini se, ne ovisi bitnije o preostalim unutrašnjim napetostima.

Visoka osjetljivost koercitivne sile kobalta i kod visokih tlakova posljedica je obratne martenzitne transformacije  $\alpha - \epsilon$ , dok je vrlo prigušena zavisnost koercitivne sile i remanentne magnetizacije regeneriranoga čelika o tlaku stiskanja vjerojatno u vezi sa specifičnom ljuskastom mikromorfologijom i time slabom stišljivošću ovog praha. Utvrđeni brzi pad magnetske tvrdoće submikroskopskog željeznog praha s porastom temperature sinterizacije, kao i pad tvrdoće ostalih prahova, dovodi se u vezu s fizičkim karakterom kontakata medju česticama kroz koje se, suprotno slučaju hladno stisnutih istisaka, slobodno šire fizički procesi, te se u tom smislu giblju i Blochove stijenke.

#### 1.4. Suradnja s drugim institutima na ispitivanju kristalnih faza i faznih prijelaza

U suradnji s Institutom "Rudjer Bošković" na istraživanju poluvodičkih sistema u kojima se javlja efekt "prekapčanja" ispitivana je kinetika ireverzibilne strukturne transformacije u sistemu As-Te-Ge, koja nastaje duž strujnog filameta u vodljivom stanju. (Vidi popis radova, ref.6).

U suradnji s grupom fizičara s Centralnog instituta za fiziku u Budimpešti ispitivane su strukturne karakteristike i transformacije u kvazijednodimenzionalnim organskim solima (TTF-TCNQ,  $NMeQ_n(TCNQ)_2$ , Piridinum, itd.). Posebno su ispitivane promjene udaljenosti molekularnih lanaca i razmaci molekula duž lanaca u vezi sa strukturnim



transformacijama koji uzrokuju prijelaz u 3D kristale. (Vidi popis radova, ref.7).

## 2. Istraživanje amorfnih tvari

Ukaljen je niz uzoraka slitina  $Zr_{0.76}Fe_{0.29}$  i  $Ti_{0.71}Fe_{0.29}$ . Kaljenje je izvedeno na uređaju za kaljenje metodom levitacije i to s klipovima bakra i s klipovima tvrdog metala u atmosferi argona. Kaljenje s bakrenim klipovima je efikasnije, ali su oštećenja površine klipova znatno veća nego kod klipova s tvrdim metalom.

Ispitivanje u elektronskom mikroskopu najtanjih dijelova uzoraka (reda veličine  $10^{-1} \mu m$ ) pokazala su da je zakaljena slitina Zr-Fe amorfne strukture, dok u dosadanjim pokušajima nismo uspjeli dobiti amorfnu Ti-Fe slitinu. Rendgenska ispitivanja debljih dijelova uzoraka (oko  $50 \mu m$ ) pokazala su potpunu kristaliničnost obiju slitina.

Uočeno je da je temperatura kristalizacije staklaste slitine ZrFe veća od  $350^{\circ}C$ , pa je relativna temperatura prijelaza staklo-kristal 0.42 što ukazuje da bi se ovu slitinu moglo dobiti kao staklo i u listićima veće debljine od  $0.1 \mu m$  i da je staklasta faza relativno vrlo stabilna na sobnoj temperaturi.

Program za dobivanje funkcije interferencije, krivulje radijalne raspodjele i funkcije korelacije parova testiran je na difraktogramu slitine  $Pd_{0.80}Si_{0.20}$ . Dobiveni rezultati ukazuju na dobru primjenljivost programa u ispitivanju strukture amorfnih slitina.

## 3. Plastične deformacije metala i slitina

3.1. U nastavku rada na superplastičnoj slitini Cd-Zn (vidi izvještaj IFS-a za 1975) zainteresirali smo se za topološka svojstva faza Zn i Cd i za njihovu eventualnu volumnu povezanost, kako bismo više saznali o tome da li prisutnost dviju faza, koje naravno sprječavaju zrna da rastu, igra važniju ulogu u mehanizmu superplastične deformacije.

Odgovarajući eksperimenti i analiza rezultata su pokazali da je povezanost faza Cd i Zn vrlo slaba. Faza Zn se pojavljuje u obliku kvazi-sferičnih čestica raspršenih jednoliko po volumenu uzorka i smještenih u granicama zrna dominantne faze Cd.

Na temelju te topološke analize zaključili smo da čestice Zn igraju najvjerojatnije samo pasivnu ulogu kod superplastične deformacije i da je proces deformacije kontroliran procesom difuzione akomodacije dominantne faze Cd. (popis radova, ref.br.4).

- 3.2. Nastavljen je rad na bifaznom sistemu Fe-Ag dobivenom specijalnom metodom hidrostatskog sinterovanja. Kao glavni zaključak eksperimentalnog rada može se reći da se veličina  $n = \frac{\partial \log \dot{\epsilon}}{\partial \log \dot{\sigma}}$  smanjuje za faktor 10 za vrijeme deformacije od 1 do 30%, kao i kod porasta temperature od 400 do 600 K. Smatramo da se ti rezultati neće moći interpretirati na zadovoljavajući način bez detaljne topološke analize faza u ovisnosti o deformaciji (vidi radovi iznijeti na Konf.br.5).
- 3.3. 1975.god. je grupa istraživača pokazala da se aluminij s dodatkom galija 1 - 10% ponaša kvazi-superplastično na temperaturi 50°C. To je objašnjeno postojanjem tankog filma tekućeg galija u granicama aluminijskih zrna, što pogoduje klizanju zrna aluminija i omogućava relativno veliku deformaciju.
- Preliminarni rezultati pokazuju da bi se nešto slično moglo očekivati i u slučaju aluminija s malim dodatkom kositra, tako da će se nastaviti rad na tom problemu.
- 3.4. Napravljeni su nacrti uređaja za puzanje (creep) i nastojat će se realizirati u toku naredne godine.

#### 4. Teorijsko istraživanje raspršenja rendgenskih zraka na nehomogenim sfernim česticama

Nastavljen je rad iz prošle godine na teorijskom istraživanju raspršenja rendgenskih zraka na sfernim česticama koje su nehomogene s obzirom na elektronsku gustoću.

Ovaj problem je iskrsnuo u vezi s rendgenskim istraživanjem raspada čvrstih otopina u ranim stadijima popuštanja, kad je jedna faza raspršena u obliku sitnih čestica ili zona u matrici te pokazuje raspršenje rendgenskih zraka pod malim kutem.

Krivulje raspršenja na modelima kontinuiranog pada elektronske gustoće u vanjskoj ljusci, ili djelomično oštrog a djelomično kontinuiranog pada, istražene su za tri različite funkcije raspodjele elektronske gustoće i za različite parametre koji opisuju geometrijske osobine modela, te je ovaj rad završen i publiciran (popis radova ref.2). Sistematsko istraživanje krivulja raspršenja za veliki broj varijanti modela pokazao je neke opće karakteristike za taj model. Poznato je da homogene čestice s oštrim prelazom elektronske gustoće na rubu čestice uzrokuju raspršenje koje se vlada po Porodovom zakonu, tj. u području većih kuteva srednji intenzitet je obrnuto proporcionalan četvrtoj potenciji kuta raspršenja. Iz eksperimenta se može odrediti konstantni "Porodov produkt" a iz njega specifična površina dvofaznog sistema. Ispitivanjem krivulja raspršenja nehomogenih čestica se pokazalo da Porodov zakon vrijedi i za njih kad god postoji skok u elektronskoj gustoći, bio on mali ili veliki, na rubu ili unutar čestice. Kutno područje u kojem vrijedi Porodov zakon ovisi o specijalnom modelu. Iz ovih krivulja se može također odrediti konstantna vrijednost "Porodovog produkta" ali ona je određena površinom kugle na čijoj je granici skok elektronske gustoće, i dubinom samog skoka, te o tome treba voditi računa ako se Porodov zakon primjenjuje za određivanje specifične površine.

Sve čestice s kontinuiranim padom elektronske gustoće, za sve ispitane funkcije raspodjele i sve varijante, imaju kod većih kutova strmiji pad krivulja intenziteta nego što odgovara Porodovom zakonu.

Proučavanje modela čestica, koje se sastoje od dvije ljuske manje ili veće elektronske gustoće od okolnog sredstva, još nije završeno.

#### Popis radova

1. D.Kunstelj, D.Pivac, D.Ročak, M.Stubičar and A.Bonefačić, Changes of structure and microhardness during the annealing of an aluminium-tin supersaturated solid solution, *Phil.Mag.*34(1976)67.
2. K.Kranjc, Small-angle X-ray scattering from spherical particles of non-uniform electron density— electron density transition is gradual, or partly gradual and partly sharp, *Fizika* 8 (1976)121-143.
3. A.M.Tonejc, A.Kirin and A.Bonefačić, X-ray diffraction study of splat-quenched Ag-6at% Sn and Ag-11at% Sn alloy, *Fizika* 8 (1976)87-97.
4. A.Tonejc and J.P.Poirier, High-temperature creep of equiaxed Cd-26at% Zn eutectic in the superplastic regime, *Proceedings I.C.S.M.A.*, 1 (1976) 451-455.
5. Z.Vučić, B.Etlinger and D.Kunstelj, Preparation of pure glassy germanium, *J.Noncryst.Solids*,20 (1976) 451-454.
6. M.Peršin, D.Kunstelj, A.Peršin and H.Zorc (IRB), Memory conductivity switching in  $As_{16}Te_{83}Ge$  thin films, *Thin solid films*, 36(1976)475-478.
7. G.Mihály, K.Holczer, G.Grüner and D.Kunstelj, Interchain interactions and phase Transition in  $NMeQn(TCNQ)_2$ , *Solid State Comm*, 19(1976)1091-1094.
8. M.Slovenec, D.Kunstelj and V.Franetović, Formation and aging of precipitates: Study on nucleation of  $SrSO_4$  from solution, *Croat.Chem. Acta*, u tisku.

