

D-377

*UNIVERZITET U NOVOM SADU*  
PRIRODNO - MATEMATIČKI FAKULTET

**OPTIČKA I STRUKTURNΑ SVOJSTVA  
NEKIH SMEKTIČKIH TEČNO-KRISTALNIH  
SUPSTANCIJA**

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

Dr DUŠANKA Ž. OBADOVIĆ

KANDIDAT:

MARIJA BOŠNJAK

*NOVI SAD, 1998. god*

D - 377

*Ovaj rad je urađen u Laboratoriji za  
Eksperimentalnu fiziku čvrstog stanja,  
Instituta za Fiziku Prirodnog matematičkog  
fakulteta u Novom Sadu, pod  
mentorstvom prof. dr Dušanke Ž.  
Obadović.*

*Koristim priliku da se zahvalim svom mentoru dr Dušanki Ž. Obadović na svesrdnoj pomoći prilikom izrade ovog rada. Zahvaljujem se mr Mileni Stančić na pomoći pri eksperimentalnom radu, kao i prof. Nadi Stančić i svojim roditeljima na strpljenju i podršci.*

---

<b>1. UVOD.....</b>	<b>2</b>
<b>2. KLASIFIKACIJA I SVOJSTVA TEČNIH KRISTALA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Svojstva nematskih tečnih kristala.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Svojstva holesteričkih tečnih kristala.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Svojstva smektičkih tečnih kristala.....</b>	<b>6</b>
<b>3. OPTIČKA SVOJSTVA TEČNIH KRISTALA.....</b>	<b>9</b>
<b>4. TEKSTURE TEČNIH KRISTALA .....</b>	<b>11</b>
<b>5. DIFRAKCIJA X-ZRAKA NA TEČNIM KRISTALIMA .....</b>	<b>15</b>
<b>6. EKSPERIMENTALNE METODE .....</b>	<b>17</b>
<b>6.1. Metoda polarizacione mikroskopije .....</b>	<b>17</b>
<b>6.2 Metoda difrakcije X-zraka.....</b>	<b>20</b>
<b>7. EKSPERIMENTALNI REZULTATI.....</b>	<b>23</b>
<b>7.1 Podaci o uzorcima .....</b>	<b>23</b>
<b>7.2 Rezultati dobijeni metodom polarizacione mikroskopije .....</b>	<b>24</b>
<b>7.3 Rezultati dobijeni metodom difrakcije X-zraka.....</b>	<b>32</b>
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>41</b>
<b>9. LITERATURA.....</b>	<b>43</b>



ПРИМЉЕНО:	7 IX 1998
ОРГАН НАДЈА:	Б. Р. О. Ј.
0603	9/220

## 1. UVOD

Austrijski botaničar F. Rajnizer (F.Reinitzer), 1888. godine, ispitujući uticaj estara holesterola na rast biljaka, zapazio je novi i naročit fenomen topljenja [1]. U slučaju holesteril-benzoata primetio je da, pri topljenju, ne prelazi direktno iz čvrste u tečnu fazu, već u temperaturnom intervalu od 145 °C do 179 °C postaje anizotropan. Iznad 179 °C osobina optičke anizotropije nestaje, a formira se izotropna tečnost. U nedostatku drugog objašnjenja, Rajnizer je zaključio da se radi o smeši dva jedinjenja, pri čemu je u anizotropnom rastopu prisutna kristalna faza jednog od jedinjenja. Međutim, svi pokušaji da izvrši razdvajanje komponenata smeše bili su bezuspešni.

Nemački fizičar O. Leman (O. Lehman) je, 1889. godine, dokazao da je holesteril-benzoat hemijski čista supstancija, ali da pri zagrevanju prelazi u novu, tečno-kristalnu međufazu. U temperaturnom intervalu od 145 °C do 179 °C ponaša se kao mutna tečnost sastavljena od optički anizotropnih, međusobno neuređenih oblasti. Na granicama ovih oblasti svetlost se rasejava, te rastop čini mutnim.

U daljim istraživanjima Leman je našao čitav niz organskih jedinjenja koja obrazuju mezofazu pri topljenju i (ili) pri hlađenju. Leman je takođe zapazio da se analogne pojave javljaju i pri rastvaranju nekih organskih jedinjenja u odgovarajućim organskim rastvaračima. Ovakvu prelaznu fazu Leman naziva mezofazom, a sve supstancije koje u određenoj temperaturnoj oblasti obrazuju ovakvu tečno-kristalnu fazu (mezofazu) Leman naziva tečnim kristalima (flüssige krystalle) [2,3].

Francuski fizičar G. Fridel (G. Friedel) dao je, 1922. godine, detaljnu optičku studiju tečnih kristala u kojoj je opisao tri tipa mezofaze: nematsku, smektičku i holesteričku [4].

Već do tridesetih godina našeg veka bilo je razjašnjeno kakvi se sve tipovi tečnih kristala sreću, kakva su im hemijska svojstva i kakva su im optička svojstva. Kao što se naglo pojavio, interes za tečne kristale je naglo i opao. Nakon što su izučeni, došlo se do zaključka da nisu od velikog značaja za praktičnu primenu. Tek 60-tih godina ovog veka tečni kristali doživljavaju ponovo procvat. Počinje njihovo detaljno izučavanje i sve značajnija primena u elektronici, medicini, optici, industriji... [5,6,7,8].

Cilj ovog rada je da, ispitivanjem optičkih i strukturnih svojstava nekih smektičkih tečno-kristalnih supstancija, doprinese boljem razumevanju strukture tečnih

---

kristala u pojedinim mezofazama. Izbor uzoraka, na osnovu njihovih faznih dijagrama, je napravljen tako da ispitivanjem budu obuhvaćeni najvažniji tipovi mezofaza. Posebna pažnja je posvećena teksturama smektičkih tečnih kristala, kao jednom od boljih pokazatelja njihove strukture.

## 2. KLASIFIKACIJA I SVOJSTVA TEČNIH KRISTALA

Dualne karakteristike tečnih kristala se mogu objasniti uz pomoć njihove molekulske strukture. Između slučajne orientacije molekula karakteristične za tečnosti i strogo uređene orientacije molekula, karakteristične za kristale, tečni kristali su, u određenom temperaturnom intervalu, u stanju koje se po osobinama nalazi između tečnosti i kristala (mezofazi). Ispod ovog temperaturnog intervala supstancija egzistira samo u čvrstom, a iznad, samo u tečnom stanju.

Imajući u vidu način obrazovanja mezofaze, tečni kristali se svrstavaju u:

- termotropne tečne kristale
- liotropne tečne kristale

U slučaju termotropnih tečnih kristala obrazovanje mezomorfnog faznog prelaza može biti reverzibilno, što znači da se mezofaza formira pri zagrevanju i pri hlađenju (enantiotropni tečni kristali). Osim toga može biti i ireverzibilno, što znači da se formira samo pri hlađenju izotropne faze (monotropni tečni kristali).

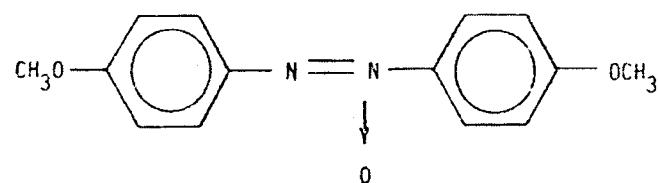
U grupu liotropnih tečnih kristala spadaju supstancije koje mezofazu obrazuju pri rastvaranju u vodi ili u odgovarajućim organskim rastvaračima, pri čemu koncentracija rastvora utiče na temperaturnu oblast mezofaze.

Tri osnovne mezofaze, kako termotropnih, tako i liotropnih, tečnih kristala su:

- nematska
- holesterička
- smektička

### ***2.1. Svojstva nematskih tečnih kristala***

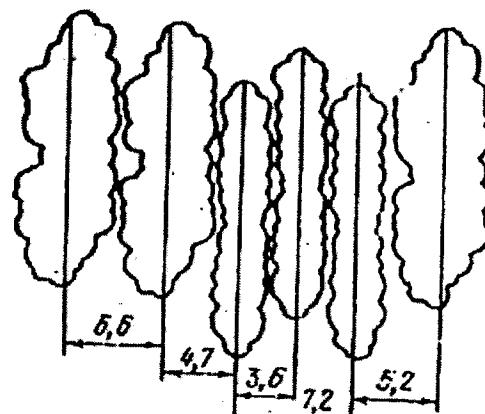
Tipičan predstavnik nematika je para-azoksi-anizol, (PAA) [9]. U procesu zagrevanja iz kristalne faze (Cr) u izotropnu fazu (I) PAA obrazuje nematsku mezofazu (N) u temperaturnom intervalu od 116 °C do 136 °C. Strukturalna formula molekula je:



U rasporedu centara mase molekula nematika ne postoji uređenost na daljinu [10,11]. Posledica toga je odsustvo bragovskih pikova na difraktogramu. Korelacija centara

mase molekula je slična korelaciji centara mase molekula kod tečnosti. Otuda sledi velika viskoznost nematika. Kod njih se, međutim, javlja određena uređenost pravaca

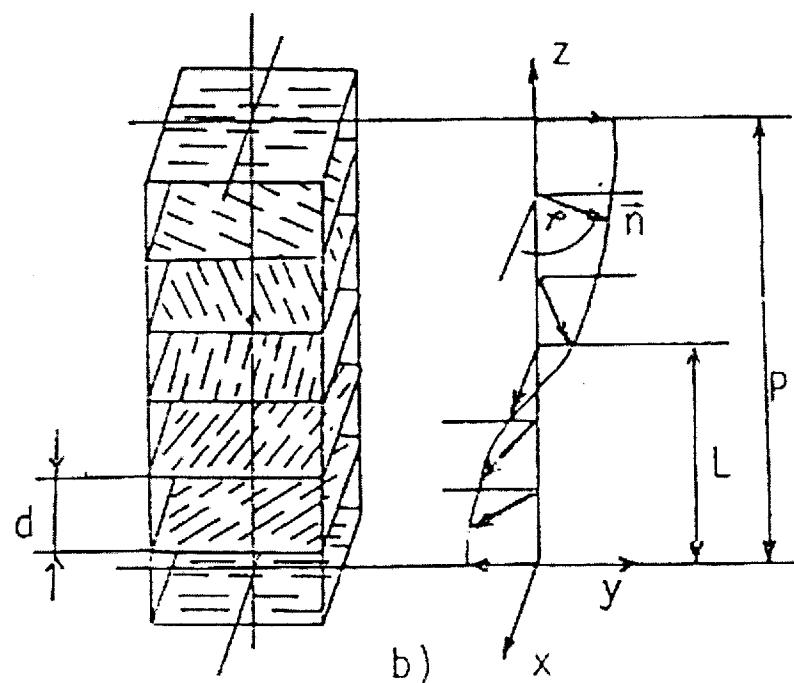
dugih osa molekula, sl. 2.1.1. Molekuli nematika teže da se postave u pravcu ose jediničnog vektora  $\vec{n}$ . Pravac  $\vec{n}$  je proizvoljan u prostoru, a praktično je određen slabim spoljašnjim silama (npr. uticaj zidova suda). Kako se smerovi  $\vec{n}$  i  $(-\vec{n})$  ne razlikuju, molekuli nematika se ne razlikuju od svog ogledalskog lika (nema razlike između leve i desne forme). Nematici su optički jednoosni sa optičkom osom duž  $\vec{n}$  [12].



**sl. 2.1.1 Shematski prikaz verovatnog pakovanja molekula nematika**

## **2.2. Svojstva holesteričkih tečnih kristala**

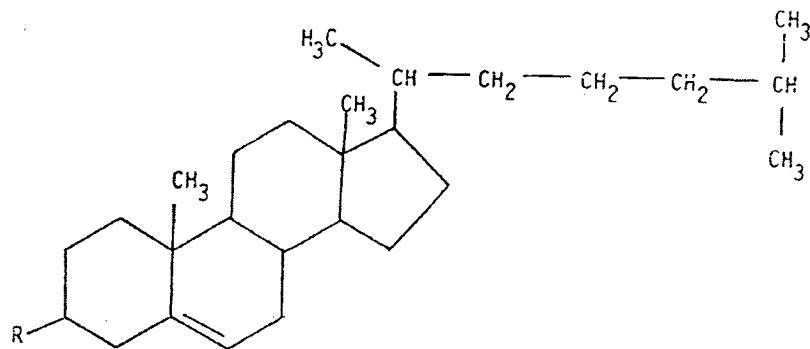
Holesterička mezofaza ima višu simetriju u odnosu na nematsku mezofazu [13]. Molekuli holesterika su uređeni po slojevima. U ravni jednog sloja duge ose molekula su međusobno paralelne, pa su slojevi, veoma tanki, sl. 2.2.1.



**sl. 2.2.1 Uređenje molekula holesteričkog tipa**

U svakom narednom sloju pravci dugih osa molekula blago su pomereni za izvestan ugao (oko 10 ugaonih minuta). To dovodi do obrazovanja helikoide čija je osa normalna na duge ose svih molekula [14].

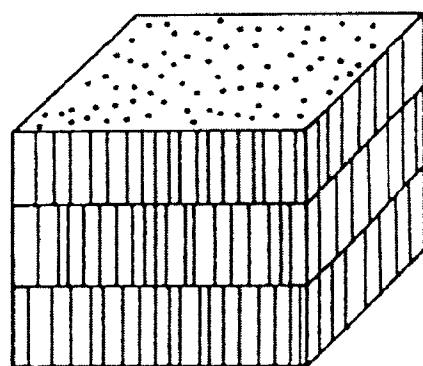
Posledice ovakve uređenosti molekula holesteričke mezofaze su izražena sposobnost selektivne refleksije u vidljivom delu spektra i velika optička aktivnost. Osim uređenosti dugih osa molekula u ravni jednog sloja, holesterike karakteriše, slično nematicima, i potpuna neuređenost centara mase molekula u tom sloju. Strukturna formula molekula holesterola, po kome je ova mezofaza dobila ime, je:



### **2.3. Svojstva smektičkih tečnih kristala**

Smektička mezofaza ima najveći stepen uređenosti. Molekuli su uređeni po slojevima debljine 2 nm  $\rightarrow$  3 nm. Privlačne sile između molekula susednih slojeva su slabe, pa se slojevi skoro slobodno kreću jedan u odnosu na drugi obrazujući mezofazu sa mehaničkim osobinama dvodimenzionalnog fluida. Postoji više tipova smektičkih koji se obeležavaju slovima A, B, C, D, E... Nadalje će biti reči samo o nekoliko najvažnijih tipova.

