

# NOMENKLATURA I TERMINOLOGIJA iz područja polimera i polimernih materijala, IV.

## DEFINICIJE OSNOVNIH POJMOVA KOJI SE ODNOSI NA NISKOMOLEKULSKE I POLIMERNE KAPLJEVITE KRISTALE

Preporuke IUPAC 2001.  
Preporuke HDKI i HKD 2005.

Preveli

RADIVOJE VUKOVIĆ  
GROZDANA BOGDANIĆ  
ANA ERCEG KUZMIĆ

Recenzenti

DRAGUTIN FLEŠ  
IVAN ŠMIT

## SADRŽAJ

1. Uvod . . . . .	517
2. Opće definicije . . . . .	518
3. Vrste mezofaza . . . . .	523
4. Tekstura i nepravilnosti (defekti) . . . . .	532
5. Fizikalne karakteristike kapljeviti kristala . . . . .	536
6. Kapljeviti kristalni polimeri . . . . .	542
7. Literatura . . . . .	544
8. Abecedno kazalo naziva. . . . .	545
9. Tumač preporučenih kratica i oznaka . . . . .	548

## PREDGOVOR HRVATSKOM IZDANJU\*

Dosad je na hrvatski jezik prevedeno šesnaest IUPAC-ovih izvještaja o nomenklaturi i terminologiji iz područja polimera i polimernih materijala (devet nomenklatura, sedam terminologija). U međuvremenu je prevedeno pet novih IUPAC-ovih izvještaja od kojih tri obrađuju terminologiju, a dva nomenklaturu. Naslovi izvještaja su sljedeći:

1. Definicije osnovnih pojmova koji se odnose na niskomolekulske kapljevite kristale i kapljevite kristalne polimere (IUPAC-ove preporuke 2001.)
2. Definicije pojmova koji se odnose na polimerne kapljevite kristale (IUPAC-ove preporuke 2001.)
3. Definicije koje se odnose na stereokemijski asimetrične polimerizacije (IUPAC-ove preporuke 2001.)
4. Generička nomenklatura polimera na osnovi njihova poddijetla (IUPAC-ove preporuke 2001.)
5. Nomenklatura pravilnih jednonitnih organskih polimera (IUPAC-ove preporuke 2001.)

Kapljeviti kristalni materijali u posljednje se vrijeme često istražuju i sve više primjenjuju kao visokokvalitetni polimeri i kao elektronički dijelovi. U izvještajima 1. i 2. prvi se puta na hrvatskom jeziku opisuju, definiraju i imenuju pojmovi za područje niskomolekulskih kapljevityh kristala i polimernih kapljevityh kristala. U izvještaju 3. sakupljene su definicije termina o procesima asimetričnih polimerizacija utjecajem kiralnih značajki bilo monomera, inicijatora, katalizatora ili otapala. Nova, jasnija pravila imenovanja polimera na osno-

vi njihova poddijetla opisana su u izvještaju 4. Opsežnija IUPAC-ova pravila imenovanja polimera na osnovi strukture objavljena su 1975. (hrvatski prijevod *Kem. ind.* **37** (10) (1988) B50 – B60). Tijekom višegodišnje primjene tih pravila uočeni su nedostaci, a i polimerno se područje brzo razvijalo. Objavljeni IUPAC-ov izvještaj o nomenklaturi polimera na osnovi strukture, naveden pod 5., donosi drugačiju podjelu sadržaja, manje promjene pravila, grafičke prikaze kemijskih formula i prilagodbu naziva polimera novim pravilima organske kemije.

Uz prevoditelje poboljšanju prijevoda pridonijeli su članovi Potkomisije za terminologiju i nomenklaturu makromolekula (koja je dio Zajedničke komisije za terminologiju i nomenklaturu HDKI i HDKI) M. Andreis, M. Ivanković, V. Jarm, N. Šegudović i Z. Veksli, te kao recenzenti I. Šmit, D. Fleš (za 1. i 2. izvještaj) V. Rapić i Z. Janović (za 3., 4. i 5. izvještaj).

U ovom broju objavljujemo izvještaj broj 1 (Nomenklatura i terminologija polimera, IV.). Izvještaji 2 i 3 bit će objavljeni u *Kem. Ind.* **55**, br. 1 (2006), (Nomenklatura i terminologija polimera, V.), a izvještaji 4 i 5, u *Kem. Ind.* **55**, br. 2 (2006), (Nomenklatura i terminologija polimera, VI.).