Radovi iznijeti na konferencijama

1. A.Bonefačić i D.Dužević, Korelacija procesa konsolidacije i magnetske tvrdoće feromagnetskih prahova, XX Jug.Konf.ETAN i IV Jug.savjetovanje o modernim neorganskim materijalima, Opatija, 31.svibnja do 4.juna 1976.
2. A.Bonefačić, Strukturna svojstva slitina kaljenih iz taljevine, uvodno predavanje 5.Jug.simpozija o fizici kondenzirane materije, Sarajevo 4 - 8.10.1976.
3. V.Franetović, A.Kirin i A.Bonefačić, Mikrostrukturalna istraživanja slitine srebro-indij kaljene iz taljevine, 5.Jug.simpozij o fizici kondenz.materije, Sarajevo 4-8.10.1976.
4. D.Dužević i A.Bonefačić, Levitacijsko kaljenje kobalta: slitina s bazom kobalta, 5.Jug.simp.o fiz.kondenz.mater.Sarajevo, 4-8.10.1976.
5. A.Tonejc, Primjena nekih osnovnih pojmova iz topologije na trodimenzionalnu analizu mikrostrukture binarnih legura Zn-Cd i Fe-Ag, Sarajevo 4-8.10.1976. 5.Jug.simp.o fiz.kondenz.materije.
6. A.M.Tonejc i D.Kunstelj, Ispitivanje dislokacijskih petlji u ultra-brzo kaljenim slitinama, 5.Jug.simp.o fiz.kondenz.mater., Sarajevo, 4-8.10.1976.
7. D.Kunstelj i K.Kranjc, Distorzija matrice uzrokovana koherentnim precipitatima u sistemu Al-Ni, 5.Jug.simp. o fiz.kondenz.materije, Sarajevo, 4-8.10.1976.
8. M.Stubičar, Istraživanje početne stadije dekompozicije zakaljene slitine Al-4,5 at% Ag metodom raspršenja rendgenskih zraka pod malim kutem, 5.Jug.simp. o fiz.kondenz.mater., Sarajevo, 4-8.10.1976.
9. D.Dužević i O.Milat, Uredjaj za brzo kaljenje metodom lebdjenja, 5.Jug.simp. fiz.kondenz.mater., Sarajevo, 4-8.10.1976.

## ODJEL FIZIKE METALA II

Pročelnik odjela:

BORAN LEONTIĆ, doktor fiz.nauka, red.profesor PMF-a Sveučilišta  
u Zagrebu - znanstveni savjetnik i direktor IFS-a

Znanstveni suradnici:

EMIL BABIĆ, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu  
- znanstveni suradnik

DANIJEL DJUREK, magistar fiz.nauka - znan.asistent

KATICA FRANULOVIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

AMIR HAMZIĆ, magistar fiz.nauka - znan.asistent

RUDOLF KRŠNIK, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta  
u Zagrebu - znan.asistent

JAGODA LUKATELA-S., magistar fiz.nauka - znan.asistent

MIROSLAV OČKO, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

MARKO MILJAK, magistar fiz.nauka - znan.asistent

ANTUN RUBČIĆ, doktor fiz.nauka - asistent PMF-a Sveučilišta  
u Zagrebu - znan.asistent

JASNA B.-RUBČIĆ, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta  
u Zagrebu - znanstveni suradnik

JOHN COOPER, doktor fiz.nauka - znan.suradnik

ZELJKO MAROHNIC, dipl.ing.fizike - asist.postd.

Tehnički suradnik:

MILAN SERTIĆ, v.tehn.suradnik

Pregled istraživačkog rada

1. Proučavanje transportnih svojstava sistema s anomalnim  
raspršenjem na primjesama.

a) Devijacije od Matthiessenovog pravila

Nastavljen je rad na istraživanju devijacija od Matthiesee-  
novog pravila (DMP) u nemagnetskim metalnim sistemima. Ispitivanje

sistema na bazi aluminijsa proširilo se na još niže temperature ( $T \lesssim 5K \approx \frac{\theta_D}{80}$ ). Prema nekim ranijim rezultatima, u tom temperaturnom području moguće je eksperimentalno zamijetiti samo čistu  $T^3$  ovisnost električnog otpora. Mi smo ustanovili, da i dalje postoji  $T^5$  član. Dapače, u izrazu  $\rho_T - \rho_0 = AT^3 + BT^5$  (za kojeg smo ranije pokazali da vrijedi u području  $\frac{\theta_D}{50} < T < \frac{\theta}{20}$ ) koeficijent B znatno raste snižavanjem temperature, dok se koeficijent A lagano smanjuje.

Ti se rezultati kvalitativno dosta dobro slažu s teorijom W.E. Lawrence i J. Wilkinsa koji promatraju kombinaciju U i N elektron- fonon raspršenja.

Na osnovu postojećih podataka za različite nemagnetske metale i legure u temp. području  $T \lesssim \frac{\theta_D}{20}$ , nastojali smo odrediti član u električnom otporu, koji daje  $T^5$  ovisnost. Tj. nastojali smo odrediti koeficijent B, i to na tri različita načina: iz eksperimentalnih podataka za vrlo čiste metale ("čista granica"), zatim iz podataka za manje razrijedjene legure, te iz Bloch-Grüneisenovog izraza za čisto N elektron-fonon raspršenje. Usporedjenje pokazuje, da se rezultati, u okviru postojećih podataka, vrlo dobro slažu za metale s jednostavnijim Fermijevim ploham (plemeniti metali i aluminij), dok za alkalne metale nema dovoljno podataka). Kod metala s kompliciranijim Fermijevim ploham odstupanja postaju to znatnija, što je F.ploha kompliciranija.

Rezultati pokazuju, da u temperaturnom području  $T \lesssim \frac{\theta_D}{20}$  postoji  $T^5$  član u električnom otporu svih ispitanih nemagnetskih metalnih sistema, ali uvijek u kombinaciji s još jednim (ili više njih) članom slabije temperaturne ovisnosti. To vrijedi i za sisteme kod kojih su raniji rezultati dali prividno čistu  $T^5$  ovisnost električnog otpora na najnižim temperaturama (napr. Zn, In).

b) Proučavanje električnih i magnetskih svojstava nekih specifičnih legura s prelaznim metalima i aktinidima.

Detaljna istraživanja AlMn legura su zaključena mjerenjem magnetootpora u širokom području koncentracija. Istražen je po prvi put magnetootpor izoliranih primjesa Mn u Al koji dovodi do negativnog odstupanja magnetootpora AlMn legura od Kohlerovog pravila. Ponašanje magnetootpora je u kvalitativnom skladu i sa Friedel-Andersonovim i Kondo modelom. Na višim koncentracijama (0,8 at% nadalje) dominiraju interakcije među primjesama tipa Mn tripleta za koje je proračunata karakteristična temperatura  $T_{kTrip} \approx 4K$ .

Proučavana je magnetska susceptibilnost i magnetootpor ThU legura. Magnetska susceptibilnost Th1%U legure je u skladu sa ranijim mjerenjima električnog otpora na tom sistemu. U širokom području temperatura (20-290K) opažena je Curie-Weiss varijacija magnetske susceptibilnosti sa karakterističnom temperaturom  $\theta_x \approx 120 K$  što je u dobrom slaganju sa karakterističnom temperaturom  $\theta_R \approx 110 K$  dobivenom iz električnih mjerenja. Time je potvrđeno da U u Th ima približno ista svojstva kao prelazni metali u normalnim metalima.

Istraživano je i ponašanje električnih otpora Ag Pd legura sa 0-100% Pd (postoji potpuna topljivost). Preliminarni rezultati ukazuju da dolazi do formiranja v.b.s. na Pd atomima koja se uslijed interakcije šire i konačno dolaze do Fermi-nivoa Ag izazivajući rezonantno raspršenje.



### Interakcije medju magnetskim primjesama u razrijedjenim legurama

Poznato je da su interakcije odgovorne za pojavu magnetizma te je njihovo istraživanje od posebnog značaja. Naša istraživanja čine logičan nastavak istraživanja veoma razrijedjenih legura sa anomalnim raspršenjem elektrona na primjesama. Eksperimentalni rezultati dobiveni na Al-Mn (0.5-5at%), AlCr(0.5-4at%) omogućuju (usporedbom sa ranijim mjerenjima na drugim sistemima) opisivanje interakcija medju magnetskim primjesama (u području nižih koncentracija) pomoću koncepta nedovoljnog zasjenjenja magnetskog momenta primjese vodljivim elektronima. Ovaj pristup je bitno različit od uobičajenog pristupa preko efekata lokalne konfiguracije a izgleda uspješniji pri opisivanj čitavog niza legura sa magnetskim primjesama u području ne previsokih koncentracija primjesa. Poznavanje ovog važnog područja u kojem "nastaju" interakcije omogućilo nam je proricanje "magnetskog" faznog dijagrama koji moguće može opisati ponašanje svih legura sa magnetskim primjesama. Slijedeći napor usmjeren je na pronalaženje sistema u kojem se magnetski fazni diagram može lako istraživati u širem području koncentracija.

### 2. Transportna i magnetska svojstva kvazi jednodimenzionalnih organskih tvari

#### a) HMTSF - TCNQ

U suradnji s laboratorijem u Orsay-u (Francuska) vršena su istraživanja na HMTSF-TCNQ koja je jedina poznata s transferom naboja koja ostaje vodljiva čak na temperaturi od 4.2 K i ispod. Pokazalo se pomoću pokusa pod visokim tlakom kao i mjerenjem Hall efekta da se ovaj materijal na niskim temperaturama ponaša kao polumetal sa svega oko 0.001 nosioca po molekuli. Ono što razlikuje ovaj materijal od ostalih u njegovoj kategoriji je u vezi s povećanim vezanjem izmedju nizova molekula davaoca molekula i primaoca. No još nije jasno da li osebine polumetala dolaze od hibridizacije elektronskih stanja na lancima davaoca i primaoca ili su iste inducirane strukturnim faznim prelazima.

b) TTF - TCNQ

Nakon rada s pomenutim materijalima započet je projekt mjerenja Hall efekta na drugim organskim vodičima prije svega na prototipu TTF-TCNQ. Uredjaj još nije dovršen i do sada mjerenja samo do 68K su moguća u poljima do 1 T. Ipak uspješno su izvršena mjerenja na TTF-TCNQ u potpuno metalnom (za razliku od poluvodičkog) području i nadjeno je da iznad 100 K Hall koeficijent odgovara 0.5 do 1. o nosiocu po molekuli što je u skladu s drugim pokusima. Medjutim na nižim temperaturama  $R_H$  raste iznad očekivane vrijednosti što može biti bilo zbog hibridizacije medju lancima (prelaz od jednodimenzionalne na trodimenzionalnu vrčastu strukturu) bilo kao efekat koji prethodi faznom prelazu na 53K.