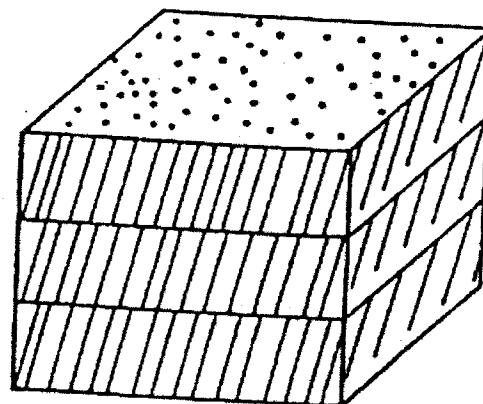
Smektički A (SA) se odlikuje slojevitom strukturu [15]. Duge ose molekula su



**sl. 2.3.1. Struktura smektičkog A**

međusobno paralelne i normalne na ravan sloja, sl. 2.3.1, s tim da slojevi mogu biti ravni (optički jednoosna struktura), a mogu biti i iskrivljeni ("krivljenje" je posledica dejstva slabih sila). Unutar sloja centri mase molekula su neuređeni i svaki sloj predstavlja dvodimenzionalni fluid.

Smekтик C (Sc) [16,17] ima strukturu sličnu smekтику A, ali su duge ose molekula nagnute u odnosu na normalu na ravan sloja, sl. 2.3.2. To za posledicu ima dvoosni karakter ove strukture. Kod nekih smektičkih C vrednost ugla nagiba dugih osa,  $\omega$ , zavisi od temperature.

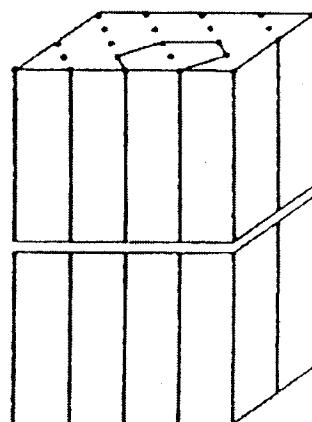


sl. 2.3.2 Struktura smektičkog C

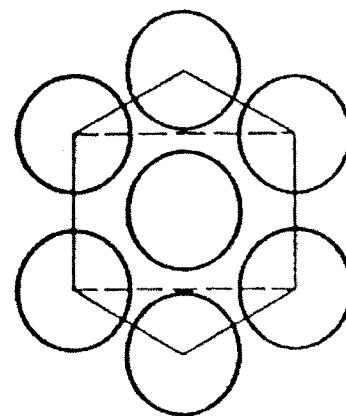
Ako je dužina molekula  $l$ , debljina smektičkih slojeva  $d_s$  iznosi:

$$d_s = l \cos \omega$$

Smekтик B (S<sub>B</sub>) [18] ima slojevitu strukturu, sa dugim osama molekula normalnim na ravan sloja, te je optički jednoosan. Unutar sloja centri mase molekula imaju gusto heksagonalno uređenje, sl. 2.3.3, usled čega slojevi imaju periodičnost i čvrstinu dvodimenzionalnog čvrstog tela.



a) dva sloja



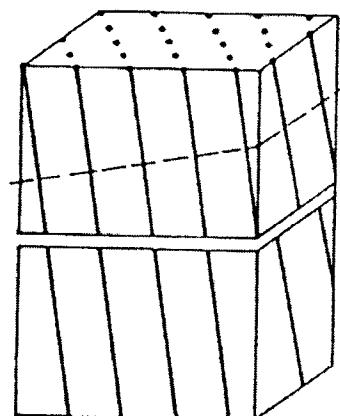
b) poprečni presek sloja

sl. 2.3.3 Struktura smektičkog B

---

Za razliku od **S<sub>A</sub>** i **S<sub>C</sub>** mezofaza, koje mogu imati vrlo iskrivljene slojeve, slojevi kod **S<sub>B</sub>** mezofaze su savršeno ravni. Iskrivljenost slojeva **S<sub>B</sub>** mezofaze može se javiti samo pri faznim prelazima **S<sub>A</sub>→S<sub>B</sub>** ili **S<sub>C</sub>→S<sub>B</sub>**. Posledica postojanja praktično nedeformisanih slojeva je mali broj tekstura koje se mogu uočiti u **S<sub>B</sub>** mezofazi (za razliku od **S<sub>A</sub>** i **S<sub>C</sub>** mezofaza).

Smekтик G (**S<sub>G</sub>**) ima takođe slojevitu strukturu [19]. Duge ose molekula su nagnute u odnosu na ravan sloja (optički je dvoosan) i formiraju monokliničnu elementarnu celiju, sl. 2.3.4.



sl. 2.3.4 Struktura smektička G

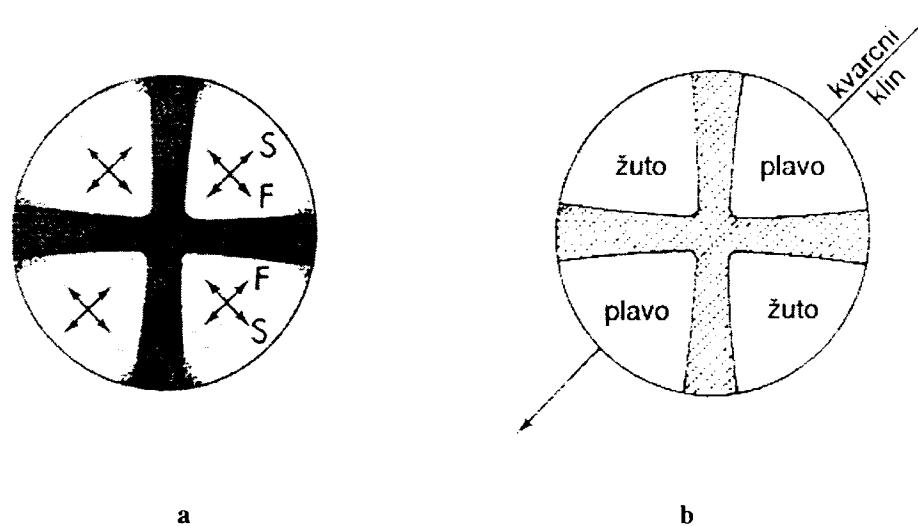
Unutar sloja, u ravni normalnoj na duge ose molekula, postoji heksagonalno uređenje molekula, sl. 2.3.3.b. Ova struktura se zato naziva pseudoheksagonalna.

### 3. OPTIČKA SVOJSTVA TEČNIH KRISTALA

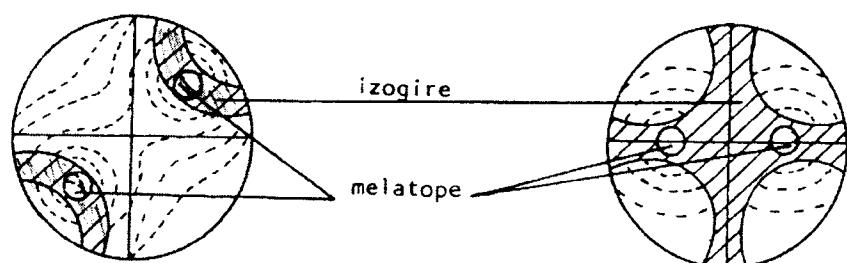
Na osnovu podataka dobijenih optičkom mikroskopijom mogu se izvesti zaključci o orientaciji molekula u različitim mezofazama tečnih kristala. Usled različite orientacije molekula mezofaze pokazuju različita optička svojstva.

Smektičke mezofaze A i B, kod kojih su smektički slojevi paralelni graničnim površinama (mikroskopsko i pokrovno staklo), pri **konoskopskom posmatranju** daju jednoosne interferencione figure, sl. 3.1.a. One pokazuju da je optička osa mezofaza normalna na granične površine, a samim tim da je normalna i na površine smektičkih slojeva. Jednoosne interferencione figure pokazuju i nematska mezofaza kada su dugе ose molekula normalne na granične površine preparata.

Smektičke mezofaze C i G, kod kojih su smektički slojevi takođe paralelni graničnim površinama, pri **konoskopskom posmatranju** daju necentralne dvoosne interferencione figure, sl. 3.2. Dvoosni karakter se pripisuje anizotropiji - posledici nagnutosti dugih osa molekula.



sl. 3.1. Jednoosna interferenciona figura



sl. 3.2. Dvoosne interferencione figure

---

Ako je preparat tanak, može se odrediti optički znak mezofaze ubacivanjem kvarcnog klina na optički put svetlosti u polarizacionom mikroskopu, sl. 6.1.1. U većini slučajeva mezofaze su optički pozitivne sl. 3.1.b.

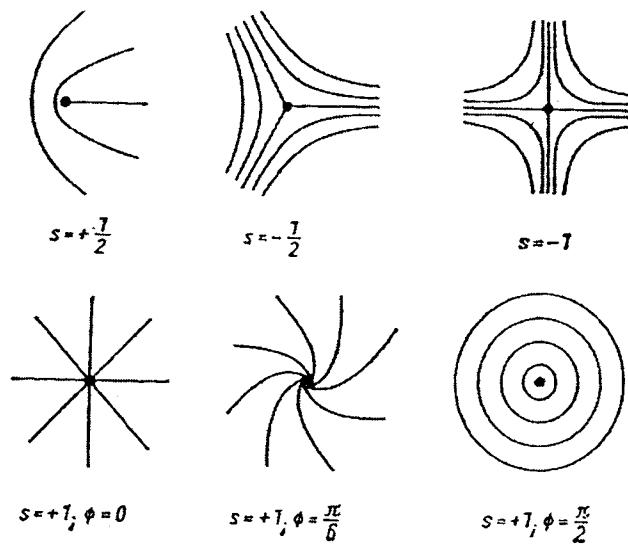
#### 4. TEKSTURE TEČNIH KRISTALA

Termin tekstura (uveo ga je Fridel) predstavlja sliku tankog sloja tečnog kristala vidljivu u polarizacionom mikroskopu pri **ortoskopskom posmatranju**. Raznolikost tekstura je posledica različitih vrsta defekata [20].

Sve tečno-kristalne strukture mogu se svrstati u dve grupe: planarne i neplanarne. Mezofaze sa planarnom strukturu odlikuju se teksturama kao što su: linijska tekstura, mozaička, tekstura stepenastih kapi, uljanih linija.... Mezofaze sa neplanarnom strukturu, tzv. strukturu Diponovih (Dupin) ciklida, odlikuju se teksturama: poligonalnom, lepezastom, štapićastom...

Planarne strukture, kod kojih su duge ose molekula normalne na granične površine preparata (u ortoskopiji tamno vidno polje - nema teksture), Leman i Fridel nazivaju **homeotropnim** [4]. Leman ih naziva još i **pseudo-izotropnim**. Homeotropnu strukturu mogu imati nematska kao i smektičke A i B mezofaze.

Mezofaze sa planarnom strukturu mogu imati teksturu linija (schlieren tekstu) [4,21,22]. Ova tekstura se odlikuje nepravilnom mrežom krivih linija. U tekstu se mogu uočiti tačke u kojima se sreću dve krive linije i tačke u kojima se sreću četiri krive linije. Te tačke ukazuju na diskontinuitet (defekte) u strukturi mezofaze. Naime, tačke su mesta gde se javlja nagla promena pravca dugih osa molekula. Na slici 4.1. prikazane su različite orientacije molekula oko centra defekta (gde je  $s$  - jačina dislokacije, a  $\phi$  - ugona raspodela jediničnog vektora  $\vec{n}$ ).

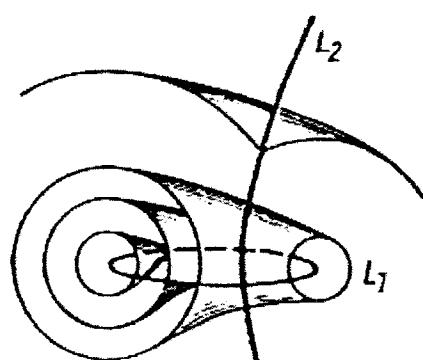


sl. 4.1 Razni tipovi defekata orijentacije molekula teksture linija

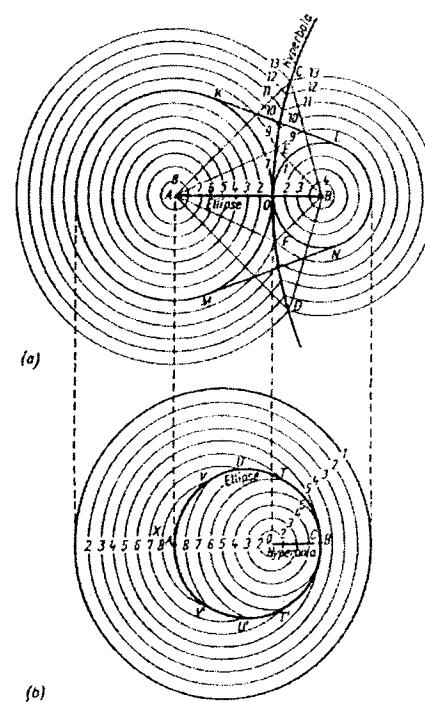
Duge ose molekula leže duž prikazanih linija, a tačke predstavljaju centar defekta (centar defekta je projekcija linijskog defekta na graničnu površinu preparata). Tekstura linija najčešće se javlja kod nematske mezofaze, a ređe kod nekih smektičkih mezofaza (npr. smektička C).

Mezofaze sa planarnom strukturu mogu imati i mozaičku teksturu [23]. Ova tekstura sadrži optički homogene oblasti (jednobojne) unutar kojih su optičke ose normalne ili paralelne graničnim površinama preparata. Mozaička tekstura ukazuje na veliku uređenost mezofaze (heksagonalno uređenje molekula unutar slojeva). Ova tekstura se javlja kod smektičkih mezofaza B i G.

Kod mezofaza sa neplanarnom strukturu, kod kojih su slojevi iskrivljeni (deformisani), ali je očuvana debljina slojeva i njihova paralelnost, slojevi formiraju serije paralelnih krivih površina poznatih kao Diponove ciklide. Od mogućih struktura koje zadovoljavaju navedene uslove, ova je sa najmanjom potencijalnom energijom. Ovakvo uređenje molekula poznato je kao fokal-konusna struktura. Diponova ciklida može da se opiše kao šupalj torus, sl. 4.2., kod koga prečnik poprečnog preseka varira od maksimalnog do minimalnog. Geometrijske osnove fokal-konusne strukture date su na slici 4.3. Položaji tačaka u kojima cikloide pokazuju naglu promenu pravca daju hiperbolu DFOEC i elipsu AVUTB.