Utiranje puta domaćem stručnom nazivlju nije ni jednostavno ni konačno. To posebno vrijedi za nova područja kao što su kapljeviti kristalni materijali. Područja se razvijaju, a u primjeni se pronalaze primjereniji termini. Zato su, kao i dosada, dobrodošle sve primjedbe i prijedlozi koji bi pridonijeli poboljšanju predloženog nazivlja.

Zagreb, svibnja 2005.

V. Jarm

\* Prethodno objavljeni tekstovi iz Nomenklature i terminologije iz područja polimera i polimernih materijala u našem časopisu:

I. *Kem. Ind.* **37** (10) (1988) B50–B60.  
II. *Kem. Ind.* **42** (2) (1993) B1–B37.  
III. *Kem. Ind.* **47** (12) (1998) B1–B56.

## Međunarodna unija za čistu i primijenjenu kemiju (IUPAC)

### Komisija za nomenklaturu makromolekula\*

# Definicije osnovnih pojmova koji se odnose na niskomolekulske i polimerne kapljevite kristale\*\*

Preporuke IUPAC 2001  
Preporuke HDKI i KD 2005.

Priredio:

M. Barón

(*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina*)

Preveli:

R. Vuković, G. Bogdanić i A. Erceg Kuzmić

INA – Industrija nafte d.d., Sektor istraživanja i razvoja, Lovinčićeva bb, p.p. 555, 10000 Zagreb

**Sažetak:** Ovo je prvi objavljeni dokument IUPAC-ove Komisije za nomenklaturu makromolekula koji obrađuje specifično područje kapljevite kristale. Zbog opsežnosti je pripremljen u suradnji s Međunarodnom udrugom za kapljevite kristale.

Dokumentom je definirano pojmovlje koje se odnosi na niskomolekulske kapljevite kristale i kapljevite kristalne polimere. Obuhvaća temeljne definicije pojmova koji su uvriježeni u području kapljevite kristale i polimerne znanosti.

\* Ovaj dokument izradila je sljedeća radna skupina:

C. Noël (Francuska); V. P. Shibaev (Rusija); M. Barón (Argentina); M. Hess (Njemačka); A. D. Jenkins (Velika Britanija); J. Il. Jin (Koreja); A. Sirigu (Italija); R. R. T. Stepto (Velika Britanija); i W. J. Work (SAD); uz sudjelovanje članova Međunarodne udruge za kapljevite kristale: G. R. Luckhurst (Velika Britanija); S. Chandrasekhar (Indija); D. Demus (Njemačka); J. W. Goodby (Velika Britanija); G. W. Gray (Velika Britanija); S. T. Lagerwall (Švedska); O. D. Lavrentovich (SAD); M. Schadt (Švicarska).

Članovi Komisije koji su sudjelovali u pripremi ovog dokumenta (1987. – 1997.):

**Naslovni članovi:** G. Allegra (Italija, do 1990.); R. E. Bareiss (Njemačka, do 1994.); M. Barón (Argentina, nacionalni predstavnik od 1988., pridruženi član od 1992., naslovni član od 1996.); N. M. Bikales (SAD, tajnik do 1988.); K. Hatada (Japan, pridruženi član od 1988., naslovni član od 1990.); J. Kahovec (Češka, pridruženi član od 1988., naslovni član od 1992.); P. Kratochvíl (Češka, predsjednik sekcije do 1992.); E. Maréchal (Francuska, pridruženi član od 1992.; naslovni član od 1994.); W. V. M. tannomski (SAD, pridruženi član od 1988., naslovni član od 1992.); I.

Pojmovi su podijeljeni u pet poglavlja koja obrađuju: opće definicije stanja kapljevite kristale i mezomorfna stanja, vrste mezofaza, optičku teksturu i nepravilnosti kapljevite kristale, fizikalne karakteristike (uključujući elektro-optička i magnetno-optička svojstva), i na kraju kapljevite kristalne polimere. Odabrani se pojmovi najčešće rabe pri standardnim strukturnim, termičkim i elektro-optičkim karakterizacijama kapljevite kristalne materijala.

**Ključne riječi:** Niskomolekulske kapljevite kristale, polimerni kapljevite kristale, definicije, osnovni pojmovi

## 1. UVOD

Ovim dokumentom definirani su osnovni pojmovi koji se primjenjuju u području kapljevite kristale i polimerne znanosti (vidi referencije 1 – 39) i prva je publikacija Komisije za nomenklaturu makromolekula koja obrađuje kapljevite kristale.