Kao rezultat ovog rada sada su jasniji problemi u vezi s krajnjom neizotropijom i kako se oni mogu savladati. Stoga bi trebalo biti jednostavno nastaviti rad s jačim poljima i različitim kristalnim orijentacijama.

c) Izotopni efekt temperature faznih prelaza deuteriranog TTF-TCNQ

Sada je gotovo sigurno da u TTF-TCNQ postoje četiri strukturalna fazna prelaza i to u uskom temperaturnom intervalu od 53 do 30 K. Gornji prelaz je najjednostavnije shvatiti kao Pierls-ov prelaz vezan uz omekšavanje  $2k_F$  transveralnog akustičkog fonona što se zaključuje na osnovu neutronske raspršenja i rada s X-zrakama. Klasična teorija ne predskazuje nikakav izotopni efekt za takav prelaz. Kako u granici teorije srednjeg polja tako i u slučaju jakih fluktuacija. Mjerenjem vodljivosti na uzorcima deuteriranog spoja (TTF<sub>4</sub>-TCNQ<sub>4</sub>) i djelomično deuteriranih monokristala, pokazalo se da postoji relativno jak izotopni efekt. Potpuna deuteracija pomiče prelaz od 52.5K prema gore za iznos od  $0.6 \pm 0.2$ K što je mnogo ako se uporedi s varijacijama od 0.15K izmedju pojedinih skupova uzoraka. Ovo implicira da odnos

$\alpha = \frac{d \ln T_c}{d \ln M}$  (gdje je M molekularna masa) poprma vrijednost od  $+0.6 \pm 0.2$  no tako velika vrijednost za  $\alpha$  ne može naći svoje mjesto u postojećoj teoriji.

d) Magnetska svojstva drugih organskih spojeva  
s prenosom naboja

d1) Nastavljeno je mjerenje magnetske susceptibilnosti spojeva na bazi TCNQ molekule postupno mjenjajući grupu davaoca (donora) s aromatskim davaocima. Mjerenja su vršena na  $\text{Py}(\text{TCNQ})_2$ ,  $\text{NMePy}(\text{TCNQ})_2$ ,  $\text{Q}_n(\text{TCNQ})_2$ ,  $\text{NMeQ}_n(\text{TCNQ})_2$ ,  $\text{NMeAd}(\text{TCNQ})_2$  i u-u'BiPy(TCNQ).

Rezultati mjerenja pokazuju tri grupe ponašanja:

1) Kod spojeva kao što su  $\text{Py}(\text{TCNQ})_2$ ,  $\text{NMePy}(\text{TCNQ})_2$  i  $\text{NMeQ}_n(\text{TCNQ})_2$  zapažaju se oštre magnetske eksitacije i to ili Curie-Weissovo ponašanje ili singlet-triplet ponašanje s dobro definiranim procjepom.

2) Kod spojeva kao što su  $\text{Q}_b(\text{TCNQ})$  i  $\text{NMeAd}(\text{TCNQ})_2$  magnetske eksitacije su "razmazane".

3) Singlet-triplet ponašanje s varirajućim T kod spoja u-u'Py(TCNQ)<sub>2</sub> (simetrična forma davaoca (donora)). Razlozi ovakovog ponašanja su dvojaki: U prvom redu postoji utjecaj električnog dipolnog momenta na davaocima čiji iznos opada kako idemo redom od  $\text{Py}(\text{TCNQ})_2$  pa dalje i zatim utjecaj inherentnog neuredjenja koji izazivaju davaoci u lančastoj strukturi kristala.

d2) Površinski magnetizam organskih spojeva s prenosom naboja.

U cilju sagledavanja utjecaja defekata kristalne rešetke organskih spojeva prišlo se mrvljenju uzoraka uvodeći time defekte i povećavajući površinu uzorka. Mrvljenje je postignuto prešanjem uzoraka koji su oblika ili iglica ili malih prizama. Pokazalo se da za mrvljene uzorke  $\text{Q}_n(\text{TCNQ})_2$  i  $\text{Cs}_2(\text{TCNQ})_3$  magnetizacija više nije linearna sa magnetskim poljem (H). Pojavljuje se velika zakrivljenost u M-H dijagramu. Međutim za mrvljeni uzorak TTF-TCNQ magnetizacija i dalje ostaje linearna s poljem kao i za normalan uzorak.

Magnetizacije zaturacije, nadalje, raste kako raste tlak prešanja (finoća zrna) dok za odabrani tlak prešanja  $M_{\text{sat}}$  praktički ne ovisi o temperaturi (od 4.2 - 300<sup>o</sup>K).

Velika zakrivljenost u M~H dijagramu sugerira jako vezanje spinova i zajedno sa temperaturno neovisnom  $M_{\text{sat}}$  sugerira dvodimenzionalno uredjeno stanje površine.

Pojava zakrivljenosti u M<sup>2</sup>H dijagramu kod Q<sub>n</sub>(TCNQ)<sub>2</sub> (dobar vodič) i Cs<sub>2</sub>(TCNQ)<sub>3</sub> (poluvodič) a nepojavljivanje kod TTF-TCNQ spoja (koji je jedan od najboljih vodiča) uklapa se u ideju o izostajanju prenosa naboja uz površinu. Naime za neke donorske molekule izostajanje prenosa naboja vodi na usporeni spin tj. neutralan donator ima usporen spin. Ono je slučaj kod Q<sub>n</sub>. Za druge pak kao što je TTF molekula, neutralna molekula nema nesporen spin.

#### d3) Utjecaj simetrije davaoca na magnetska svojstva

Mjerena je susceptibilnost spojeva 2-2'BiPy(TCNQ)<sub>2</sub> i u-u'BiPy(TCNQ)<sub>2</sub>. Donori 2-2'BiPy (asimetrična forma) i u-u'BiPy (simetrična forma) su nacrtani pod točkom 1.

Susceptibilnost spoja 2-2'BiPy(TCNQ)<sub>2</sub> je vrlo slična susceptibilnosti spoja Q<sub>n</sub>(TCNQ)<sub>2</sub> koji je u grupi 2 pod točkom 1 dok susceptibilnosti spoja u-u'BiPy(TCNQ)<sub>2</sub> slijedi singlet-triplet ponašanje sa J ~ 0.01 eV koji je istog reda veličine kao širina vrpce.

#### d4) Kalorimetrijska mjerenja na BOON i TTF-TCNQ

Nastavljen je rad na termotropskim tekućim kristalima i kvazi-jednodimenzionalnim vodičima. Mjerene su entropije prijelaza nematik-smektik A za tekući kristal BOON. Poboľšana je metoda mjerenja termičkih kapaciteta koja je primijenjena na mjerenja na TTF-TCNQ. Pokazano je da taj organski kvazijednodimenzionalni vodič osim poznata tri fazna prijelaza posjeduje i četvrti na 46 K. Dosadašnja tri prijelaza na 38 K, 49K i 53K su uzrokovana medjudjelovanjem elektrona i fonona. Novi bi prijelaz mogao imati porijeklo u kulonskim korelacijama medju elektronima, što je novi učinak.

Mjerenjem električnog otpora i dilatacije na CuSe nadjeno je da postoji jako vezanje parametra uredjenja sa reštkom što uzrokuje fazni prijelaz prve vrste kod tog sistema na 46°C.

### 3. Magnetska svojstva čistog aluminijsa

Mjerena je susceptibilnost vrlo čistog ( $RRR \approx 10000$ ) aluminijsa. Po prvi put se ne pojavljuje Curieov doprinos na niskim temperaturama ( $2-20^{\circ}\text{K}$ ). Od  $200-2\text{ K}$  susceptibilnost slijedi kvadratičnu ovisnost u temperaturi sa nešto manjim koeficijentom uz  $T^2$  u usporedbi sa drugim mjerenjima također aniliranog čistog aluminijsa. Grijanje uzorka u atmosferi zraka na  $300^{\circ}\text{C}$  nekoliko sati ne mijenja susceptibilnost aluminijsa.

### 4. Utjecaj elektronske strukture na kristalografska svojstva Al-3d slitina

Nakon proširenja područja topljivosti Sc u aluminiju sistematizirane su promjene parametra rešetke u svim legurama na bazi aluminijsa sa 3d prelaznim metalima. Obzirom da je promjena parametra rešetke u svim tim sistemima za ne prevelike koncentracije primjesa linearna relativna promjena parametra rešetke po jedinici koncentracije  $\frac{1}{a} \frac{da}{dc}$  da najbolje opisuje te slitine. Na osnovu rezultata dobivenog mjerenjem AlSc slitina konstatirano je da se  $\frac{1}{a} \frac{da}{dc}$  daje dobro opisati Friedel-Andersonovim modelom ako se uzme u obzir i efekt razlika u atomskom volumenu između otopljenog atoma i atoma matrice (aluminijsa). Na taj način se dobiva i kvantitativno slaganje između eksperimentalnih rezultata i predviđanja na osnovu Friedel-Andersonovog modela.

Ova istraživanja trebalo bi proširiti i na mehanička mjerenja spomenutog sistema te po mogućnosti na mjerenja otpornosti na oksidaciju-difuzije kisika u spomenute sisteme.

### 5. Istraživanje amornih legura

Započeta su istraživanja amornih binarnih i ternarnih metalnih slitina. Istraživanja se sastoje u ispitivanju električnih i magnetskih svojstava tih legura a paralelno tim istraživanjima bi se vršila i ispitivanja mehaničkih i strukturnih svojstava.

Mjerenja električnih i magnetskih svojstava trebala bi da odgovore na utjecaj prostorne neuredjenosti atoma na elektronska svojstva legure.

Od posebnog značaja su amorfni magneti koji u nekim svojim svojstvima nadmašuju konvencionalne. Pri kraju su ispitivanja električnog otpora i magneto-otpota slitine približne koncentracije  $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{B}_{20}$ . Usporedo se vrši proučavanje morfologije faznog prelaza u toj slitini pomoću promjena rezidualnog otpora pri izohronom napuštanju.

Istraživanja će se nakon toga nastaviti na istom sistemu nešto izmijenjenog sastava te na drugim mogućim kombinacijama dok se ne dobiju materijali najprikladnijih svojstava.

## 6. Razvoj eksperimentalnih metoda i tehnika

### a) Uredjaji za specijalna mjerenja

U skladu sa zahtjevima primjenjenih istraživanja konstruirani su i napravljeni uredjaji za ispitivanje električnih otpora i toplinske vodljivosti izolacionih materijala. Uredjaj za ispitivanje električnih otpora omogućuje mjerenja na izolatorima sa otporima do  $10^{13} \Omega\text{cm}$  (u skladu sa zahtjevima DIN-a i ASTM) a moguća su mjerenja u rasponu temperatura 0 - 250°C.

Uredjaj za ispitivanje termičke vodljivosti prikladan je za ispitivanje termičke vodljivosti raznih sintetskih materijala koji se koriste za fasade u građevinarstvu.

Konstruirani su i većim dijelom završeni dijelovi sistema za upotrebu supravodljivog magneta od  $10^5$  Gaussa (10T što je najjače magnetsko polje u zemlji). Predviđa se široka upotreba ovog magneta za istraživanje magnetskih i električkih svojstava tvari u visokim magnetskim poljima.

Izradjen je i posebni kriostat za mjerenje Hall-ovog efekta i magnetootpora malenih uzoraka u području 77-300K u poljima do 12000 Gaussa te na niskim temperaturama (1,5-78K) u poljima do 40000 Gaussa (uskoro do 100 000 Gaussa).