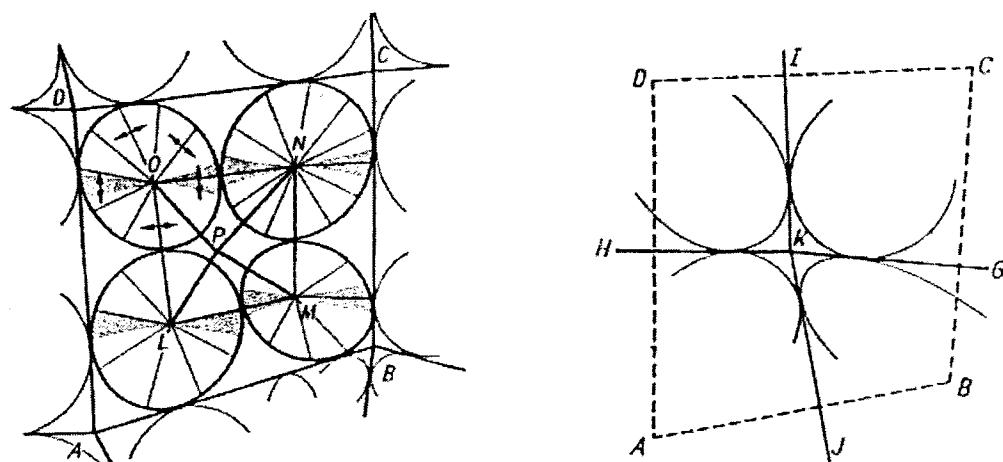
sl. 4.2. Diponove ciklide



sl. 4.3. Fokal-konusna struktura

Te krive su međusobno pod pravim uglom i čine par fokal-konusnih preseka. Otuda i ime za strukturu. U teksturi smektička se vidi dobro razvijena fokal-konusna struktura. U njoj se elipse i hiperbole javljaju kao tamne linije (obeležavaju strukturni, odnosno, optički diskontinuitet). Jedan od najboljih primera ove strukture je poligonalna tekstura, sl. 4.4 [24]. Ona se dobija kada je preparat vrlo tanak i ne suviše viskozan. Kada se mikroskop fokusira na gornju površinu preparata, u vidnom polju se vide poligonalne oblasti sa familijama elipsi, sl. 4.4.a. Ako se fokus mikroskopa postepeno pomera, od gornje ka donjoj površini preparata, može se otkriti da svakoj elipsi pripada jedna grana hiperbole i da se sve hiperbole, koje pripadaju jednoj familiji elipsi, sreću u jednoj tački na donjoj površini preparata, sl. 4.4.b.

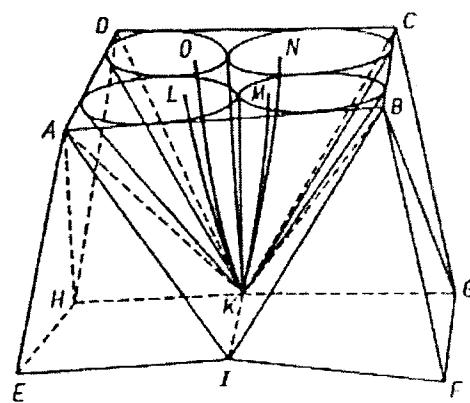
Gornja zapažanja se mogu objasniti i na sledeći način. Preparat se deli na piramide i tetraedre, sl. 4.5., pri čemu su baze piramida poligonalne oblasti uočene na gornjoj i donjoj površini.



a) Fokusirana gornja površina preparata

b) Fokusirana donja površina preparata

sl. 4.4. Poligonalna tekstura



sl. 4.5. Domeni u poligonalnoj teksturi

---

Svaka piramida sadrži familiju rotacionih konusa (svaki je fokal-konusni domen kao onaj sadržan između konusa ABC, sl. 4.3.a). Njihove izvodnice ukazuju na pravce dugih osa molekula. Projekcije pravaca dugih osa na površinu preparata radijalno su raspoređene unutar elipsi. Prosta poligonalna tekstura javlja se kod smektičke mezofaze A.

Lepezasta (fan-like) tekstura takođe se bazira na fokal-konusnoj strukturi [25,26]. Ova tekstura delimično sadrži fokal-konusne domene sa hiperbolama vidljivim na gornjoj površini preparata. Smektički slojevi su uglavnom normalni na gornju površinu. Pod mikroslopom se vide hiperbole i unutar nepravilno raspoređenih oblasti familije ekscentričnih elipsi. Ova tekstura se, takođe, javlja kod smektičke mezofaze A.

Kod smektičke mezofaze C javljaju se izlomljene poligonalne i lepezaste teksture. U strukturi ove mezofaze se javljaju dodatni defekti koji menjaju njena optička svojstva.

## 5. DIFRAKCIJA X-ZRAKA NA TEČNIM KRISTALIMA

Pošto mezofaze tečnih kristala imaju različitu strukturu i različit stepen uređenosti i njihovi difraktogrami će se razlikovati [27,28].

### Nematska mezofaza

Difrakcionu sliku ovako neuređene faze karakteriše širok difuzni maksimum pri velikim uglovima ( $2\theta \approx 20^\circ$ ), koji odgovara srednjem lateralnom rastojanju između dugih osa molekula. Pod lateralnim rastojanjem se podrazumeva normalno rastojanje između uzdužnih paralelnih osa molekula. Srednje rastojanje između uzdužnih molekularnih osa kod najvećeg broja jedinjenja kreće se oko 0,5 nm. Širok difuzni maksimum je nešto izraženiji nego u izotropnoj fazi. To je posledica lokalnog uređenja dugih osa molekula u istom pravcu [29].

Slabo izražen pik na malim uglovima ( $2\theta \approx 3^\circ$ ) odgovara rastojanju koje predstavlja dužinu molekula i pokazuje da nema uređenosti centara mase molekula.

### Smektička mezofaza A tipa

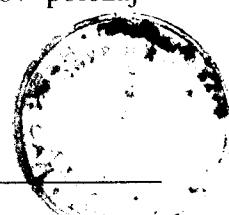
Difraktogram ove mezofaze ima širok difuzni maksimum pri velikim uglovima (slično nematskoj mezofazi). Ovakav maksimum indicira da ne postoji uređenost molekula duž sloja [30]. Za razliku od nematske mezofaze difrakciona slika smektičke mezofaze A tipa pokazuje veoma oštar pik na malim uglovima koji indicira periodičnu strukturu slojeva, a odgovara debljinu smektičkih slojeva.

### Smektička mezofaza C tipa

Difrakciona slika ove faze na velikim uglovima se ne razlikuje od difrakcione slike SA mezofaze što je takođe posledica neuređenosti molekula duž sloja. Razlika u difrakcionim slikama ove dve mezofaze se uočava na malim uglovima. Naime, iz položaja pika na malim uglovima, kod SC faze dobija se debljina smektičkih slojeva koja je manja od one u SA mezofazi. To ukazuje na nagnutost molekula smektičke mezofaze C tipa u odnosu na ravan sloja [31].

### Smektička mezofaza B tipa

Difrakciona slika ove mezofaze pokazuje izražen pik na većim uglovima. On je posledica heksagonalnog uređenja centara mase molekula duž sloja [32]. Izražen pik na malim uglovima govori o slojevitoj strukturi ove mezofaze, a njegov položaj određuje debljinu smektičkog sloja.



---

### **Smektička mezofaza G tipa**

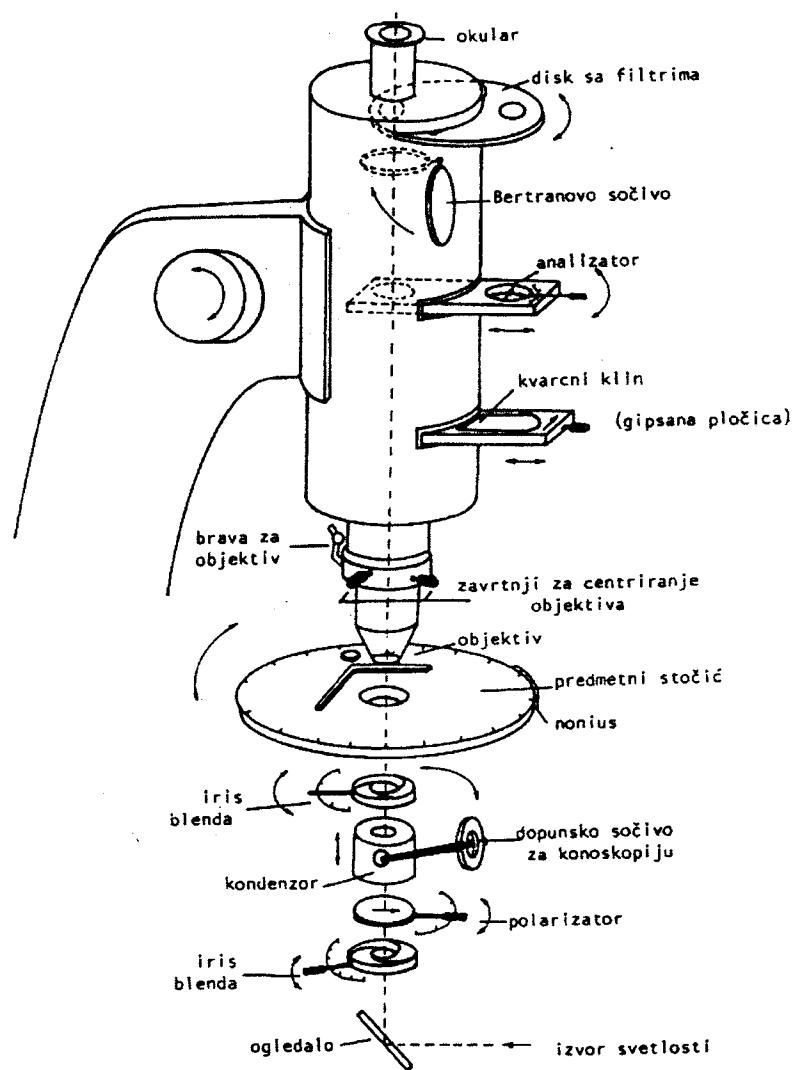
Difrakciona slika SG mezofaze pokazuje na većim uglovima, i intezivni centralni pik, kao kod SB mezofaze, i niz manje izraženih pikova oko centralnog [33].

## 6. EKSPERIMENTALNE METODE

### 6.1. Metoda polarizacione mikroskopije

Polarizacionim mikroskopom vrši se ispitivanje optički anizotropnih materijala. Kako je optička anizotropija određena morfološkom anizotropijom materijala, a kako su tečni kristali morfološki anizotropni, logično je da se proučavanje ovih kristala vrši polarizacionom mikroskopijom.

Shema polarizacionog mikroskopa prikazana je na slici 6.1.1. Pored elemenata karakterističnih za optički mikroskop, polarizacioni mikroskop sadrži polarizator i analizator. U slučaju proučavanja uzorka čije optičke osobine zavise od temperature polarizacionom mikroskopu se dodaje i grejna ploča.



sl. 6.1.1. Shema polarizacionog mikroskopa

---

Linearno polarizovana svetlost, dobijena prolazom prirodne svetlosti kroz polarizator, prolazi kroz slobodni otvor na predmetnom stočiću i pada na analizator.

Ako je optička osa analizatora paralelna sa optičkom osom polarizatora, analizator propušta svetlost, a ako je normalna (ukrštena) u odnosu na osu polarizatora, ne propušta svetlost. U prvom je slučaju vidno polje svetlo, dok je u drugom-tamno. Kada se u slučaju ukrštenih polaroida na predmetni stočić postavi izotropan, providan preparat, vidno polje mikroskopa ostaje tamno, a kada se stavi optički anizotropan preparat, vidno polje postaje svetlijе pa se u njemu može posmatrati struktura preparata.

Ukoliko je u pitanju preparat tečnog kristala, koji je na sobnoj temperaturi u kristalnom stanju, vidi se jasna slika kristalića. Pri zagrevanju, dati preparat tečnog kristala ulazi u mezofazu koja ima osobine i tečnosti i kristala (dakle predstavlja anizotropnu sredinu). U vidnom polju mikroskopa se vidi tekstura karakteristična za datu mezofazu. Pošto se brzina izmene temperature može kontrolisano menjati (posebnim uređajem), moguće je održavati preparat određeno vreme na temperaturi mezofaze kako bi se ona posmatrala i fotografisala. Daljim zagrevanjem, preparat prelazi iz mezofaze u izotropnu (tečnu) fazu, a vidno polje postaje tamno. Prilikom hlađenja dobijene izotropne faze preparat ponovo prolazi kroz mezofazu, pa se ona može i tada posmatrati.

Pomoću polarizationog mikroskopa se mogu dobiti sledeće informacije o tečnim kristalima :

- da li je u pitanju monotropni ili enaniotropni tečni kristal
- da li postoji polimorfizam (prisustvo nekoliko tipova mezofaza)
- koji je tip mezofaze
- koja je vrsta teksture
- kolike su temperature faznih prelaza.

Postoje dva načina posmatranja preparata polarizationim mikroskopom: **ortoskopsko i konoskopsko.**

Za **ortoskopsko posmatranje** odabiraju se sledeće pozicije: blende otvorene, polarizator i analizator ukršteni, dopunski kondenzor isključen, Bertranovo sočivo isključeno.

---

---

Pri ortoskopskom posmatranju optički jednoosni preparati se mogu ponašati dvojako:

- Preparati tečnih krisatala čija je optička osa (pravac dugih osa molekula) paralelna optičkoj osi mikroskopa ponašaju se kao i izotropni preparati, te daju tamno vidno polje.
- Kod preparata čija je optička osa normalna ili nagnuta u odnosu na optičku osu mikroskopa vidno polje je, u toku rotacije predmetnog stočića za  $360^\circ$ , dva puta tamno i dva puta svetlo. U položajima kada je vidno polje svetlo mogu se uočiti teksture karakteristične za mezofazu na datoј temperaturi.

Optički dvoosni preparati se ponašaju dvojako pri ortoskopskom posmatranju:

- Kod preparata čija je optička ravan paralelna optičkoj osi mikroskopa (što je redi slučaj) vidno polje ostaje sve vreme osvetljeno.
- Preparati, kod kojih je optička ravan normalna ili nagnuta u odnosu na optičku osu mikroskopa, ponašaju se kao i jednosni preparati sa normalnom ili nagnutom optičkom osom.

Za **konoskopsko posmatranje** koriste se iste pozicije elemenata kao i kod ortoskopskog posmatranja, s tim da se na optički put svetlosti stavlju i Bertranovo i kondenzorsko sočivo.

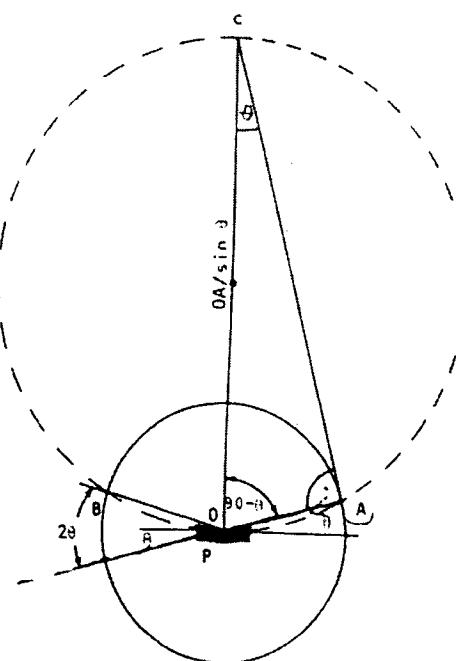
Optički jednoosni preparati čija je optička osa paralelna osi mikroskopa daju karakterističnu interferpcionu sliku: dve ukrštene izogire sa melatopom u njihovom preseku. Melatopa predstavlja pravac optičke ose preparata.

Optički dvoosni preparati, kod kojih je optička ravan paralelna sa osom mikroskopa, u vidnom polju daju interferpcionu sliku sa dve melatope.

## 6.2 Metoda difrakcije X-zraka

Difraktometar za praškaste uzorke, preko ionizacije koju izazivaju fotonii X-zračenja rasejanog na uzorku, omogućuje direktno merenje (skaniranje) relativnih intenziteta difraktovanog zračenja. Korišćenjem proporcionalnog ili scintilacionog brojača mogu se rezultati direktno reprezentovati elektronskim sistemima u digitalnoj formi, a mogu, preko pisača, automatski dati čitav spektar u željenom uglovnom intervalu.

Najčešća postavka uređaja je takva da se detektorski krug skaniranja nalazi u vertikalnoj ravni (kružnica izvučena punom linijom na sl. 6.2.1.). U tački A se nalazi linijski fokus rentgenske cevi, iz koga zraci padaju na ravan uzorka. Normalno na ravan crteža, kroz tačku O, prolazi zajednička osa obrtanja uzorka i brojača. Tako je rastojanje AO odnosno OB poluprečnik detektorskog kruga skaniranja. Tačka O je ujedno i centar ispitivanog uzorka (P).

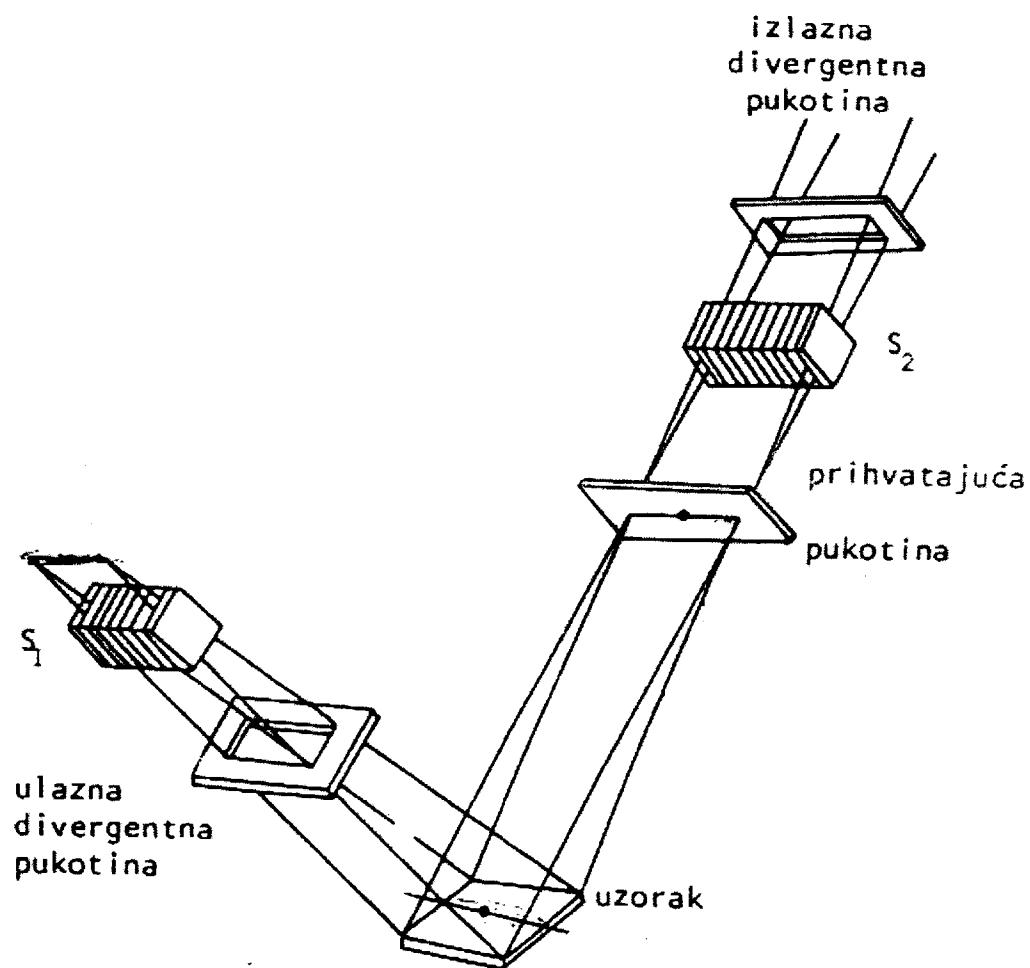


sl. 6.2.1. Geometrija difraktometra

Iz osnovnih postavki Bragovog (Bragg) modela difrakcije i zakona refleksije, sledi da ako se uzorak postavi pod uglom  $\theta$  u odnosu na upadni zrak, intenzitet difraktovanog zraka se meri na dvostruko većem uglu,  $2\theta$ , u odnosu na taj zrak. Zato je

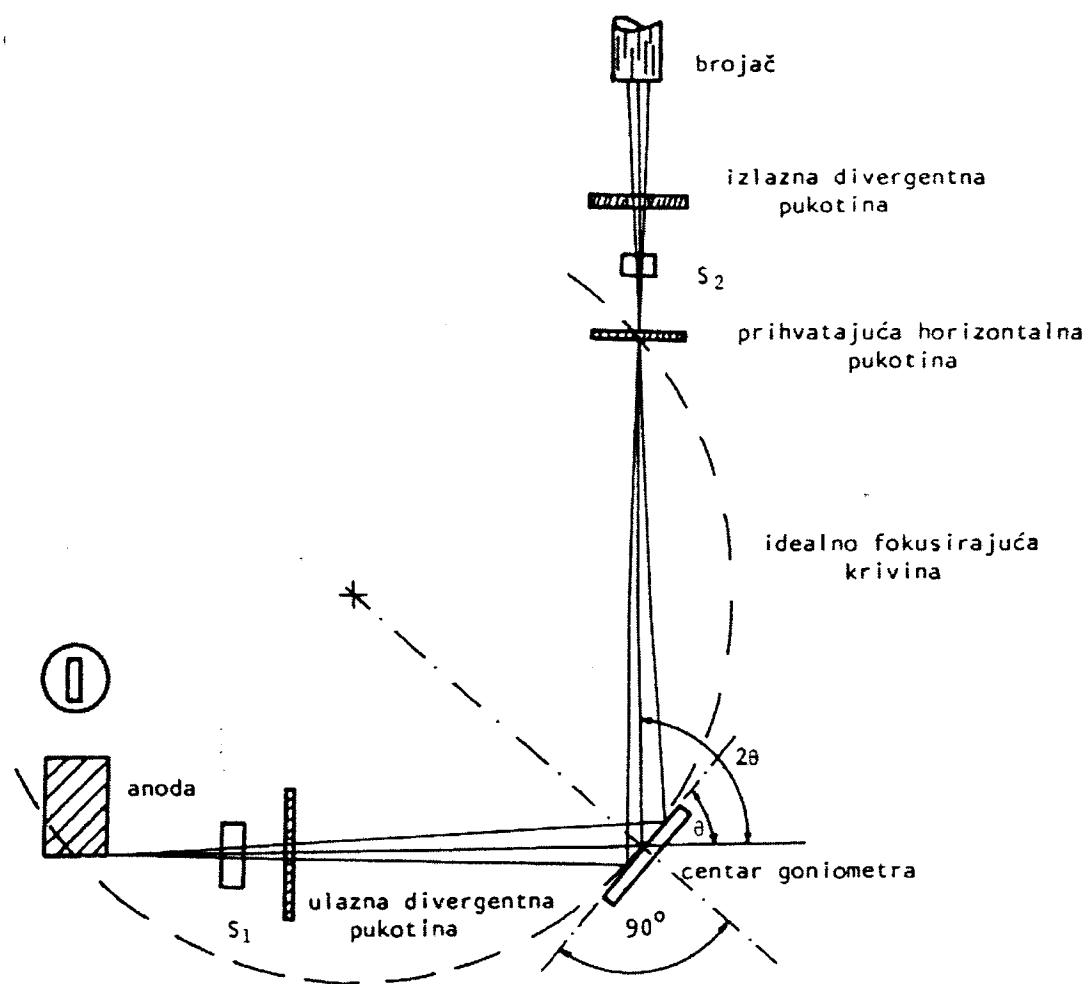
neophodno da se, prilikom skaniranja, obezbedi takva sinhronizacija pri kojoj će obrtanje uzorka pratiti obrtanje brojača za dvostruko veći ugao. Da bi se to idealno obezbedilo potrebno je da uzorak bude odgovarajuće zakriviljen. Međutim, pokazalo se da je, do izvesnog stepena, defokusiranje bez većeg praktičnog značaja, tako da uzorci mogu biti i ravni. Sistemom pukotina (slitova) utiče se na fokusiranje upadnog i difraktovanog snopa.

Sistem paralelnih pukotina  $S_1$  i  $S_2$ , koje se nazivaju pukotine Solera (Soller), smanjuje divergenciju zračenja iz linijskog fokusa izvora u vertikalnim ravnima, sl. 6.2.2.



sl. 6.2.2. Sistem za fokusiranje snopa X zračenja.

Za snimanje difrakcionih spektara tečno-kristalnih supstancija na difraktometar se montira grejač uzorka, a potreban je još i uređaj za kontrolu temperature. Kompletan sistem prikazan je shematski na slici 6.2.3.



sl. 6.2.3. Shematski prikaz difraktometra

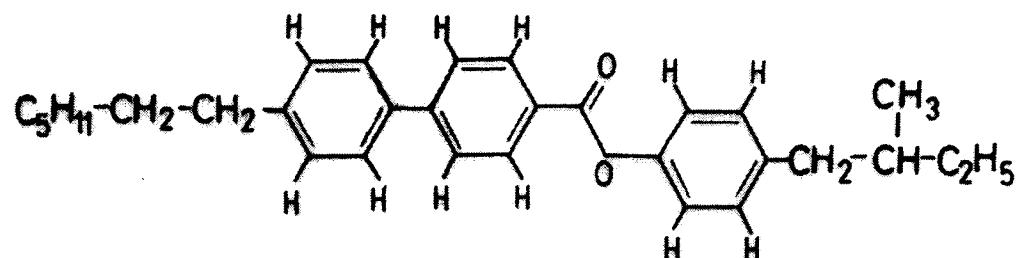
## 7. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

### 7.1 Podaci o uzorcima

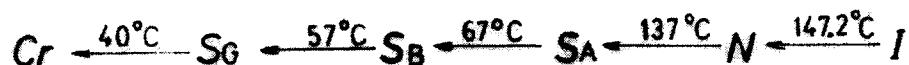
U radu su ispitivana optička i strukturna svojstva dve smektičke tečno-kristalne supstancije:

- a) 4 - (2 - metilbutil) fenil 4' n - heptilbifenil - 4 - karboksilat (U<sub>1</sub>) [34]

Strukturna formula ove supstancije je:

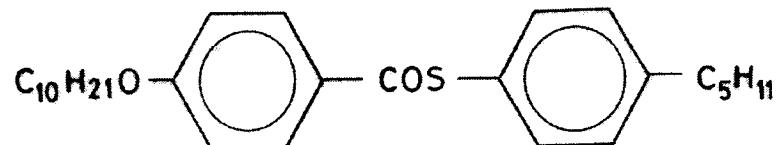


Njen fazni dijagram je:

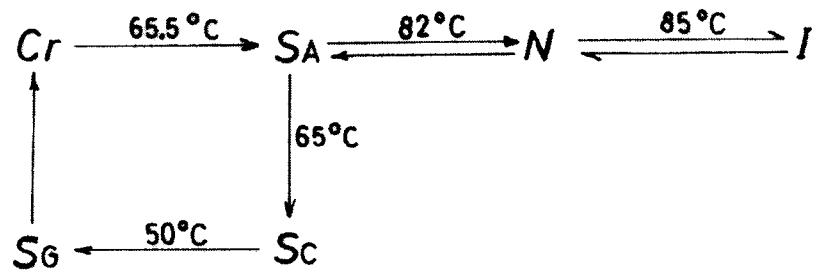


- b) 4'n - pentil - fenil - 4 - n - decikloksi - tiobenzoat (U<sub>2</sub>) [35]

Strukturna formula ove supstancije je:



Fazni dijagram je:



## **7.2 Rezultati dobijeni metodom polarizacione mikroskopije**

Za određivanje mezofaza i tekstura datih tečno-kristalnih supstancija korišćen je plarizacioni mikroskop CARL ZEISS (JENA) sa posebnim dodatkom za grejanje odnosno hlađenje uzorka METTLE FP5. Primenjena je dija tehnika, ortoskopsko posmatranje sa ukrštenim polaroidima (polarizator i analizator ) i plavim filterom. Uzorci su postavljaju između mikroskopske i pokrovne pločice.

Tako pripremljeni uzorci postavljaju se na grejnu ploču koja se nalazila na obrtnom postolju polarizacionog mikroskopa. Brzina grejanja uzorka bila je 3 °C/min odnosno 10 °C/min, a u oblastima faznih prelaza 2 °C/min i manje ( 1 °C/min i 0,2 °C/min ).

Nakon postavljanja fotoaparata na polarizacioni mikroskop vršeno je fotografisanje uzorka. Zajednički uslovi snimanja, za sve fotografije bili su: ortoskopsko posmatranje, polaroidi ukršteni, upotrebljen plavi filter, uvećanje 700×, vreme ekspozicije 5s .