Dovršena je izrada prvoga dilucionog kriostata u zemlji koji je sagrađen u suradnji sa Istituto di Scienze Fisice u Genovi. Taj uredjaj omogućava postizanje i održavanje temperatura 0.03K tj. tri stotinke do apsolutne nule temperature. Kompletiranjem mjernih uredjaja biti će moguća široka istraživanja u području ultraniskih temperatura - posebno supravodljivosti.

b) Uredjaj za mjerenje specifičnog termičkog kapaciteta vrlo malih uzoraka

Nakon što je realizirana metoda mjerenja pomoću specijalno profilirane AC-metode prišlo se gradnji novog poboljšanog kalorimetra. Do konca godine završeni su svi bitni dijelovi i prišlo se električnoj instalaciji ugovora.

c) "Hladni mlin"

Tokom godine završen je prototip hladnog mlina i radovi su privedeni kraju na uredjajima za njegov pokusni pogon.

## 7. Primijenjena istraživanja

Izmjereni su električni otpori različitih za praksu važnih izolatora u području 20-250°C. Pronadjeno je da električni otpori stakla, gume i pretinaksa u tom području promjene za oko tri reda veličine. Kako je promjena (smanjenje) otpora eksponencijalna osobito je važno točno poznavanje temperature mjerenja. U okviru tih istraživanja izmjereni su otpori premaza na bazi epoksidne smole namijenjeni izradi podova u bolnicama.

Takodjer je mjerena toplinska vodljivost raznih sintetskih materijala koji se upotrebljavaju za toplinsku izolaciju u građevinarstvu. U više navrata je mjeran koeficijent toplinske vodljivosti termoizolacionih materijala pod zajedničkim nazivom Termon-proizvod KGK Karlovac.

Izradjen je izvedbeni projekt kriogenog uredjaja na bazi Josephsonovog efekta kojim se ostvaruje primarni standard napona. Uredjaj je baziran na Nb točkastom kontaktu a svi potrebni dijelovi bi se mogli izraditi na Institutu. Izradom ovog standarda Jugoslavija bi postala neovisna o drugim zemljama te se uvrstila u 12 najrazvijenijih zemalja koje taj standard imaju u pogonu.

Popis radova

1. Exploration of a New Method of Small Sample AC-Calorimetry at Low Temperatures, J.B.-Rubčić, B.Leontić and J.Lukatela, *Fizika*, 8(1976)45
2. Sample Holder for the Modified Seeman-Bohlin X-ray Camera, E.Girt, Z.Gatalo, A.Kuršumović and B.Leontić, *J. of Phys.E.* 9, 818(1976)
3. E.Babić, R.Krsnik, M.Očko, Low Temperature Resistivity of AlV and AlTi Alloys, *J.Phys.F, Metal Phys.* 6, 1, 73(1976)
4. M.Očko, E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Some Properties of AlSc Solid Solution, *J.Phys.* 6, 5, 703(1976)
5. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, M.Očko, Low Temperature Deviations from Matthiessen's Rule in Rapidly Quenched Alloys, *Proc.of 2nd Conf.of Metastable Materials*, MIT, Boston, 1976.
6. E.Babić and G.Grüner, Interaction effects in dilute alloys, *Physica* 84B(1976)37
7. G.Grüner and E.Babić, Impurity interactions in Kondo-systems, *Proc. of Int.Conf.on Magnetism* (1976), u štampi
8. A.Hamzić, E.Babić and B.Leontić, The Impurity Resistivity and Interactions in Supersaturated AlMn and AlCr Alloys, *Materials Science and Engineering* 23(1976)271
9. A.Hamzić and E.Babić, The magnetoresistivity of AlMn alloys, *Proceedings of Int.Conf.on Magnetism*, Amsterdam 1976, u štampi
10. M.Očko, E.Babić and V.Zlatic, The Changes in the lattice parameters of Al-3d alloys due to virtual bound state, *Solid St.Comm.* 18(1976)705
11. Z.Marohnić, E.Babić, Odredjivanje temperaturene ovisnosti električnog otpora za praksu važnih izolacionih materijala, *Elektronika* (1976) u štampi
12. Single Impurity Behaviour and Interaction Effects in the Magnetic Susceptibility of AlMn and AlCr alloys, J.R.Cooper and M.Miljak, *J.Phys.F* 6 2151 (1976)
13. "idem" M.Miljak and J.R.Cooper, *Proc.Intern.Magnetism Conf.Amstardam* 1976.



14. Semi-metallic Behaviour of HMTSF-TCNQ at low temperatures under Pressure, J.R. Cooper, M.Weger, D.Jerome, D.Lefur, K.Bechgaard AN Bloch and D.O.Cowan, S.S.C. 19 749(1976)
15. The Hall Effect in HMTSF-TCNQ, J.R.Cooper, M.Weger, G.Delplanque, D.Jerome and K.Bechgaard, Journ.de Physique Lettres, 37 L349 (1976)
16. Observation of a Large Hall Effect in HMTSF-TCNQ below Room Temperature, J.R.Cooper et al, Proc.Conf.in Organic Conductors and Semiconductors, Siófok, Hungary, Sept.1976.
17. Surface Magnetism in Organic Charge Transfer Salts, K.Holczer, G.Grüner, M.Miljak and J.R.Cooper, submitted to Solid State Comms.
18. Magnetism of TTF-TCNQ and Related Compounds: Pressure Effects, D.Jerome, G.Soda, J.R.Cooper, J.M.Fabre and L.Giral, to appear in Solid State Comm.1977
19. DC Hall Effect in TTF TCNQ, J.R.Cooper, M.Miljak, G.Delplanque, M.Weger, D.Jerome, J.M.Fabre and L.Giral, Submitted to Journ.de Physique Lettres
20. Nuclear Spin-Lattice Relaxation and EPR Studies of TTF-TCNQ and TMTTF-TCNQ under Hydrostatic Pressure, C.Berthier, J.R.Cooper, D.Jerome, G.Soda, C.Weyl, J.M.Fabre and L.Giral, Mol.Cryst.Liq.Cryst. 32 267(1976) (Proc.of Bordeaux conf.1975)
21. On the Behaviour of TSeF-TCNQ under Pressure, J.R.Cooper, D.Jerome, S.Etemad, E.M.Engler, to appear in S.S.C.(1977)

## ODJEL OPTIČKA SVOJSTVA KRISTALA

Pročelnik odjela:

MLADEN PAIĆ, doktor fiz. nauka - znanstveni savjetnik u.m.

## Znanstveni suradnik:

VALERIJA PAIĆ, doktor medic. nauka - viši znan. suradnik u.m.

## Tehnički suradnik:

VILKO PETROVIĆ, viši tehn. suradnik

Pregled istraživačkog rada1. Odredjivanje alfa i beta faze u CdS-MnS sistemima

U ovim sistemima, dobivenim kooprecipitacijom iz otopina  $\text{CdSO}_4$  i  $\text{NH}_4\text{S}$ , određene su količine  $\alpha$ -CdS i  $\beta$ -CdS iz difraktograma, koristeći pritom sastavljanje u Gaussove funkcije, pomoću računara SRCE. Konstatirano je da su precipitati pretežno kubični  $\beta$ -CdS s primjesama  $\alpha$ -CdS koje mogu ići od  $y_{\text{CdS}} = 0$  do 0.2.

2. Odredjivanje veličine kristalita Scherrerovom formulom

Iz Gaussovih krivulja dobivenih sastavljanjem interferencija difraktograma  $\alpha$ -CdS +  $\beta$ -CdS sistema, određene su, Scherrerovom formulom, pripadne veličine kristalita. Po prvi puta je bilo moguće odrediti u smjesi kubične i heksagonalne faze CdS veličine kristalita svake faze

posebno. Rad na korelaciji tih podataka s nekim drugim parametrima ovih sistema je u toku.

### 3. Mjerenje spektara difuzne refleksije pri temperaturi tekućeg helija

Kriostat je osposobljen za mjerenje spektara difuzne refleksije pri temperaturi tekućeg helija. Izmjereni su spektri difuzne refleksije sistema CdS-MnS kao i  $(\beta + \gamma)$ -MnS i  $\alpha$ -MnS. Rezultati su u obradi.

### 4. Kinetika prijelaza $(\beta + \gamma)$ -MnS u $\alpha$ -MnS.

Budući da pri  $\lambda = 600(\text{nm})$  postoji velika razlika u spektru apsorpcije  $(\beta + \gamma)$ -MnS i  $\alpha$ -MnS, smatrali smo mogućim upotrijebiti apsorpciju pri toj dužini vala za određivanje količine  $\alpha$ -MnS koja se stvara izotermnim zagrijavanjem  $(\beta + \gamma)$ -MnS. Iz dobivenih izoterma izračunate su konstante brzine reakcije, iz kojih je, primjenom Arrheniusove formule, nadjena energija aktivacije ovog faznog prijelaza. Dobivena vrijednost iznosi približno 0,8(eV). Međutim potrebno je pritom učiniti pretpostavku o veličini apsorpcije  $\alpha$ -MnS pri  $\lambda = 600(\text{nm})$ , što nije bez daljnjega moguće, zbog osnovnih principa na kojima je zasnovana Kubelka-Munk teorija. Detaljna analiza te teorije pokazala je da će biti potrebno naći spektar  $\alpha$ -MnS, koji rezultira od razrijedjenih uzoraka  $\alpha$ -MnS + BaSO<sub>4</sub>. Smatrat će se da je postignut intrinzični spektar refleksije kad se postigne da  $F(R_{\infty})_{\lambda} / y_{\text{MnS}} = \text{const.}$

### 5. Utjecaj X-zraka na brzinu prijelaza $(\beta + \gamma)$ -MnS $\rightarrow$ $\alpha$ -MnS.

Ozračivanje preparata  $(\beta + \gamma)$ -MnS, u odsustvu kisika, X-zrakama maksimalne energije 60(keV) ne dovodi do prijelaza  $(\beta + \gamma)$ -MnS  $\rightarrow$   $\alpha$ -MnS. Međutim, pokazalo se da je brzina reakcije znatno povećana kad se označeni uzorak [1(MR)] izotermno zagrijava. Ovaj fenomen imamo namjeru dalje detaljno proučavati, odrediti energiju aktivacije prijelaza i vidjeti da li fenomen može služiti za dozimetriju  $\gamma$  i n zračenja.

## ODJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLINOVA

Pročelnik odjela

VLADIS VUJNOVIĆ, doktor fiz.nauka - viši znanstveni suradnik

## Znanstveni suradnici:

GORAN PICHLER, doktor fiz.nauka - znan.suradnik  
MLADEN MOVRE, magistar fiz.nauka - znan.asistent  
VLADIMIR RUZDJAK, magistar fiz.nauka - znan.asistent  
ČEDOMIL VADLA, magistar fiz.nauka - znan.asistent  
DALIBOR VUKIČEVIĆ, magistar fiz.nauka - znan.asistent  
VLADIMIR LOKNER, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

## Tehnički suradnik:

IVICA BOROŠAK, v.tehn.suradnik

## Pregled istraživačkog rada

## 1. Interakcija atoma i širenje spektralnih linija

Nastavljeno je dalje detaljno izračunavanje teoretskog profila rezonantnih spektralnih linija alkalijskih atoma. Pošto su u prošloj godini izračunate interakcione potencijalne krivulje, ove godine završeni su proračuni odgovarajućih vjerojatnosti prijelaza, na temelju čega je konstruiran kvazistatički profil dalekih krila rezonantnih linija (ref.6).