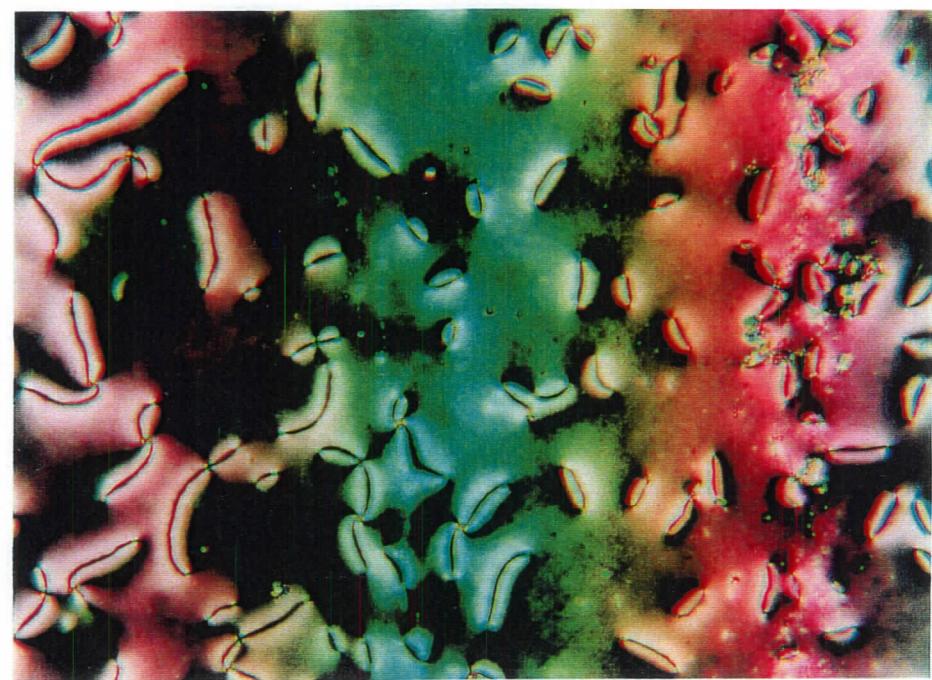
a) Uzorak  $U_1$  je zagrevan do temperature od 150 °C i zatim su, pri hlađenju, fotografisane karakteristične teksture mezofaza.

Na slici 7.2.1. vidljiva je nepravilna mreža krivih linija koja odgovara teksturi linija, karakterističnoj teksturi nematske mezofaze. Uočavaju se tačke u kojima se sreću 4 linije a i one u kojima se sreću 2 linije. Ovi centri i linije karakterišu defekte orijentacije molekula. Naime oni su mesta gde dolazi do promene pravca dugih osa molekula tj. gde je njihov pravac neodređen.

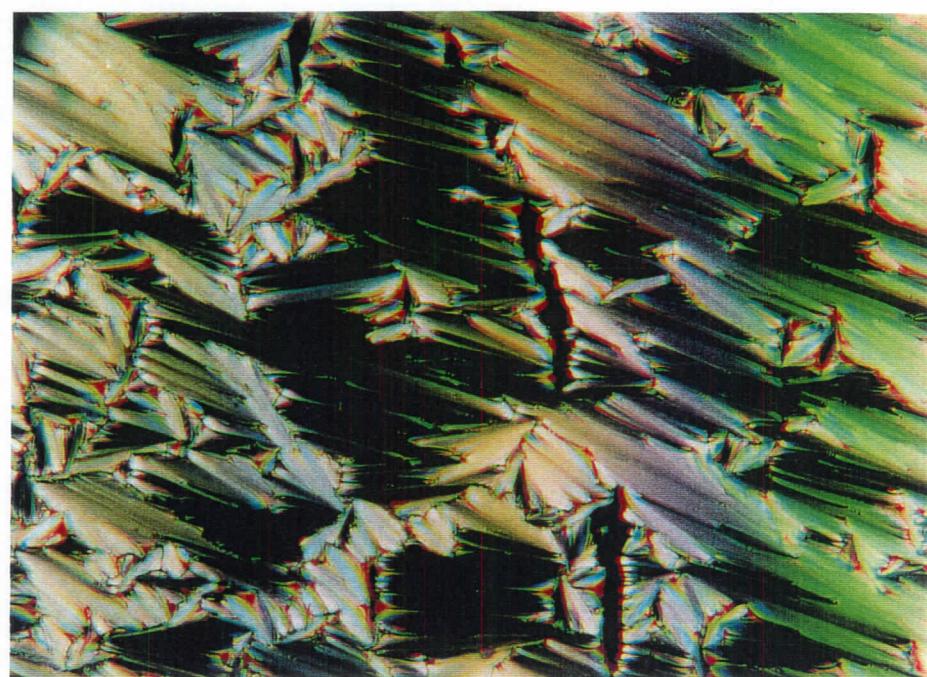
Na slici 7.2.2. vidljiva je lepezasta (fan-like) tekstura smektičke A faze. Ova tekstura se bazira na fokal-konusnom uređenju smektičkih slojeva koji su normalni na granične površine preparata. Vidljive su i hiperbole i nepravilno raspoređene familije vrlo ekscentričnih elipsi.

Slici 7.2.3. je snimak prelaza iz smektičke faze A u B. Uočava se postepeno gubljenje lepezaste teksture u odnosu na sliku 7.2.2.

Na sl. 7.2.4. vidljiva je mozaička **SB** tekstura, a na sl. 7.2.5. kristalna faza. One su veoma slične što ne čudi ako znamo da smektička mezofaza B ima visok stepen uređenosti.

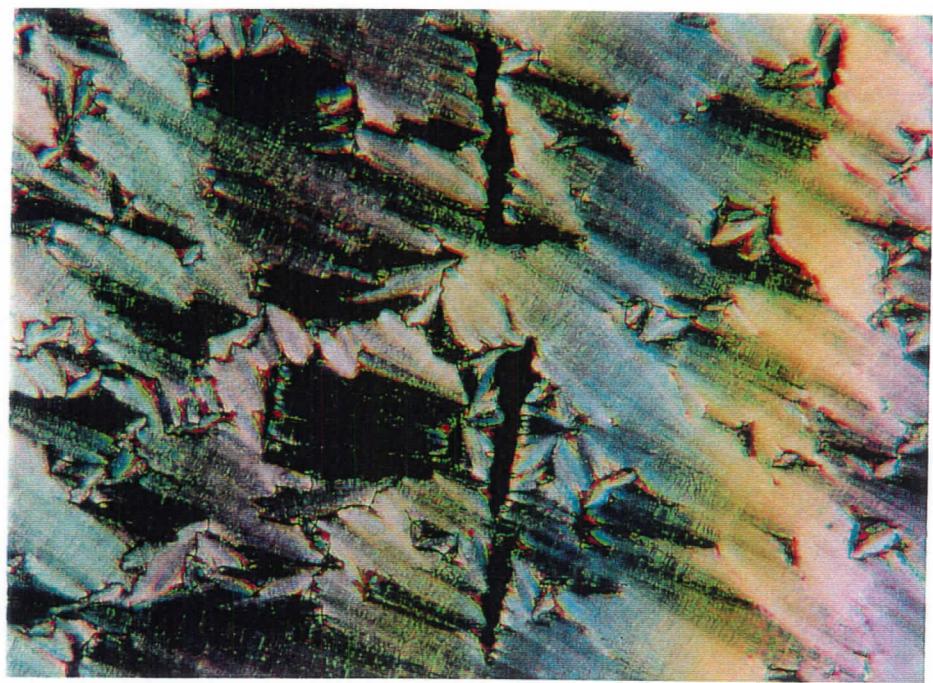


sl. 7.2.1. N-tekstura linija (schlieren) ( $t = 141,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

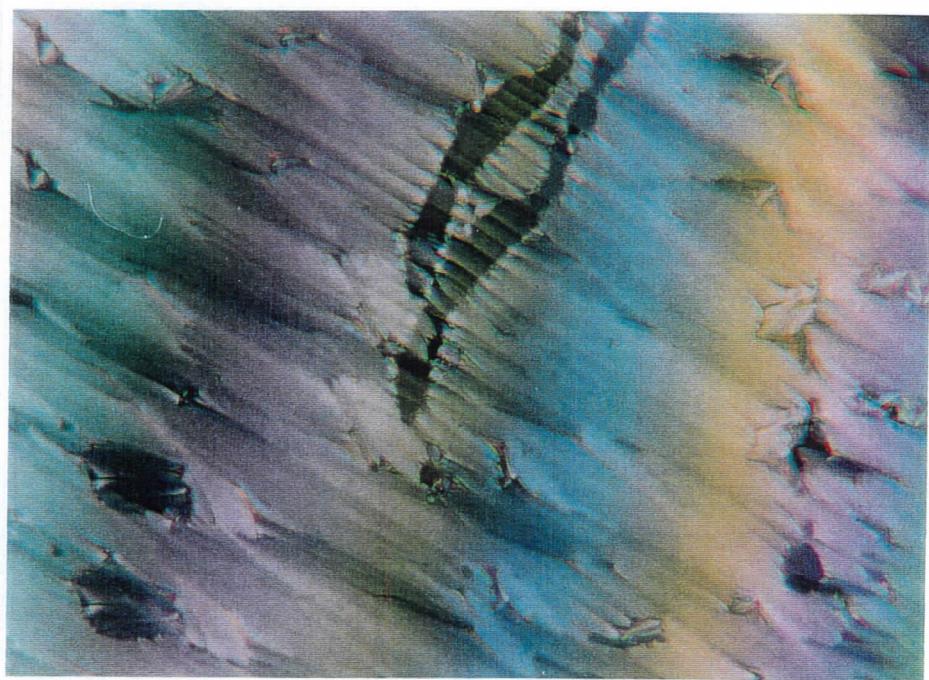


sl. 7.2.2. SA-tekstura lepeza (fan-like) ( $t = 133,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

---



sl. 7.2.3. SA - lepezasta → SB - mozaička tekstura ( $t = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



sl. 7.2.4. SB - mozaička tekstura ( $t = 56,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



sl. 7.2.5. Cr-kristalna faza ( $t = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

b) Uzorak  $U_2$  zbog faznog dijagrama fotografisan je i u grejanju i u hlađenju.

Na slici 7.2.6. vidljiva je karakteristična mikroskopska slika igličastih kristala.

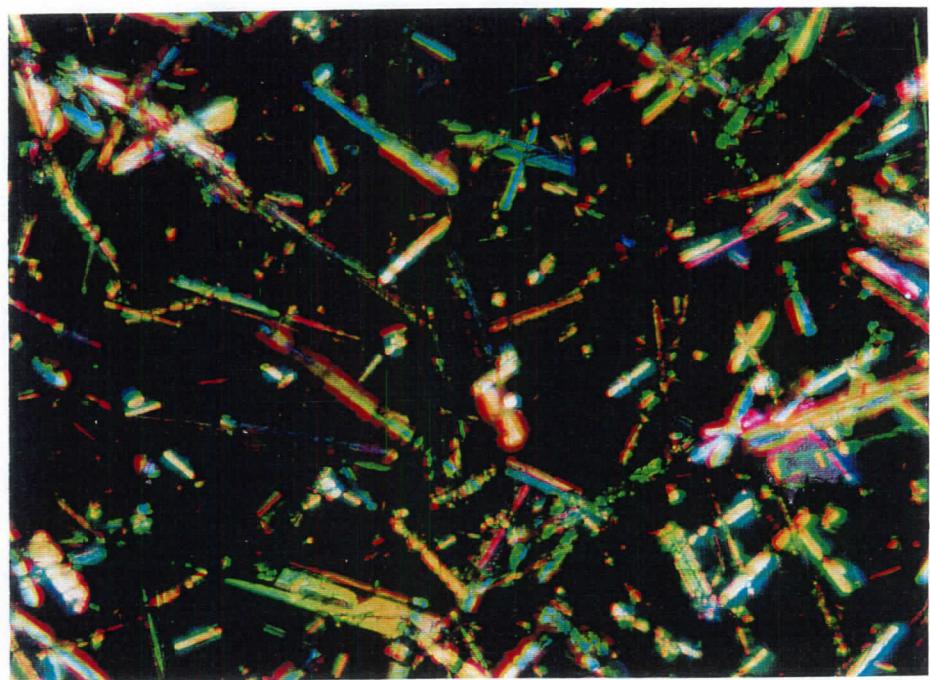
Slika 7.2.7. je mikroskopska slika smektičke faze A tipa. U ovoj fazi, ako se uzorak nalazi između mikroskopskog i pokrovnog stakla, smektički slojevi formiraju seriju paralelnih krivih površina u geometriji poznatih kao Diponove (Dupin) ciklide pri čemu se u vidnom polju javlja jedna od fokal-kousnih tekstura tzv. poligonalna textura. Na fotografiji se vide motivi nalik četvorolisnoj detelini. Njih čine grupisane elipse karakteristične za ovu texturu, a pravci dugih osa molekula leže radijalno unutar elipsi.

Slika 7.2.8. je mikroskopska slika faznog prelaza između smektičke faze A tipa i nematske faze. Na tanjim delovima uzorka (gornji levi ugao fotografije) uočavaju se elipse tipične za poligonalnu texturu S<sub>A</sub> faze.

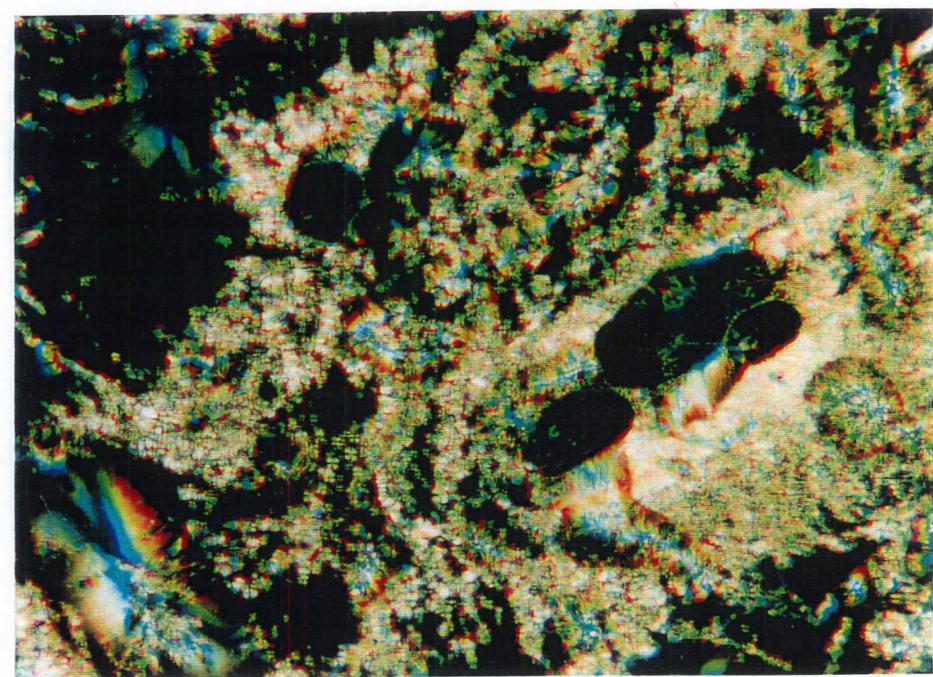
Slika 7.2.9. je mikroskopska slika nematske faze sa teksturom linija (schlieren). Vide se karakteristični centri kao i linije koje izviru iz njih i povezuju ih međusobno. Uočeni motivi karakterišu defekte orientacije molekula tj. mesta gde dolazi do promene pravca dugih osa molekula.

Slika 7.2.10. je snimak faznog prelaza između smektičke faze C tipa i smektičke faze G tipa. Vide se karakteristične tačke i linije koje izviru iz njih i povezuju ih što je, kao što smo već rekli, karakteristična textura linija (schlieren), koja se može javiti kod smektičke faze C tipa, iako nije jasno kako takva textura može biti vezana za slojevitu strukturu. Takođe se vide oblasti u kojima je sloj savršeno pljosnat što je karakteristika mozaičke texture koja se javlja kod smektičke faze G tipa.

Na slici 7.2.11. su vrlo jasno izražene oblasti sa savršeno pljosnatim slojevima karakterističnim za mozaičku texturu. Pljosnati slojevi su posledica bolje uređenosti molekula unutar sloja, a to je karakteristično za B i G tip smektičkih faza.

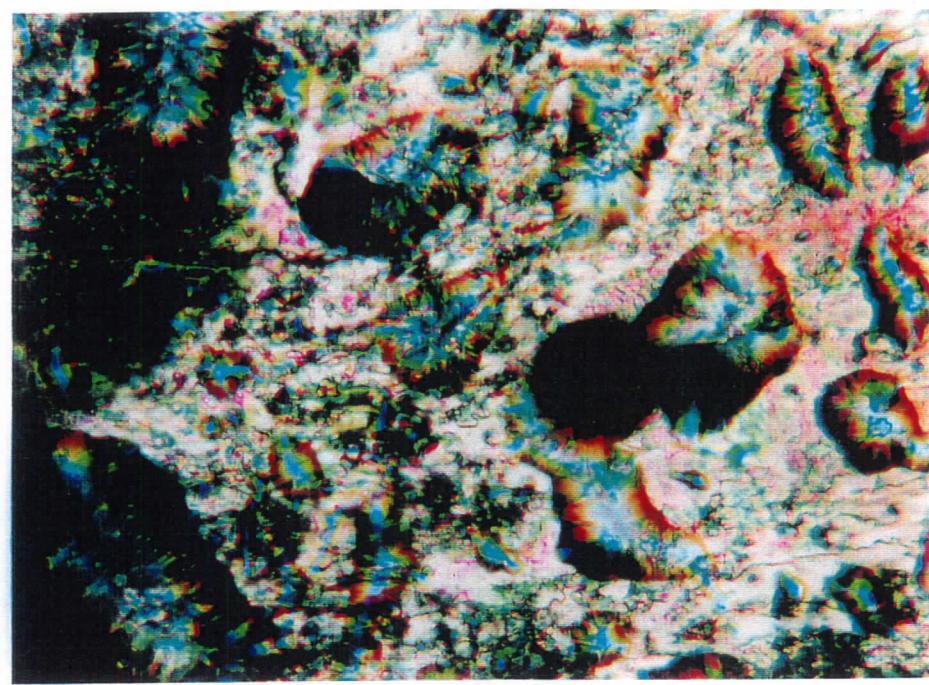


sl. 7.2.6. Cr-kristalna faza ( $t = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

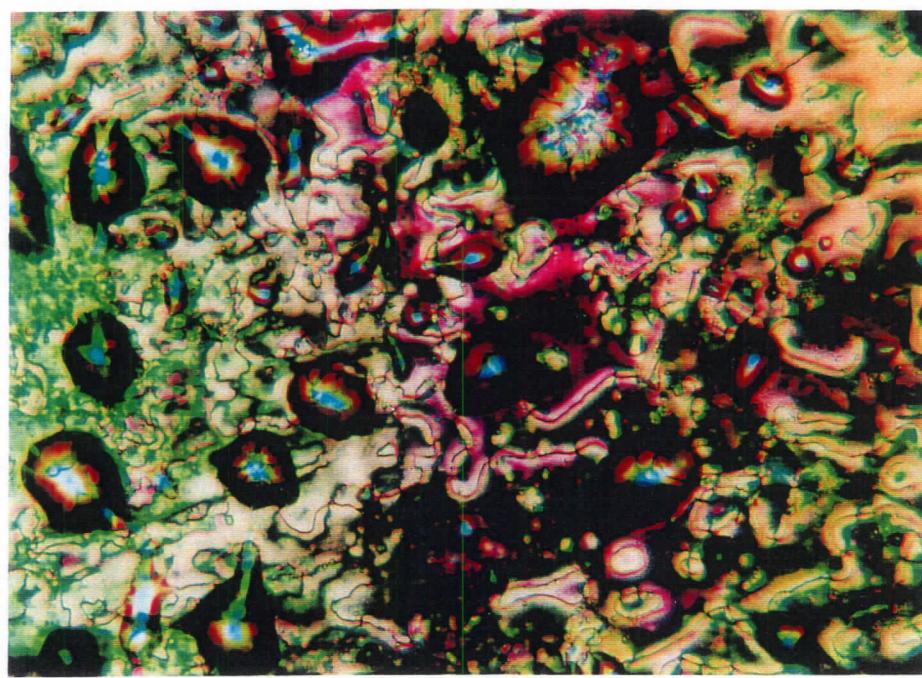


sl. 7.2.7. SA - poligonalna tekstura ( $t = 78,5 \text{ } ^\circ\text{C} \uparrow$ )

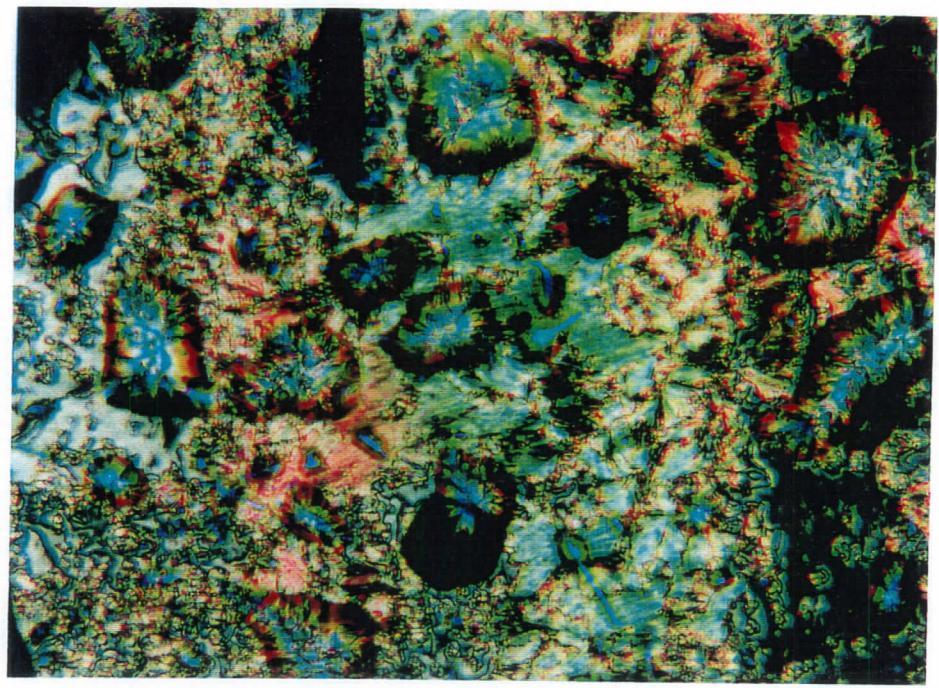
---



sl. 7.2.8. SA - poligonalna → N - tekstura linija (schlieren) ( $t = 83^{\circ}\text{C} \uparrow$ )



sl. 7.2.9. N - tekstura linija (schlieren) ( $t = 84,2^{\circ}\text{C} \uparrow$ )



sl. 7.2.10. SC-tekstura linija (schlieren) → SG-mozaička tekstura ( $t = 52,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



sl. 7.2.11. SG - mozaička tekstura ( $t = 43,1 \text{ } ^\circ\text{C} \downarrow$ )

---

### **7.3 Rezultati dobijeni metodom difrakcije X-zraka**

Za snimanje difrakcionih spektara neorijentisanih uzoraka korišćen je automatski difraktometar PHILIPS PW 1373 na koji je montiran grejač uzorka. Kao element za grejanje korišćena je platinska traka u čijem se centru nalazio Pt - 10 %, RhPt termopar. Kontrola temperature vršila se preko HTK uređaja za grejanje (ANTON PAAR). Maksimalna greška bila je  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Korišćeno je Cu(K $\alpha$ ) ( $\lambda = 0,1542 \text{ nm}$ ) zračenje, sa filterom od nikla pri naponu od 30 kV i jačini struje od 30 mA. Difrakcija X - zraka na kristalnom prahu neorijentisanih uzoraka snimana je u oblasti uglova  $2\theta$  od  $2^{\circ}$  do  $35^{\circ}$  pri osetljivosti od  $1 \times 10^3$  impulsa/pun otklon pera na pisaču.

- a) Za uzorak U<sub>1</sub> snimljeno je sedam difraktograma sl. 7.3.1. i sl. 7.3.2. Podaci o uglovima, izračunate vrednosti odgovarajućih međuravanskih rastojanja i molekulskih parametara tečnih kristala kao i njihove greške  $\delta(d)$ , dati su u tabelama 7.3.1. i 7.3.2.

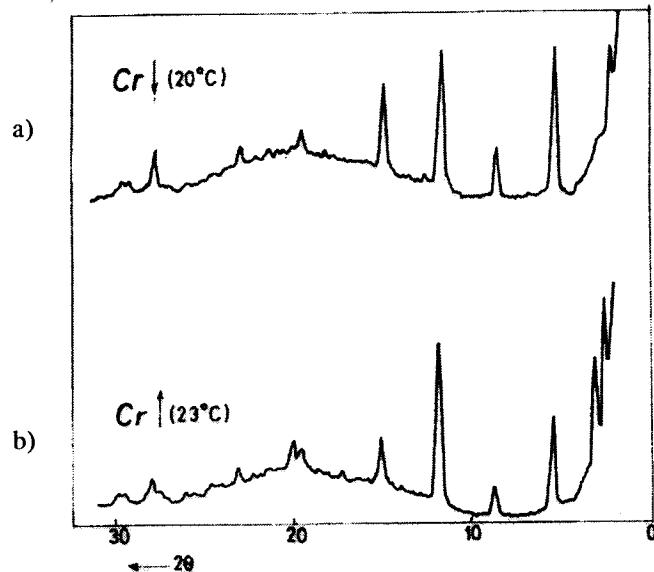
Molekulski parametri tečnih kristala računati su na osnovu Bragovog zakona:

$$n\lambda = 2x \sin \theta$$

gde je  $x=d$  (međuravansko rastojanje),  $x=d_s$  (srednja debljina smektičkih slojeva), odnosno  $x=D$  (srednje lateralno rastojanje između paralelnih dugih osa molekula).

Greške merenja su računate na osnovu obrasca:

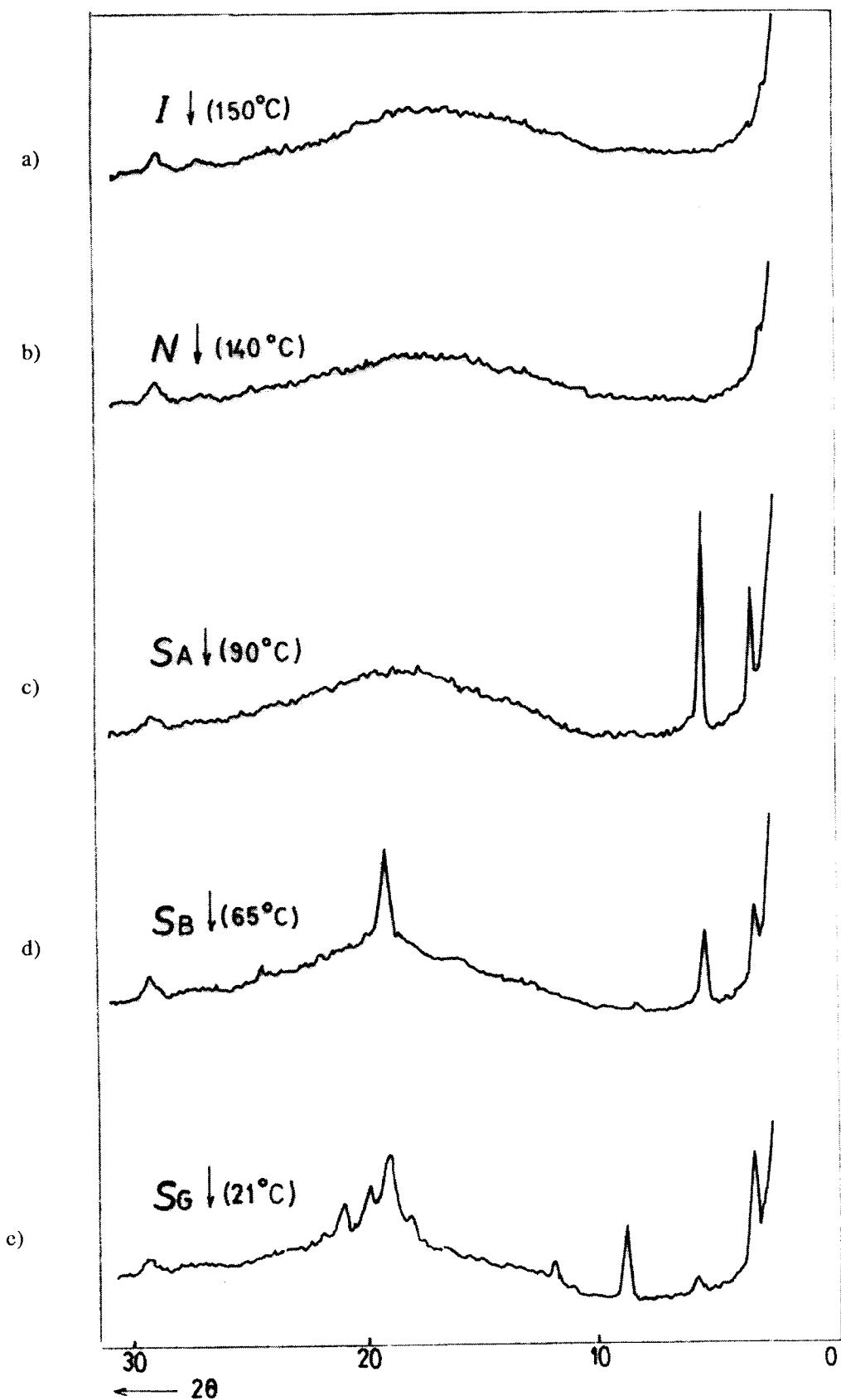
$$\delta(d) = \frac{d(d)}{d(\theta)} = \frac{\lambda \cdot \cos \theta}{2 \cdot \sin^2 \theta} \cdot \Delta \theta \left( \frac{\pi}{180^{\circ}} \right)$$