Usporedba s eksperimentalnim rezultatima pokazuje izvanredno slaganje u globalnoj strukturi, no u pojedinostima teorije ostaje da se procijene doprinosi integrala izmjene, dok u eksperimentu preostaje da se područje oko satelita pomno izmjeri kako bi se utvrdilo analitičko vladanje krila linija. U suradnji s Katedrom za optiku Univerziteta u Lenjingradu, provedena su i mjerenja odgovarajućih profila cezijeve linije u emisiji, što je donijelo dodatne informacije u procesu nastajanja cezijeve molekule rekombinacijom, pri čemu je jedan od cezijeve atoma u pobudjenom stanju. Rad je obradjen za objavljivanje (Phys.Lett.). U toku iste suradnje, ispitivani su sudarni procesi između pobudjenih atoma cezija i molekula vodika u osnovnom elektronskom ili pobudjenom elektronskom stanju, te je izmjereni profil rezonantne linije magnezija proširene uslijed interakcije s različitim plemenitim plinovima. Pokazalo se da se u slučaju širenja argonom, kriptonom i ksenonom, na dalekim krilima pojavljuje jedan satelit, dok se u slučaju helija i neona ne pojavljuje, uslijed dinamičkog efekta koji je jače izražen kod lakših perturbiranih. Na temelju približnog poznavanja interakcionih potencijala magnezija s plemenitim plinovima, teoretski je predskazano mjesto gdje se satelit pojavljuje (ref.2).

Nadalje, analiziran je proces asocijativne ionizacije kalija (ref.3) te je nastavljeno razmatranje eksperimentalnih tehnika i teoretskih modela kojima se istražuje ionizacija pobudjenih alkalijskih atoma u sudaru atom-atom kod termičkih brzina, ili u sudaru foton-atom. Ovaj pregled treba među ostalim da prikaže načine fotonskog formiranja plazme bez vanjske električne struje i da obuhvati podatke od interesa za astrofiziku.

Za daljnje istraživanje interakcije atoma u pobudjenim stanjima od izuzetne važnosti je upotreba monokromatora visoke moći razlučivanja, što bi u kombinaciji s tehnikom laserske spektroskopije dalo nadasve korisne i upotrebljive rezultate o poznavanju strukture dvoatomskih kvazimolekula.

## 2. Eksperimenti s električnim lukom i toplovodnom peći

Završena su mjerenja relativnih jakosti oscilatora homolognih parova spektralnih linija bakra i srebra. Na temelju poznatih vrijednosti za bakar sada su po prvi puta izmjerene apsolutne jakosti oscilatora nekih spektralnih linija atoma srebra (ref.14). U metodi relativnih intenziteta iskorišćena je velika sličnost term-dijagrama homolognih atoma srebra i bakra, pa termičko stanje niskotemperaturne plazme, nije bilo od bitne važnosti. Uvodjenjem aerosola s natrijem, izmjeren je temperaturni profil stabiliziranog slobodno gorećeg luka. Ovdje se radi o temperaturi pobudjenja natrijevih atoma. Nadjena je njena podudarnost s profilom kinetičkih temperatura atoma, kojeg uz izvjesne aproksimacije daje holografška interferometrija.

Već standardnom spektroskopskom dijagnostikom i metodom emisije, određene su u visokotemperaturnom luku s argonom kao osnovnim plinom, relativne vjerojatnosti prijelaza nekih spektralnih linija flora u vidljivu dijelu spektra (ref.17). Nadalje, izradjen je nosač i izvor napajanja (600 mA, 150V) za deuterijevu svjetiljku koja se koristi u spektro-radiometriji u području od 160 - 210 nm. Iskušana je nova verzija segmentne komore, izradjene od mjedenih ploča, koja je pokazala zadovoljavajuća termička svojstva u višesatnom pogonu kod struja od 60A. Provjerena je i empirička relacija za određivanje temperature u osi luka, s metodom relativnih intenziteta argonovih linija.

Započeti su radovi na toplovodnoj peći. Svrha ovih ispitivanja sastoji se u tome da se u homogenom stupcu natrijevih para proizvede tinjavi izboj, na kojemu bi se vršila različita mjerenja.

## 3. Laserska tehnika, laserska spektroskopija i holografška interferometrija

Izradjen je pulsni dušikov laser snage od 1 MW (ref.16). Izlazna valna dužina iznosi 337,1 nm i pomoću nje se optički pumpa rodamin 6 G

otopljen u etilnom alkoholu i smješten u pravilnoj četvrtastoj posudici od kvarca. Bez ikakvog vanjskog rezonatora, koristeći samo planparalelnost stijenki posudice, dobiveno je lasersko pojačanje u cijelom području fluorescencije karakterističnom za rodamin 6G. Pristupit će se izradi složenijih laserskih sistema s organskim bojama, sa spektralno selektivnim zrcalima (refleksne optičke rešetke), kako bi se izlazna valna dužina takvih lasera mogla kontinuirano mijenjati. Ovakvi sistemi, zajedno s uređajima za pulsnu registraciju i usrednjavanje signala, neophodni su pri upotrebi laserske spektroskopije.

Dovršena je analiza holografskih interferograma čeličnih zavarenih ploča 100 x 100 x 10 mm. Izračunata je raspodjela deformacija i prezentirana u obliku dijagrama i kosih projekcija. Na osnovu određene deformacije pokušano je izračunati zaostale napone oko vara koji su djelomično bili relaksirani u procesu mjerenja. Pokazuje se da je to znatan teoretski problem te će se na tome raditi u suradnji s Energoinvest - ITEN-om i dalje (ref.7).

Završena su mjerenja deformacija na ljudskom zubalu prilikom fizioloških opterećenja tehnikama holografske interferometrije s dvostrukom ekspozicijom, u realnom vremenu, a analiza je po prvi puta vršena i metodom kontrole pruga (ref.18).

Nastavljen je rad na preparatima ljudskog skočnog zgloba sa ciljem da se utvrde fiziološko biomehaničke osobine pojedinih dijelova u prenosu opterećenja (ref.8). Započete su pripreme za određivanje raspodjele kavitacionih mjehurića u vodi pri različitim hidrodinamskim uslovima (suradnja s Brodarskim institutom u Zagrebu).

#### 4. Istraživanja Sunčeve plazme

Osim organizacijskih procedura prilikom opremanja ekspedicija i opažanja na Opservatoriju Hvar, koja se provode u suradnji s

Geodetskim fakultetom i Zvezdarnicom Zagreb, laboratorijski su pripremani instrumenti za opažanje i teoretski su obradjivani spektri. Dvršen je rad (ref.4) koji predočuje završnu fazu računanja vodikova spektra u području granice ionizacije, bitno uvjetovanu doprinosima kontinuiranog spektra i disolviranih spektralnih linija.

Nadalje, izučavan je utjecaj rotacije i mikroturbulencije plazme protuberanci i spikula na profile njihovih emisijskih linija. Diskutirane su razne konfiguracije projekcija određene Sunčeve strukture u odnosu na pukotinu spektrografa. Računati su profili spektralnih linija koje su proširene termalnim, mikroturbulentnim i uredjenim rotacijskim gibanjima za razne raspodjele mikroturbulentnih brzina. Račun je proveden za model homogenog ispunjenog i homogenog šupljeg valjka. Proračunati profili uspoređeni su s profilima spektralnih linija spikula pa je time određena srednja brzina rotacije od 25 km/s (ref.5) te sa spektralnim linijama jedne protuberance tipa "surge", gdje se za njene pojedine filamente nalaze periferalne brzine rotacije između 100 i 200 km/s.

#### Popis radova:

1. G.Pichler, Measurement of the oscillator strengths of principal series of cesium, JQSRT 28 (1976) 147-151
2. N.P.Penkin, L.N.Shabanova, Zhuvikin i G.Pichler, Optika i spektroskopija (rus) (u štampi)
3. A.Klucharev, V.Sepman and V.Vujnović, Associative ionization from the resonance levels of potassium, J.Phys.B (Atom.and Molecul. Physics) 10(1977) (u štampi)
4. V.Ruždjak and V.Vujnović, Statistically extended recombination continuum and line dissolution in an analysis of the Balmer spectrum at the line merging region, Astron. and Astrophysics (u štampi)
5. V.Ruždjak, Line profiles in spicules, B.A.C. (u štampi)
6. M.Movre and G.Pichler, Resonance interaction and self broadening of alkali resonance lines, J.Phys.B, Atom.Molec.Phys.(u štampi)



## Radovi iznijeti na konferencijama

7. D.Vukičević, Ispitivanje konstrukcija pomoću laserske holografije, Uvodno predav., VII Savjetovanje o kontroli u investicionoj izgradnji, 5-7.2.1976. Cavtat
8. D.Vukičević, N.Nikolić, J.Hančević and S.Vukičević, Application of the holographic interferometry in biomechanics of locomotor systems, Proc.Teratologische Forschung und Rehabilitation, Symp. of holography in medicine, Münster 31.III - 2.IV 1976.
9. M.Movre and G.Pichler, Resonance interaction and the self-broadening of alkali resonance lines, EGAS 76, Oxford 13-16.VII 1976.
10. M.Movre and G.Pichler, Resonance interaction between alkali atoms, ESCAMPIG, Bratislava 24-26.VIII 1976. p.88
11. A.Klucharev, V.Sepman and V.Vujnović, Associative ionization from the resonance levels of alkali atoms, isto p.83
12. M.Movre and G.Pichler, Long-range adiabatic interaction potentials and oscillator strengths for the alkali dimers, Proc.SPIG 76, Dubrovnik 27.VIII - 3.IX 1976. p.447-51
13. G.Pichler, Self-broadening of cesium principal series lines, Invited Lecture, SPIG 76, isto, p.318 (abstract)
14. J.Koka and G.Pichler, Relative oscillator strengths of some silver spectral lines, Proc.SPIG 76 (isto) p.443-6
15. G.Pichler and M.Movre, Resonance interaction and quasi-static wings of alkali resonance lines, 3<sup>rd</sup> Int.Conf.on spectral line shapes, London 13-17.IX 1976.

## Drugi radovi

16. V.Kolar, Izrada dušikova lasera, Dipl.rad PMF Zagreb, 1976
17. Z.Suča, Relativne vjerojatnosti prijelaza nekih linija FI u vidljivom dijelu spektra, dipl.rad, PMF Zagreb, 1976.
18. Z.Rajić, Doktorska disertacija, Stomatološki fakultet, Zagreb, 1976.
19. J.Koka, Magistarski rad, Zagreb 1976.
20. L.Istrefi, Magistarski rad, Zagreb 1976.

## ODJEL FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela:

ZVONIMIR OGORELEC, doktor fiz.nauka, izv.profesor PMF-a  
Sveučilišta u Zagrebu - viši znan.suradnik

Znanstveni suradnici:

BRIGITA MESTNIK, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a  
Sveučilišta u Zagrebu - asistent

DAMIR SUBAŠIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

ZLATKO VUČIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

Pregled istraživačkog rada

## 1. Amorfni poluvodiči

U 1975.godini započeta je na Odjelu nova aktivnost - istraživanje amorfni poluvodiča. Ta aktivnost nastavljena je u ovoj godini na slijedećim temama:

## 1.1. Dobivanje staklastog germanija

Većina čistih tvari (elemenata) ne može se prirediti u amorfnom stanju direktnim hladjenjem iz tekuće faze. Postoje međjutim indicije da bi se svaka tvar mogla prirediti u obliku stakla kad bi se dovoljno brzo ohladila. Za hladjenje iz tekuće faze najveće brzine hladjenja dobivene su tehnikama kaljenja i to reda  $10^7$  K/s. Ta brzina hladjenja je ujedno i gornja granica za kaljenje, a određena je minimalnom debljinom uzoraka. Naime, brzina hladjenja je obrnuto proporcionalna kvadratu dimenzije uzorka u smjeru vodjenja topline.

Cilj rada je bio povećati eksperimentalnu kontroliranu brzinu hlađenja do te mjere da se broj materijala koji se mogu dobiti u staklastom stanju poveća. Potrebno je bilo prilagoditi dobro poznatu metodu prisilne konvekcije koja nema gore pomenutih ograničenja. Za test materijal izabran je germanij iz više razloga:

1) kaljenjem je pokazano da se rubovi uzorka, koji su tanji od  $1 \mu\text{m}$ , javljaju u staklastom stanju,

2) račun je pokazao da je za to potrebna brzina hlađenja reda veličine  $10^8 \text{K/s}$ ,

3) Ge je vrlo pogodan materijal zbog toga što je u staklastom stanju stabilan na sobnim temperaturama.

Izabrana je metoda hlađenja prisilnom konvekcijom smanjujući uzorke germanija sve dok nisu dobivene potrebne brzine hlađenja. To je postignuto raspršenjem tekućeg germanija u atmosferu argona u oblak sitnih kuglica. Dobiveni uzorci su oblika grozdova kuglica koje su međusobno spojene mostovima. Strukturna svojstva uzorka su ispitivana elektronskim mikroskopom snimanjem u svijetlom i tamnom polju te gledanjem difrakcione slike. Dobiveni su karakteristični difuzni prstenovi čiji se položaji podudaraju s onima dobivenim na uzorcima priredjenim naparavanjem. Grijanjem uzorka i rekristalizacijom dobiveno je svih 5 osnovnih linija karakterističnih za kristalinični germanij.

Kontrolom maksimalnih dimenzija raspršenih čestica ova metoda omogućuje priredjivanje svih tvari koje su u staklastom stanju stabilne na sobnim temperaturama. Metoda je još uvijek u fazi ispitivanja iz dva razloga: 1) još uvijek nije postignuta potpuna kontrola nad svim parametrima koji determiniraju veličinu uzorka i 2) ukupna količina staklastih uzoraka još uvijek je reda miligrama.

#### 1.2. Preliminarna istraživanja uzroka staklastog germanija u svrhu istraživanja medjupovršinske napetosti na granici čvrsto - tekuće.

Ne kontrolirajući uvjete raspršenja dopušteno je da se uzorak sastoji od kuglica širokog dijapazona dijametara. Budući da je brzina hlađenja

obrnuto proporcionalna kvadratu dijametara, ovako širok raspon dimenzija daje u stvari velik raspon brzina hlađenja kojom su hladjene pojedine kuglice. Elektronskim mikroskopom, dakle simultanim istraživanjem strukturnih svojstava i mjerenjem dijametara kuglica, može se ustanoviti da su neke kuglice manjih promjera potpuno u staklastom stanju dok su druge s većim promjerima dijelom ili potpuno kristalinične. Postojao je dakle neki kritični radijus koji dijeli amorfne od kristaliničnih kuglica. Mjerenje tog kritičnog radijusa omogućuje indirektno određivanje medjupovršinske napetosti na granici čvrsto-tekuće. Na bazi teorije homogene nukleacije Turnbull, Vreeswijk te Uhlmann istraživali su uvjete pod kojima će neka tvar biti priredjena u stanju stakla, ako se hladi iz tekuće faze određenom brzinom. Ukoliko se drži na umu korelaciju između brzine hlađenja i dimenzije uzorka izlazi da odgovor na pitanje, da li će neka tvar postati staklastom isključivo ovisi o volumenu uzorka i o medjupovršinskoj napetosti kristal-tekućina te o viskoznosti koja se uzima poznatom. Ta medjuovisnost izražena je integralom kojeg zadovoljavaju parovi vrijednosti za kritični radijus i medjupovršinsku napetost. Eksperimentalno određen promjer dat će jednoznačno vrijednost za reduciranu medjupovršinsku napetost na granici čvrsto-tekuće koja je definirana kao omjer površinske energije i entalpije fuzije.

Preliminarna mjerenja su pokazala da se dobivena vrijednost vrlo dobro slaže s onom dobivenom indirektnim određivanjem preko mjerenja temperature pothlađenja.

Prvi su rezultati objavljeni na 5.Simp.fizike kondenzirane materije u Sarajevu, oktobra 1976. pod naslovom: "Određivanje medjupovršinske napetosti kristal-tekućina za germanij", Z.Vučić, D.Subašić, Z.Ogorelec.

### 1.3. Amorfni podsistemi

Dio aktivnosti odjela bio je usmjeren također i na analizu mogućnosti dobivanja kationskog podsistema nekih binarnih spojeva u amorfnom stanju. To su spojevi bakra i srebra koji se odlikuju vrlo velikom ionskom vodljivošću u fazi koja je stabilna na temperaturama iznad približno 150°C. Velika ionska vodljivost (za AgI na 150°C čak  $1 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) je

posljedica neuredjene kationske podrešetke. Zapravo, može se reći da su kationi toliko neuredjeni kao da se nalaze u nekoj vrsti tekućeg stanja. Kako u nisko-temp. fazi kationi grade čvrstu podrešetku, to se fazni prijelaz može smatrati taljenjem ili kristalizacijom kationskog pod-sistema.

Smatralo se da bi se neuredjenost podrešetke u visoko-temperaturnoj fazi mogla zadržati i na nižim temperaturama kad bi se sistem ohladio dovoljno brzo ispod temperature faznog prijelaza. Budući da se želi dobiti samo podsistem u amorfnom stanju, hladjenje treba početi ispod temperature taljenja spoja a malo iznad temperature faznog prijelaza. Da bi se odredila minimalna potrebna brzina hladjenja korišten je jedan od uobičajenih tretmana formiranja stakla iz tekućine. Za proračun kritične brzine hladjenja uzeti su parametri faznog prijelaza umjesto parametara taljenja. Dobivene brzine hladjenja su za AgI, Ag<sub>2</sub>S i Ag<sub>2</sub>Se oko 10<sup>8</sup> K/s tj. istog reda veličine kao i brzine hladjenja potrebne za dobivanje amorfnog srebra ili bakra. Za spojeve Ag<sub>2</sub>Te, Cu<sub>2</sub>S i Cu<sub>2</sub>Se dobivene su brzine oko 10<sup>6</sup> K/s. Rad na ovom problemu nastavit će se i u 1977. godini.

#### 1.4. Prijelaz u staklasto stanje kod natrij tiosulfata pentahidrata

Tendencija materijala stvaranju staklastog stanja obično se ilustrira s dva ekstremna slučaja. U prvom, materijal kristalizira već na samom talištu i ne dozvoljava gotovo nikakva pothladjenja. U drugom pak, mogu se i kod vrlo sporog hladjenja dostići pothladjenja sve do temperature staklastog prijelaza. No postoji i niz takvih tvari kod kojih se opažaju relativno velika pothladjenja, ali ona nakon toga ipak kristaliziraju. U ovom radu izvršeno je ispitivanje porijeklo tih velikih stabilnih pothladjenja. Kao objekt izabran je natrij tiosulfat pentahidrat, koji se vrlo često koristi za demonstraciju pothladjenja, no bez adekvatnog objašnjenja porijekla.

Najprije je izvršena uobičajena matematička analiza uvjeta prijelaza u amorfnu stanje, koja je pokazala da porijeklo velikih stabilnih pothladjenja u tom materijalu treba tražiti u izvanredno strmoj

ovisnosti nukleacione frekvencije o temperaturi i u vrlo maloj vrijednosti omjera akceptorske površine prema ukupnoj površini kristala.

Kombinirajući ovu matematičku analizu s eksperimentalnim određivanjem kritične brzine hlađenja i kritičnog radijusa čestica koje još prelaze u staklasto stanje određena je medjupovršinska napetost kristal-tekućina, te temperatura staklastog prijelaza.

## 2. Efekt prekapčanja (switching) u metalima

Nastavljajući istraživanja iz prethodnog perioda, koja su započela otkrivanjem ionskog efekta prekapčanja, te sličnog efekta u heterospoju  $Sb_2Se_3 - CuSe$ , ispitan je i efekt prekapčanja u metalnim nitima. Budući da se svaki termalni efekt prekapčanja bazira na faznim transformacijama povezanim sa skokom u električnoj vodljivosti, switching u metalima povezan je s promjenom u vodljivosti na temperaturi taljenja. Na toj temperaturi vodljivost se općenito smanjuje, što znači da bi efekt prekapčanja kod metala trebao imati obrnut smjer tj. iz stanja manjeg u stanje većeg otpora.

Jednostavan eksperiment sa živom potvrdio je sve postavke. Ipak, efekt prekapčanja u tom metalu je relativno neefikasan, jer je odlučujući, tzv.  $Q$  parametar ili omjer vodljivosti tekućeg i čvrstog metala na temperaturi taljenja kod žive relativno velik. Mnogo manje vrijednosti mogu se, međutim, očekivati kod slitina. U radu je izvršena analiza nekoliko slučajeva koji bi mogli dovesti do materijala s dosta efikasnim prekapčanjem. Vjerojatno najbolja svojstva imala bi slitina čiji specifični otpor u tekućem stanju pokazuje izrazite maksimume u ovisnosti o sastavu. Za detaljnu sliku potrebna su daljnja istraživanja faktora  $Q$  u statičkim i dinamičkim uvjetima. Nit vodilja je vrlo mala ravnotežna vrijednost  $q = 0.13$  nadjena u slitini  $Ag - 28\% Sn$ .