sl. 7.3.1. Difrakcionala slika kristalne faze uzorka U<sub>1</sub>

Tabela 7.3.1. Podaci difrakcije X-zraka kristalne faze uzorka U<sub>1</sub>

	t	2θ [ ° ]	θ [ ° ]	d[nm]	δ(d)[nm]
Cr ↑	23°C	2,9	1,45	3,043	0,0105
		3,4	1,7	2,5955	0,0076
		5,7	2,85	1,5486	0,0027
		8,8	4,4	1,0366	0,0011
		11,9	5,95	0,7428	0,0006
		15	7,5	0,5899	0,0004
		19,4	9,7	0,457	0,0002
		19,8	9,9	0,4478	0,0002
		22,9	11,45	0,3879	0,0002
		24,4	12,2	0,3644	0,0001
		25,8	12,9	0,3449	0,0001
		27	13,5	0,3298	0,0001
		27,2	13,6	0,3275	0,0001
		27,5	13,75	0,3239	0,0001
		29,1	14,55	0,3065	0,0001
Cr ↓	20°C	2,7	1,35	3,2683	0,0121
		3,3	1,65	2,6742	0,0081
		5,7	2,85	1,5486	0,0027
		8,8	4,4	1,0366	0,0011
		11,9	5,95	0,7428	0,0006
		15	7,5	0,5899	0,0004
		19,5	9,75	0,4547	0,0002
		22,8	11,4	0,3896	0,0002
		27,5	13,75	0,3239	0,0001
		28,9	14,45	0,3086	0,0001
		29,3	14,65	0,3044	0,0001



sl. 7.3.2 Difrakciona slika mezofaza uzorka  $U_1$

**Tabela 7.3.2. Vrednosti meduravanskih rastojanja i tečno-kristalnih molekulskeih parametara uzorka U,**

	t	2θ [ ° ]	θ [ ° ]	d[nm]	δ(d)[nm]	d <sub>s</sub> [nm]	D[nm]
I	150°C	3,1	1,55	2,8466	0,0092	2,8466	
		16,6	8,3	0,5334	0,0003		0,5334
N ↓	140°C	3,1	1,55	2,8466	0,0092	2,8466	
		17,5	8,75	0,5062	0,0003		0,5062
SA ↓	90°C	3,3	1,65	2,6742	0,0081	2,6742	
		5,6	2,8	1,5763	0,0028		
		18,6	9,3	0,4765	0,0002		0,4765
SB ↓	65°C	3,3	1,65	2,6742	0,0081	2,6742	
		5,4	2,7	1,6346	0,0030		
		19,2	9,6	0,4617	0,0002		0,4617
		21,8	10,9	0,4072	0,0002		
		24,5	12,25	0,3629	0,0002		
SG ↓	21°C	29,3	14,65	0,3044	0,0001		
		3,4	1,7	2,5955	0,0076	2,5955	
		5,6	2,8	1,5763	0,0028		
		8,8	4,4	1,0366	0,0011		
		11,9	5,95	0,7428	0,0006		
		18,1	9,05	0,4895	0,0003		
		19,0	9,5	0,4665	0,0002		
		19,9	9,95	0,4456	0,0002		0,4456
		21,1	10,55	0,4205	0,0002		
		29,3	14,65	0,3044	0,0001		

Slika 7.3.1.a i sl. 7.3.1.b prikazuju difraktograme kristalne faze pre grejanja uzorka na temperaturi  $t = 23^{\circ}\text{C}$  i nakon hlađenja uzorka na temperaturi  $t=20^{\circ}\text{C}$ . Pikovi se na oba difraktograma podudaraju što ukazuje na to da nije došlo do prekristalizacije tj. pojave neke druge kristalne modifikacije.

Na sl. 7.3.2.a dat je difraktogram izotropne faze na temperaturi  $t=150^{\circ}\text{C}$ . Vidi se samo jedan širok difuzni maksimum pri većim uglovima ( $\approx 20^{\circ}\text{C}$ ). To je posledica neuređenosti tečne faze.

Slika 7.3.2.b prikazuje difraktogram nematske faze na temperaturi  $t = 140^{\circ}\text{C}$ . On je sličan difraktogramu u izotropnoj fazi. Vidi se širok difuzni maksimum na većim uglovima što je posledica uređenja dugih osa molekula u istom pravcu. D koje odgovara sredini ovog maksimuma predstavlja srednje lateralno rastojanje između dugih osa molekula i iznosi  $D = 0,5062 \text{ nm}$ . Pik na malim uglovima je slabo izražen

---

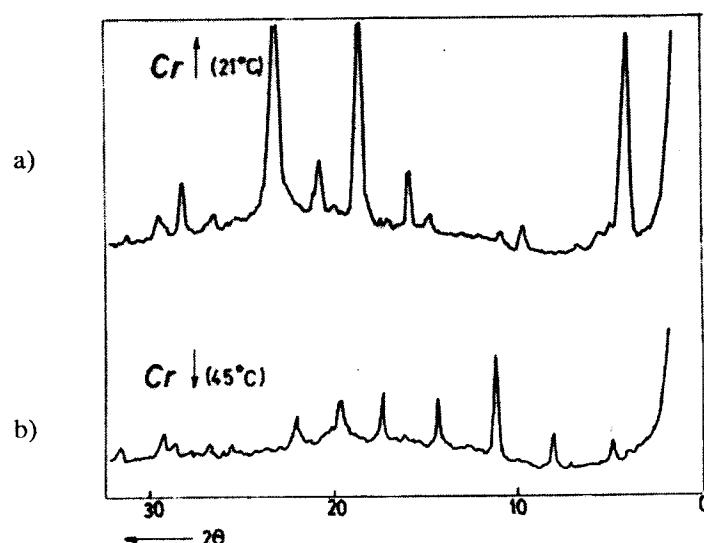
zbog neuređenosti centara mase, a njegov položaj određuje srednju dužinu molekula. Ona iznosi  $l = 2,8466$  nm.

Na sl. 7.3.2.c dat je difraktogram smektičke faze A tipa na temperaturi  $t = 90$  °C. Širok difuzni maksimum na većim uglovima ukazuje da ni ova faza nema uređenost duž sloja. Izražen pik na malim uglovima indicira periodičnu strukturu slojeva a njegov položaj određuje debljinu smektičkih slojeva  $d_s = 2,6742$  nm. Činjenica da debljina smektičkog sloja nije jednaka dužini molekula ukazuje na prodiranje krajeva molekula jednog sloja u prazan prostor između molekula susednog sloja. Odsustvo drugih pikova potvrđuje da je u pitanju smektička faza A tipa.

Slika 7.3.2.d pokazuje difraktogram smektičke faze B tipa na temperaturi  $t = 65$  °C. Položaj pika na malim uglovima odgovara položaju tog pika kod SA faze što znači da ni u SB fazi molekuli nisu nagnuti. Izražen pik na većim uglovima je karakterističan za SB fazu i ukazuje da postoji heksagonalno uređenje centara mase molekula duž slojeva.

Na sl. 7.3.2.e dat je difraktogram smektičke faze G tipa na temperaturi  $t = 21$  °C. Iz položaja pikaa na malim uglovima uočavamo da je debljina smektičkog sloja ( $d_s = 2,5955$  nm) manja nego kod SA i SB faze što znači da su molekuli nagnuti. Ugao nagiba dugih osa molekula u odnosu na ravan sloja je  $\omega_1 \approx 24^\circ$ . Pojava niza manje izraženih pikova oko centralnog pika na većim uglovima potvrđuje da je u pitanju smektička faza G tipa.

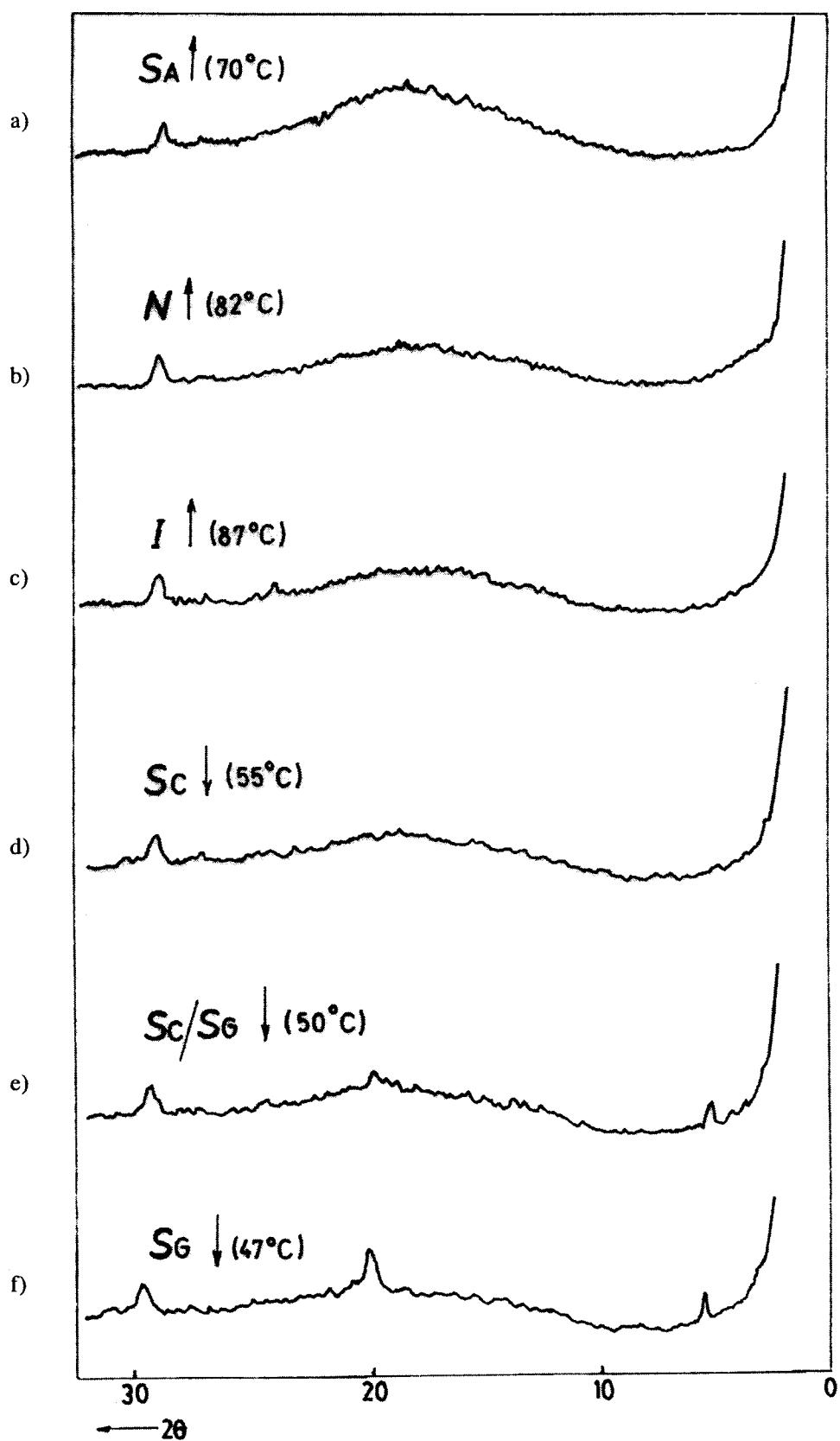
- b) Za uzorak U<sub>2</sub> snimljeno je osam difraktograma sl. 7.3.3. i sl. 7.3.4. Podaci o uglovima, izračunate vrednosti odgovarajućih međuravanskih rastojanja, tečno-kristalnih molekulskih parametara, kao i njihove greške date su u tabelama 7.3.3. i 7.3.4.



sl. 7.3.3. Difrakciona slika kristalne faze uzorka U<sub>2</sub>

Tabela 7.3.3. Podaci difrakcije X-zraka kristalne faze uzorka U<sub>2</sub>

	t	2θ [°]	θ [°]	d [nm]	δ(d)[nm]
Cr ↑	21°C	4,9	2,45	1,8013	0,0037
		10,2	5,1	0,8662	0,0008
		16,2	8,1	0,5465	0,0003
		18,9	9,45	0,4690	0,0002
		21	10,5	0,4225	0,0002
		23,3	11,75	0,3781	0,0002
		26,5	13,25	0,3359	0,0001
		28,1	14,05	0,3075	0,0001
		29,3	14,65	0,3044	0,0001
Cr ↓	45°C	3,1	1,55	2,8466	0,0092
		5,5	2,75	1,6049	0,0029
		8,6	4,3	1,0270	0,0012
		11,6	5,8	0,7620	0,0007
		14,7	7,35	0,6019	0,0004
		17,1	8,55	0,5179	0,0003
		19,8	9,9	0,4479	0,0002
		26,8	13,4	0,3323	0,0001
		28,5	14,25	0,3128	0,0001
		29,1	14,55	0,3065	0,0001



sl. 7.3.4. Difrakciona slika mezofaze uzorka  $U_2$

**Tabela 7.3.4. Vrednosti međuravanskih rastojanja i tečno-kristalnih molekulskeih parametara uzorka U<sub>2</sub>**

	t	2θ [°]	θ [ ° ]	d [ nm ]	δ(d)[nm]	d <sub>s</sub> [nm]	D[nm]
SA ↑	70°C	3,2	1,6	2,7577	0,0086	2,7577	
		19	9,5	0,4665	0,0002		0,4665
N ↑	82°C	3,2	1,6	2,7577	0,0086	2,7577	
		18,8	9,4	0,4714	0,0003		0,4714
I	87°C	3,1	1,55	2,8466	0,0092	2,8466	
		18	9	0,4922	0,0003		0,4922
Sc ↓	55°C	3,3	1,65	2,6742	0,0081	2,6742	
		19,4	9,7	0,4570	0,0002		0,4570
S c/ SG ↓	50°C	3,2	1,6	2,7577	0,0086	2,7577	
		5,6	2,8	1,5763	0,00		
		19,8	9,9	0,4479	0,0002		0,4479
		24,4	12,2	0,3644	0,0001		
SG ↓	47°C	3,3	1,65	2,6742	0,0081	2,6742	
		5,5	2,75	1,6049	0,0029		
		19,8	9,9	0,4479	0,0002		0,4479

Na sl. 7.3.3.a dat je difraktogram kristalne faze na temperaturi  $t = 21^{\circ}\text{C}$  snimljen pre zagrevanja uzorka.

Na sl. 7.3.3.b dat je difraktogram kristalne faze na temperaturi  $t = 45^{\circ}\text{C}$  (u hlađenju). Vidimo da se položaj i intenzitet pikova na ovom difraktogramu razlikuje od onih na sl. 7.3.3.a što ukazuje da uzorak na  $45^{\circ}\text{C}$  kristališe u nekoj Cr(II) modifikaciji da bi na sobnoj temperaturi prešao u prvobitnu modifikaciju Cr(I).