### 3. Fazni prijelazi u CuSe

Dosadašnji rad na ispitivanju kontinuiranog faznog prijelaza u nestehiometrijskom bakar selenidu,  $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$ , nastavljen je na proučavanju faznih prijelaza u bakar selenidu, CuSe. Na oko 326K njegova heksagonalna simetrija prelazi u ortorombsku a na 393 K dešava se obrnut prijelaz. Naša mjerenja termičke dilatacije uzoraka CuSe i mjerenja električne vodljivosti pokazala su anomaliju u temperaturnoj ovisnosti tih veličina na temperaturi od 393 K. Stoga se prijelaz ortorombske u heksagonalnu simetriju može stvarno smatrati prijelazom drugog reda u skladu sa ranijim DTA mjerenjima. Zasad se čini interesantnijim prijelaz prvog reda na 326 K zbog širokog kritičnog područja u blizini temperature faznog prijelaza.

Mjerenja termičke dilatacije  $L(T)$  vršena su na vrlo preciznom induktivnom dilatometru u temperaturnom intervalu od 273 K do 380 K. Brzina grijanja iznosila je  $0.1^\circ/\text{min}$ . Mjerenja pokazuju naglu promjenu u dilataciji uzorka na temperaturi 331 K (ciklus grijanja) odnosno 322 K (ciklus hlađenja). Na višim temperaturama ta promjena postaje linearna. Odbivši linearni visokotemperaturni "background" dobije se samo anomalna promjena dužine uzorka. Nadjeno je da se ta promjena u blizini točke faznog prijelaza ponaša kritično sa kritičnim eksponentom 0.118.

Na uzorcima CuSe vršena su i mjerenja električne vodljivosti. Mjerenja su vršena u istom temperaturnom intervalu kao i dilatacija, no brzina grijanja je bila  $0.5^\circ/\text{min}$ . Na temperaturi faznog prijelaza primjećuje se nagli skok u vodljivosti. Iz temperaturne ovisnosti električne vodljivosti određen je anomalni doprinos vodljivosti koji se u blizini faznog prijelaza vlada kritično s eksponentom 0.87.

I specifična toplina pokazuje kritično ponašanje u blizini temperature prijelaza. Iz preliminarnih mjerenja specifične topline, određen je kritični eksponent 0.17.

Da bi istraživanje kritičnog ponašanja u blizini faznog prijelaza u CuSe bilo kompletirano potrebna su mjerenja izotermne kompresibilnosti, koja su predviđena u narednom periodu.

Popis radova:

## Znanstveni radovi

1. Z.Vučić, B.Etlinger and D.Kunstelj, Preparation of Pure Glassy Germanium, J.Non-Crystalline Solids 20(1976)451.
2. Z.Ogorelec, Thermal Switching in Metals, Fizika 8(1976)53.

## Radovi iznijeti na konferencijama:

1. Z.Vučić, D.Subašić i Z.Ogorelec, Odredjivanje medjupovršinske napetosti kristal-tekućina kod germanija
2. D.Subašić, Z.Ogorelec i Z.Vučić, Amorfni podsystemi.
3. Z.Ogorelec, Prijelaz natrij tiosulfata pentahidrata u staklasto stanje
4. B.Mestnik, D.Djurek i Z.Ogorelec, Fazni prijelaz drugog reda u Cuše Referirano na 5.Jug.simpoziju o fizici kondenz.materije, Sarajevo, listopad 1976.
5. Z.Ogorelec, Osnovna i primjenjena istraživanja amorfni poluvodiča, Pozvano uvodno predavanje na 4.Jug.savjetovanju o mikroelektronici, Ljubljana, travanj 1976.



## ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA

## Pročelnik odjela:

ZDRAVKO BENDEKOVIĆ, dipl. ing. elektr. - viši str. sur.

## Stručni suradnici:

ARBANAS MLADEN, dipl. ing., mr elektr.

DELAČ ANTONIJA, dipl. ing. kem.

DOJČ DUBRAVKA, dipl. ing. kem.

GRGEC ZVONKO, dipl. ing. kem.

LJUBIĆ DUBRAVKA, dipl. ing. kem.

PETRIĆ BRANKA, dipl. ing. fiz.

SMALJCELJ BRANKA, dipl. ing. kem.

VERES-VEŠIĆ DRAGICA, dipl. ing. kem.

VUKOVIĆ IVICA, dipl. ing. elektr.

## Tehnički suradnik:

VUKELIĆ MILAN, tehnolog za maske

Razvoj specijalnih poluvodičkih elemenata za potrebe elektroničke industrije

1. Nastavljeni su radovi na procesiranju i ispitivanju kapacitivnih dioda velike površine p-n prijelaza. Glavni problem je bio kako postići reproducibilnost električnih parametara od šarže do šarže procesiranih wafera.

Iz podataka sakupljenih tokom rada proizlazi da je za dobru reproducibilnost potrebno ostvariti:

- uske granice u otporu početnog materijala silicija
- kvalitetnu (sa što je moguće manje defekata) foto mikromasku
- strogu vizuelnu i električku kontrolu nakon svakog koraka

u procesu

- pažljivu pripremu površine silicija prije nanošenja aluminijskih kontakata.

Rezultati ispitivanja vide se iz posebno iznijetog rada (ref.1).

2. Projektiran je regulacioni PNP UHF tranzistor s rešetkastim slojem kontakta baze. Izradjeni su uzorci i izvršena električka ispitivanja gotovih tranzistora. (ref.2).

Radovi iznijeti na savjetovanju:

1. D.Paradis, Z.Bendeković, Kapacitivne Si- diode s velikom površinom p-n prelaza, IV.Jugosl.savjet.o mikroelektronici,Ljubljana 1976.
2. V.Radić, Z.Bendeković, Regulacioni PNP UHF tranzistor s rešetkastim slojem kontakta baze. IV. Jugosl.savjet.o mikroelektronici,Ljubljana 1976.

## ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU

Pročelnik Odjela

SLAVEN BARIŠIĆ, doktor fiz.nauka - izv.profesor PMF-a Sveučilišta  
u Zagrebu - viši znanstveni suradnik

## Znanstveni suradnici:

ALEKSA BJELIŠ, magistar fiz.nauka - znan.asistent

TOMISLAV IVEZIĆ, doktor fiz.nauka, docent Vojne Akademije u Zagrebu  
- znan.asistent

BRANKO GUMHALTER, doktor fiz.nauka - znan.asistent (od 1.11.1976)

STJEPAN LUGOMER, doktor fiz.nauka - znanstv.asistent (do 31.5.1976)

STJEPAN MARČELJA, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu,  
- znan.suradnik

KREŠIMIR ŠAUB, dipl.ing.fizike - asistent

VELJKO ZLATIĆ, doktor fiz.nauka - znan.asistent

KATARINA UZELAC, magistar fiz.nauka - znan.asistent

NIKOLA RADIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

Pregled istraživačkog rada

Općenito. Rad Odjela teorijske fizike nastavio se i 1976.godine u već tradicionalnim područjima aktivnosti - fizici niskodimenzionalnih sistema, a posebno lančastih vodiča, na problemima nečistoća prijelaznog metala u rešetki normalnog ili prijelaznog metala, te na nekim aspektima fizike tekućih kristala. Pored toga, dolaskom B.Gumhaltera počinje se otvarati područje fizike površina. Pokretljivost u Odjelu očitovala se i u gostovanju S.Marčelje na Australian National University, Canberra, u toku cijele 1976.god., te u tromjesečnom boravku S.Barišića u Orsayu, Francuska. T.Ivezić je pak nastavio svoj stalni rad na Vojnoj akademiji

u Zagrebu, a S.Lugomer je prešao na rad u Nuklearnu centralu Krško.

U toku godine Odjel je posjetilo nekoliko znanstvenika medju kojima Prof.L.P.Gor'kov, L.D.Landau Institute, Cernogolovka, SSSR i Prof.J.A. Krumhansl, Cornell University, SAD. Medjutim, dok je izmjena komfir-miranih znanstvenika tekla manje-više u granicama uobičajenog, zbog nedostatka sredstava osjećaju se teškoće pri ionako dosad premalom optičaju mladjih članova Odjela i mladjih posjetilaca. Budući da se Odjel još uvijek sastoji mahom od mladjih znanstvenih radnika, takav bi razvoj mogao nepovoljno uticati na njegovu vrijednost rada.

U navedenom periodu K.Uzelac je završila svoj magistarski rad: "Ginzburg-Landauov model faznih prijelaza za nisko-dimenzionalne sisteme", a A.Bjeliš i K.Šaub doveli su svoje doktorske dizertacije u završnu fazu.

#### Nisko-dimenzionalni sistemi

K.Uzelac nastavila je rad na faznim prijelazima u okviru Ginzburg-Landauovog modela. Odredjeno je kritično ponašanje za slučaj niskih dimenzionalnosti za koji je kritična temperatura jednaka nuli, čime su generalizirani prijašnji rezultati za jednodimenzionalni slučaj. Pritom su uočene neke osobitosti ove vrste prijelaza kao napr. irelevantnost fluktuacija amplitude parametra uredjenja za kritično ponašanje. Račun je primijenjen i na problem promjene kritičnog režima i pomaka kritične temperature u sistemima s jakom prostornom anizotropijom. Ovi posljednji rezultati od interesa su kod proučavanja prijelaza u lančastim sistemima i posebno, vodičima.

U radu K.Šaub, S.Barišića i J.Friedela ponudjen je prvi teorijski model za klizanje s temperaturom transverzalne komponente valnog vektora nestabilnosti, opažene u TTF-TCNQ-u. Model se osniva na K.Šaubovom proračunu vezanja valova naboja na susjednim lancima. Detaljno proširenje modela na sistem s dvije vrste lanaca proveo je A.Bjeliš. Koristeći Ginzburg-Landau model pokazano je da su, bez obzira radi li se o granici jakog ili slabog vezanja medju lancima, moguća tri tipa karakterističnog temperaturnog ponašanja. Jedan od njih opažen je u organskom lančastom spoju TTF-TCNQ: po spomenutom modelu, snižavanjem temperature najprije dolazi do Peierlsovog uredjenja TCNQ-lanaca (na 54K) sa periodičnošću  $\lambda_a$  u smjeru alternacije lanaca, jednakom 2a

( $a$  - konstanta rešetke). TTF lanci uredjuju se pak na 49K. Ispod 49K  $\lambda_a$  počinje rasti. Uzrok tome je temperaturno mijenjanje omjera amplitude valova naboja na TTF i TCNQ lancima. Na 38K  $\lambda_a$  skokom poprima sumjerljivu vrijednost  $4a$  i ostaje na njoj daljnjim snižavanjem temperature. Uzrok ovom faznom prijelazu I-reda je uključivanje preklopnih doprinosa energiji deformacije. Pokazano je da do takvog uključivanja dolazi ukoliko je anharmoničko vezanje medju lancima privlačno. Nadalje na 38K modulacija trodimenzionalne konfiguracije valova naboja se mijenja od fazne (iznad 38K) na amplitudnu (ispod 38K).

Gore navedeni radovi služe se Peierlsovom slikom strukturnog prijelaza u lančastim vodičima. S. Barišić je pokazao da je unatoč "many-body" komplikacijama ta slika dosta dobra pri temperaturama višim od karakteristične fononske temperature i ako je elektron-elektron vezanje dominirano izmjenom fonona. Zaista, prema K. Šaubu, direktnu Coulomb-ška interakcija je mala. Medjutim pri virtualnoj Coulombskoj interakciji pojavljuje se veliki matrični element. Preliminarni rezultati medjutim pokazuju da je zasjenjenje tog matričnog elementa efikasno, unatoč postojanja mekog transverzalnog plazmona, iznad čije frekvencije zasjenjenja nema.

### Magnetske nečistoće

Tokom 1976. godine V. Zlatić radio je na problemima vezanim uz ponašanje razrijedjenih metalnih otopina tipa  $A_B$ , gdje  $A$  označava metalnu matricu (prijelaznog ili normalnog elementa), a  $B$  označava atom prijelaznog elementa.

1. U okviru Andersonovog modela opisao je (u suradnji s G. Grünerom) utjecaj lokaliziranih spinskih fluktuacija na oscilacije gustoće vodljivih elektrona.

2. Poopćio je LSF model tako da obuhvati i vanjsko magnetsko polje:

i) u okviru Andersonovog modela izračunao je magnetootpor LSF legura  $AlMn$  i  $AlCr$ .

ii) u okviru Wolffovog modela izračunao je LSF doprinos magnetootporu legure tipa prijelazni metal - prijelazni metal. Preliminarni rezultati pokazuju da će LSF aproksimacija objasniti magnetootpor  $Rh-Fe$  i  $Ir-Fe$ , te nekih intermetalika aktinida (onih koji pokazuju sklonost k magnetizmu).

T. Ivezic je pokušao izračunati vodljivost pri tuneliranju za sisteme kod kojih je vrijeme života spina konačno. Primjena Keldysheve tehnike tu vodi vrlo složenim izrazima čija analiza još nije privredena kraju.

### Tekući kristali

U 1976. N. Radić je nastavio rad započet sa S. Marčeljom prethodne godine, na utjecaju rubnih ploha u sistemima čije se stanje može opisati djelomičnim uredjenjem. Račun ta dva efekta izveden je na osnovu i u granicama Ginzburg-Landau teorije srednjeg polja. Pretpostavka povišenog uredjenja sistema uz rubne plohe može kao posljedicu imati dva efekta:

#### 1. Promjena karaktera fazni prijelaz u malim uzorcima

Izveden je numerički proračun prije dobivenih analitičkih rješenja za uzorak smješten između paralelnih rubnih ploha za tekući kristal CB00A. Pretpostavka je bila da je FP I. reda (slabo izraženog), a kriterij karaktera FP bio je kontinuitet parametra uredjenja. Prethodni rezultati pokazuju da u vrlo malim uzorcima (do 2000 Å odnosno 80 molek. dužina) FP postaje II. reda. Međutim, efekt brzo opada s razmakom rubnih ploha tako da vjerojatno ne može poslužiti kao objašnjenje različitih rezultata dobivenih za taj FP.

#### 2. Uspostava indirektno interakcije između rubnim plohami jer se radi o površinskom efektu koji povisuje slobodnu energiju sistema očekuje se da će se dvije rubne plohe tako postaviti da njihov ukupni efekt bude minimalan - to je izvor indirektno interakcije. U računu s CB00A izvedenom na temp. oko 50K ispod FP interakcija je privlačna i relativno kratkog dosega. Za ostale geom. problem je rješavan u granici $T > T_c$ , kada kada GL razvoj možemo završiti na kvadratnom članu. Nadjena su rješenja za sfernu i cilindričnu geometriju i zatim iskorištena za račun interakcije sfernih čestica u otopini u "weak overlap" aproksimaciji. U toj aproksimaciji sila eksponencijalno opada s udaljenopću pri čemu karakteristična dužina odgovara korelacionoj dužini na danoj temperaturi. Najjednostavniji, Kartezijev, slučaj s antisimetričnim rubnim uvjetima daje odbojnu silu eksponencijalnog oblika između plohami, što je poslužilo za jednostavno objašnjenje mjerene odbojne sile između lecitinskim slojevima u vodi.

### Fizika površina

Od dolaska na Institut 1.11.1976.god. B.Gumhalter je radio na efektima zasjenjenja i relaksacije na metalnim površinama. Taj se rad nastavlja na prijašnja istraživanja započeta tokom boravka u Londonu. Dio istraživanja odnosi se na uticaj unutar atomskih i vanatomskih relaksacija na spektre adsorbiranih atoma, a dio na uticaj dinamičkog zasjenja na te iste spektre.

Taj posljednji aspekt prihvatio je T.Ivezić i počeo ga obradivati Keldyshovom tehnikom. Zbog karaktera interakcije između elektrona dubokih nivoa dodanog atoma i Fermijevog mora substrata moguće je naime očekivati slične singularnosti kao kod X-ray apsorpcionog ili emisionog spektra metala.

### Publikacije:

1. K.Uzelac, S.Barišić, Scaling at Low Temperatures in the Ginzburg-Landau Model, J.Physique-Lett.38,47(1977)
2. K.Šaub, S.Barišić, J.Friedel, Charge Density Wave Madelung Constant in a System of Linear Chains, Phys.Lett 56A,302(1976)
3. A.Bjeliš, S.Barišić, Perpendicular Phase Dependence in TTF-TCNQ, Proceedings of the Conf.on Organic Conductors and Semiconductors, Siofok 1976, i Zbornik 4.Jug.simp.o fiz.čvrstog stanja,Sarajevo,1976.
4. A.Bjeliš, S.Barišić, Commensurate Ordering in TTF-TCNQ, Phys.Rev. Lett. 37,1517(1976)
5. S.Barišić, Fizika 8, 181(1976) i Proceedings of the Conference on Organic Conductors and Semiconductors, Siofok 1976.
6. D.Debray, R.Millat, D.Jerome, S.Barišić, J.M.Fabre, L.Giral, Change in Lattice Parameters of TTF-TCNQ Under Pressure, poslano u štampu
7. V.Zlatić and N.Rivier, Fizika 8, 61-71(1976)
8. M.Očko, E.Babić and V.Zlatić, Solid State Commun.18,705-8(1976) Change in the lattice parameter of Al 3d alloys.
9. V.Zlatić and G.Grüner, J.Phys.Lett.38, u štampi Preasymptotic charge oscillations around 3d impurities in aluminium.
10. V.Zlatić, Proc.Int.Conf.Magnetism (Amsterdam),1976. u štampi, Magnetoresistance of dilute LSF alloys.

11. V.Zlatic, Proc.5th Solid State Conf.(Sarajevo)1976, u štampi, Magnetoresistance of Coles alloys.
12. S.Marčelja and N.Radić, Repulsion of interfaces due to boundary water, Chem.Phys.Letters 42, No.1 (1976) 129.
13. S.Marčelja, Lipid-mediated protein interaction in membranes, Biochim.Biophys.Acta 455(1976) 1-7.
14. S.Marčelja, D.J.Mitchell and B.W.Ninham, Phase transitions in aqueous suspensions of spherical colloid particles, Chem.Phys.Letters 43, No.2(1976) 353.
15. P.A.Forsyth, jr., S.Marčelja, D.J.Mitchell and B.W.Ninham J.C.S. Faraday II 73 (1977) 84-88., "Onsager transition in hard plate fluid".
16. P.A.Forsyth, jr., S.Marčelja, D.J.Mitchell and B.W.Ninham Stability of clay dispersions, Proceedings of the International Conference on modification of Soil Structure, Adelaide, August 1976, (in press).
17. S.Marčelja, D.J.Mitchell, B.W.Ninham and M.J.Sculley Role of solvent structure in solution theory, J.C.S.Faraday II, in press.
18. S.Marčelja, Structural contribution to solute-solute interaction, Croatica Chemica Acta (in press).

#### Konferencije i škole

1. K.Uzelac, Sitges International School on Statistical Mechanics, Barcelona, svibanj 1976.
2. A.Bjeliš, MECO, Bled, travanj 1976, Conf.on One Dimensional Conductors and Semiconductors, Siofok(Madjarska), srpanj 1976.
3. A.Bjeliš, 5.Jug.simp.fiz.čvrstog stanja, Sarajevo, listopad 1976.
4. S.Barišić, MECO, Bled, travanj, 1976. (pozvano predavanje)
5. S.Barišić, Siofok, srpanj 1976, (pozvano predavanje)
6. V.Zlatic, 13th annual Solid State Conf., Manchester, Jan.1976. Saopćenje: "Preasymptotic charge oscilations in Al3d alloys"
7. V.Zlatic, Int.Conf.on Magnetism, Amsterdam, Sept.1976, saopćenje: "Magnetoresistance of dilute alloys"
8. V.Zlatic, 5.Jug.simp.o fiz.čvrstog stanja, Sarajevo, listopad, 1976.
9. S.Marčelja, Intern.Conf.on modification of soil structure, Adelaide, aug.1976.
10. N.Radić, VII Jug.simp.iz biofizike, Primošten, listopad 1976.



## IV. TAJNIŠTVO

Tajništvo obavlja sve administrativne, financijske, materijalne, tehničke i razne pomoćne poslove Instituta.

Tajnik:

ZDRAVKO FRANČIĆ, dipl.pravnik 1 (1)

Struktura i sastav:

- Služba općih poslova
- Služba računovodstva
- Nabavno-skladišna služba
- Radionica
- Knjižnica

Brojno stanje na dan 31.12.1976.

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| - služba općih poslova     | 6 |
| - služba računovodstva     | 2 |
| - nabavno skladišna služba | 2 |
| - radionica                | 2 |
| - knjižnica                | 1 |

Brojevi u zagradi označuju broj radnika od ukupnog broja koji rade s radnim vremenom kraćim od punog radnog vremena.

Program znanstvenog rada Instituta u 1976.godini  
financirali su:

a) Samoupravna interesna zajednica za znanstveni rad - SIZ <sup>o</sup> - I	3.403.000,00
b) Sufinanc.znan.programa od Sveučilišta	3.300,000,00
c) Financ.- učešće RIZ-Tv.poluv.	250.000,00
d) Geod.fakul.za znan.zadatak Astrofizika	307.000,00
Ukupno	<hr/> 7.260.000,00 <hr/>