Slika 7.3.4.a prikazuje difraktogram smektičke faze A tipa na temperaturi  $t = 70^{\circ}\text{C}$  (u grejanju - ↑). Pik na malim uglovima, iako nedovoljno izražen, indicira periodičnu strukturu slojeva a njegov položaj određuje debljinu smektičkog sloja  $d_s = 2,7577 \text{ nm}$ . Širok difuzni maksimum na većim uglovima ukazuje da ova faza ne poseduje uređenost duž slojeva. Odsustvo drugih pikova i visoka temperatura potvrđuju da je u pitanju SA faza.

Na sl. 7.3.4.b vidimo difraktogram nematske faze na temperaturi  $t = 82^{\circ}\text{C}$  (u grejanju). Slabo izražen pik na malim uglovima ukazuje da ne postoji uređenost centara mase, a njegov položaj određuje dužinu molekula  $l = 2,7577 \text{ nm}$ . Širok difuzni maksimum na većim uglovima govori o lokalnom uređenju dugih osa molekula u istom pravcu. D koje odgovara sredini ovog difuznog maksimuma predstavlja srednje rastojanje između dugih osa molekula  $D = 0,4714 \text{ nm}$ .

---

Na sl. 7.3.4.c dat je difraktogram izotropne faze na temperaturi  $t = 87^\circ\text{C}$ . Osim širokog difuznog maksimuma na većim uglovima nema drugih pikova što je posledica neuređenosti izotropne faze.

Slika 7.3.4.d prikazuje difraktogram smektičke faze C tipa na temperaturi  $t = 55^\circ\text{C}$  (u hlađenju -  $\downarrow$ ). Iz položaja pika na malim uglovima dobijamo da je debljina smektičkog sloja u ovoj fazi  $d_s = 2,6742 \text{ nm}$ , što je manje od debljine smektičkog sloja u SA fazi. To ukazuje da su molekuli u smektičkoj fazi C tipa nagnuti, a ugao nagiba je  $\omega \approx 14^\circ$ . Širok difuzni maksimum na većim uglovima pokazuje da ni u ovoj fazi ne postoji uređenost duž slojeva.

Na sl. 7.3.4.e dat je difraktogram prelaza između smektičke faze C tipa i smektičke faze G tipa na temperaturi  $t = 50^\circ\text{C}$  (u hlađenju). Iz položaja pika na malim uglovima dobijamo da je debljina smektičkog sloja  $d_s = 2,7577 \text{ nm}$  tj. veća od one u čistoj Sc fazi. Pošto je u pitanju prelaz iz faze koja nema uređenost duž slojeva (Sc) u fazu kod koje postoji uređenost unutar sloja (SG), može se prepostaviti da dolazi do preorientacije molekula usled čega se smektički slojevi šire. Pojava slabo izraženog pika na većim uglovima ukazuje da je u pitanju prelaz u SG fazu.

Slika 7.3.4.f prikazuje difraktogram smektičke faze G tipa na temperaturi  $t = 47^\circ\text{C}$  (u hlađenju). Iz položaja pika na malim uglovima dobijamo debljinu smektičkog sloja  $d_s = 2,6742 \text{ nm}$  jednaku onoj u Sc fazi i manju od debljine smektičkog sloja u SA fazi što ukazuje na nagnutost molekula. Na većim uglovima imamo izražen pik koji je posledica uređenosti molekula unutar sloja što je karakteristika SB i SG faze. Niz manje izraženih pikova oko centralnog ukazuje da je u pitanju smektička G mezofaza.

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitana su svojstva dve termotropne tečno-kristalne supstancije:

4 - (2 - metilbutil) fenil 4' n - heptilbifenil - 4 - karboksilat ( $U_1$ ) čiji je fazni dijagram

**I** 147,2 °C **N** 137 °C **SA** 67 °C **SB** 57 °C **SG** 40 °C **Cr**

i 4'n - pentil - fenil - 4 - n - decikloksi - tiobenzoat ( $U_2$ ) sa faznim dijagramom:

**Cr** 65,5 °C **SA** 82 °C **N** 85 °C **I** 85 °C **N** 82 °C **SA** 65 °C **SC** 50 °C **SG**

Supstancije su ispitane metodama polarizacione mikroskopije i difrakcije X-zraka na kristalnom prahu neorijentisanih uzoraka. Na osnovu dobijenih rezultata tumačena su optička i strukturalna svojstva pojedinih mezofaza.

Na bazi podataka polarizacione mikroskopije utvrđena je planarna tekstura linija (schlieren) nematske faze. Kako nematska faza poseduje uređenost dugih osa molekula u istom pravcu, na osnovu podataka dobijenih difrakcijom X-zraka za  $2\theta$  vrednosti maksimuma širokog difuznog pika, koji se kreće u intervalu od  $12^\circ$  do  $25^\circ$ , utvrđeno je srednje lateralno rastojanje između dugih osa molekula  $D_1 = 0,5062$  nm i  $D_2 = 0,4714$  nm za  $U_1$  i  $U_2$ , respektivno. Slabo izraženi difrakcionalni pik na malim uglovima ukazuje da ne postoji uređenost centara mase molekula. Na osnovu  $2\theta$  vrednosti pika izračunata je srednja dužina molekula  $l_1 = 2,8466$  nm i  $l_2 = 2,7577$  nm za  $U_1$  i  $U_2$ , respektivno.

U slučaju smektičke A mezofaze koja ima slojevitu strukturu, na bazi podataka difrakcije X-zraka iz  $2\theta$  vrednosti pri malim uglovima, utvrđena je debljina smektičkih slojeva  $d_{s1} = 2,6742$  nm i  $d_{s2} = 2,7577$  nm za  $U_1$  i  $U_2$ , respektivno. Duge ose molekula su normalne na ravan sloja, ne postoji uređenost centara mase molekula unutar sloja. Srednje lateralno rastojanje između dugih osa molekula je  $D_1 = 0,4765$  nm i  $D_2 = 0,4665$  nm za  $U_1$  i  $U_2$ , respektivno. Mikroskopska slika smektičke A mezofaze pokazuje neplanarne teksture, kao što su poligonalna i lepezasta (fan-like).

Smektička B mezofaza uzorka  $U_1$  poseduje slojevitu strukturu. Debljina smektičkog sloja je  $d_s = 2,6742$  nm. Duge ose molekula su normalne na ravan sloja i postoji heksagonalna uređenost centara mase molekula unutar sloja. Srednje lateralno

---

rastojanje između dugih osa molekula je  $D = 0,4617$  nm. Mikroskopska slika ove mezofaze pokazuje mozaičku teksturu.

Smektička mezofaza C uzorka U<sub>2</sub> ima slojevitu strukturu, a debljina smektičkih slojeva je  $d_s = 2,6742$  nm. Duge ose molekula su nagnute u odnosu na normalu na ravan sloja za ugao  $\omega \approx 14^\circ$ . Srednje lateralno rastojanje između paralelnih dugih osa molekula D iznosi 0,4570 nm. Ne postoji uređenost centara mase molekula unutar sloja. Mikroskopska slika smektičke C mezofaze pokazuje teksturu linija (schlieren).

Smektička mezofaza G ima slojevitu strukturu sa debljinom smektičkih slojeva  $d_{s1} = 2,5955$  nm i  $d_{s2} = 2,6742$  nm za U<sub>1</sub> i U<sub>2</sub>, respektivno. Duge ose molekula su nagnute za ugao  $\omega_1 \approx 24^\circ$  i  $\omega_2 \approx 14^\circ$  za U<sub>1</sub> i U<sub>2</sub>, respektivno. Postoji pseudoheksagonalna uređenost centara mase molekula unutar sloja. Mikroskopska slika smektičke G pokazuje vrlo izraženu mozaičku teksturu.

Analiza dobijenih molekulskih parametara tečnih kristala (tabela 7.3.2. i 7.3.4.) pokazuje da sa povećanjem temperature raste i vrednost srednjeg lateralnog rastojanja između paralelnih dugih osa molekula. To je posledica slabljenja veza između molekula usled termičkih fluktuacija.

---

## 9. L I T E R A T U R A

- [1] F. Renitzer / Monatsh 9 (1888) 421
  - [2] O. Lehmann / Ann. Physik. 27 (1908) 213
  - [3] O. Lehmann / Ann. Physique 27 (1908) 1099
  - [4] G. Fridel / Ann. Physique 18 (1922) 273
  - [5] G. H. Heilmeir / Mol. Cryst. Liq. cryst. 8 (1969) 293
  - [6] I. L. Fergasson / Sci. Am. 211 (1964) 76
  - [7] P. G. de Gennes / Solid State Comm. 6 (1968) 163
  - [8] P. G. de Gennes / The Physics of Liquid Crystals. Clarendon Press. Oxford (1974)
  - [9] H. Arnold / Zs. Phys. Chem. (Leipzig) 226 (1964) 146
  - [10] L. S. Orstein and W. Kast / Trans. Faraday Soc. 29 (1933) 931
  - [11] F. G. Frank / Disc. Faraday Soc. 25 (1958) 19
  - [12] A. S. Sonin / Vedenie v fiziku židkih kristalov, Nauka, Moskva (1983)
  - [13] G. W. Gray, P. A. Winsor / Liq. Crys. and Plast. Crys., vol. 2, J. Wiley and Sons Limited (1974)
  - [14] A. P. Kapustin / Eksperimental. isledovanija židkih kristalov., Nauka, Moskva (1978)
  - [15] D. Coates, G. W. Gray / Physic. Letters 45A (1973) 115
  - [16] S. Diele, P. Brand, H. Sachmann / Mol. Cryst. Liquid Cryst. 17 (1972) 163
  - [17] D. Demus, S. Diele, M. Klapperstuck, V. Link, H. Zachke / Mol. Cryst. Liq. Cryst. 15 (1971) 161
  - [18] H. Sachmann / J. Physique, Colloq. 40 (1979) C 3-5
  - [19] S. Diele, D. Demus, A. Echpermeyer, U. Preukschas / Acta Physica Polon. A55 (1979) 125
  - [20] D. Demus, L. Richter, Textures of Liquid Crystals, WEB Leipzig (1980)
  - [21] J. Nehring, A Saupe, J. chem. Soc. Faraday Trans. II 68, (1972) 1
  - [22] A. Saupe, Mol. Cryst. Liqu. Cryst. 21 (1973) 211
  - [23] H. Sackmann, D. Demus, Mol. Cryst. 21 (1973) 239
  - [24] Y. Bouligand, J. Physique 33 (1972) 715
  - [25] Y. Bouligand, J. Physique 34 (1972) 603
  - [26] Y. Bouligand, J. Microscopie (Paris) 17 (1973) 145
  - [27] G. W. Stewart, Phys. Rev. 38 (1931) 931
  - [28] G. W. Stewart, Trans. Faraday Soc. 29 (1933) 982
  - [29] B .K. Vainshtein, Diffraction of X-rays by Chain Molecules, Elsvier, Amsterdam (1966)
  - [30] A. M. Levelut and M. C. Lambert, R. Hebd. Séanc. A cad. sci., Paris, 272 (1971) 1018
  - [31] D. Ž. Obradović, L. Bata, T. Thót-Katona, A. Bota, K. Fodor-Csorba, A. Vajda and M. Stančić; Mol. Cryst. Liq. Cryst. 303 (1997) 85.
  - [32] I.G. Chistyakov, L. S. Schabishev, R. I. Jarenov and L. A. Gusakova, Liquid Crystals 2, Gordon & Breach, New York (1968), Part II, P. 813.
  - [33] D. Demus, S. Diele, M. Klapperstuck, V. Link an H. Zaschice, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 15 (1971) 161.
  - [34] D. Catalano, E. Ciampi, K. Fodor-Csorba, C. Forte, M. Geppi and D. Imbardelli, Liq. Crys. 21 (1996) 927
-

- 
- [35] D. Ž. Obradović, L. Bata, T. Thót-Katona, K. Fodor-Csorba, A. Vajda;  
Rev. Res. Fac. Sci. Univ. of Novi Sad, 26 (1996) 47

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- Redni broj:  
RBR
- Identifikacioni broj:  
IBR
- Tip dokumentacije: *Monografska dokumentacija*  
TD
- Tip zapisa: *Tekstualni štampani materijal*  
TZ
- Vrsta rada: *Diplomski rad*  
VR
- Autor: *Marija Bošnjak, br.dos. 377/86*  
AU
- Mentor: *Dr Dušanka Ž. Obadović, vanr. profesor, PMF, Novi Sad*  
MN
- Naslov rada: *Optička i strukturalna svojstva nekih smektičkih tečno-kristalnih supstancija*  
NR
- Jezik publikacije: *Srpski (latinica)*  
JP
- Jezik izvoda: *Srpski*  
JI
- Zemlja publikovanja: *Jugoslavija*  
ZP
- Uže geografsko područje: *Vojvodina*  
UGP
- Godina: *1998.*  
GO
- Izdavač: *Autorski reprint*  
IZ
- Mesto i adresa: *Prirodno-matematički fakultet,  
Trg Dositeja Obradovića 4, 21000 Novi Sad*  
MA
- Fizički opis rada: *(9/44/35/4/28/4/0)*  
FO
- Naučna oblast: *Fizika*  
NO

- Naučna disciplina: *Fizika kondenzovane materije*  
ND
- Predmetna odrednica / ključne reči:  
*smeški tečni kristali,*  
*difrakcija X zraka,*  
*teksture mezofaza tečnih kristala,*  
*molekulski parametri tečnih kristala*  
PO
- Čuva se: *Biblioteka Instituta za fiziku, PMF, Novi Sad*
- Izvod: *U radu je izvršeno ispitivanje optičkih i strukturnih svojstava termotropnih smeških tečno-kristalnih supstancija. Ispitivanja su vršena metodama polarizacione mikroskopije i difrakcije X zraka na kristalnom prahu neorientisanih uzoraka. Utvrđeni su fazni dijagrami. Posebna pažnja posvećena je teksturama smeških A, B, C, G kao i nematske mezofaze: tekstura linija (schlieren), poligonalna, mozaička i tekstura lepeza (fan-like). Odredjeni su tečno-kristalni molekulski parametri: l (srednja dužina molekula), d<sub>s</sub> (srednja debljina smeških slojeva) i D (srednje lateralno rastojanje izmedju paralelnih dugih osa molekula).*  
IZ
- Datum prihvatanja teme od strane Veća: *28.06.1998.*  
DP
- Datum odbrane: *07.09.1998.*  
DO
- Članovi komisije:  
Predsednik:  
*Dr Vladimir Divjaković, redovni profesor, PMF, Novi Sad*  
Članovi:  
*Dr Dušan Lazar, docent, PMF, Novi Sad*  
*Dr Dušanka Ž. Obadović, vanr. profesor, PMF, Novi Sad*  
KO