Preporuke koje se odnose na nazivlje niskomolekulske kapljevite kristale i kapljevite kristalne polimere rezultat su suradnje IUPAC-ove Komisije za nomenklaturu makromolekula, Radna skupina IV. I i Međunarodne udruge za kapljevite kristale. Budući je većina pojmova zajednička za oba razreda kapljevite kristale, dokument nije podijeljen na poglavlja u kojima se posebno opisuju ta dva razreda. Nakon općih definicija (poglavlje 2) slijede poglavlja o strukturi i optičkoj teksturi kapljevite kristale (poglavlja 3 i 4), njihovim fizikalnim karakteristikama (uključujući elektro-optička i magnetno-optička svojstva, poglavlje 5) i završava poglavljem o kapljevite kristalne polimerima (poglavlje 6). Čitatelju je na raspolaganju abecedno kazalo naziva i tumač preporučenih oznaka.

Definicije koje se pojavljuju u opaskama uz osnovne definicije označene su debljim pismom.

Mita (Japan, do 1990., pridruženi član do 1992.); C. Noël (Francuska, do 1994.); I. M. Papisov (SSSR, do 1988., pridruženi član do 1992.); V. P. Shibaev (Rusija, 1996., pridruženi član od 1996.); R. F. T. Stepto (Velika Britanija, pridruženi član od 1988., naslovni član od 1990., predsjednik od 1992.); U. W. Suter (Švicarska, do 1992., pridruženi član od 1992.); W. J. Work (SAD, pridruženi član od 1986., tajnik od 1988.).

**Pridruženi članovi koji su sudjelovali u pripremi dokumenta:** J. V. Alemán (Španjolska, 1996.); A. D. Jenkins (Velika Britanija, pridruženi član do 1988.); M. Hess (Njemačka, od 1996.); J.-Il. Jin (Koreja, nacionalni predstavnik od 1992., pridruženi član od 1994.); K. Matyjaszewski (SAD, 1992. – 1996.); S. Penezek (Poljska, od 1994.); S. Tripathy (SAD, do 1992.); L. Shi (Kina, 1988.–1996.). Ostali koji su pridonijeli izradi ovog dokumenta su: H. J. Coles (Velika Britanija); R. B. Fox (SAD); N. A. Platé (Rusija, nacionalni predstavnik); A. Sirigu (Italija, nacionalni predstavnik).

\*\* Definitions of Basic Terms Relating to Low-molar-mass and Polymer Liquid Crystals Pure Appl. Chem., Vol. 73, No. 5, pp. 845-895, 2001. © 2002 IUPAC.

## 2. OPĆE DEFINICIJE

### 2.1 Mezomorfno stanje *Mesomorphic state*

#### Mezomorfasto stanje *Mesomorphous state*

Stanje u kojem je stupanj molekulske sredenosti između idealne trodimenzijske sredenosti, pozicijske i orijentacijske sredenosti dugog dosega kakvu nalazimo kod krutih kristala i molekulske nesredenosti svojstvene izotropnim kapljevina, plinovima i amorfnim krutinama.

*Opaske:*

1. Iako pojam “mezomorfno stanje” ima znatno općenitije značenje nego “kapljevito kristalno stanje” (vidi definiciju 2.2), ti se nazivi često rabe kao sinonimi.
2. Pojam se upotrebljava pri opisivanju orijentacijski nesređenih kristala, kristala s nasumičnim konformacijama molekula (tj. konformacijski nesređenih kristala) te plastičnih i kapljevutih kristala (vidi definiciju 2.3).
3. Spoj koji može postojati u mezomorfnom stanju obično se naziva **mezomorfni spoj** (vidi definiciju 2.11).
4. Staklasta tvar u mezomorfnom stanju naziva se **mezomorfno staklo**, a nastaje npr. naglim hlađenjem ili umreženjem.

### 2.2 Kapljevito kristalno stanje *Liquid-crystal state*

#### Kapljevito kristalno stanje *Liquid-crystalline state*

**Preporučena kratica: stanje LC (LC state)**

Mezomorfno stanje orijentacijske sredenosti dugog dosega te djelomične pozicijske sredenosti, odnosno potpune pozicijske nesredenosti.

*Opaske:*

1. U stanju LC tvar pokazuje svojstva kapljevine (npr. tečnost, sposobnost oblikovanja kapi), kao i krutog kristala (npr. anizotropiju nekih fizikalnih svojstava).
2. Stanje LC pojavljuje se između krutog kristalnog i izotropnog kapljevutog stanja pri određenim promjenama, npr. temperature.

#### 2.2.1 Kapljevita kristalna faza *Liquid-crystalline phase*

**Preporučena kratica: faza LC (LC phase)**

Faza koja se pojavljuje u određenom temperaturnom području unutar stanja LC.

### 2.3 Kapljeviti kristal *Liquid crystal*

**Preporučena kratica: LC**

Tvar u stanju LC.

*Opaska:* Za nastajanje kapljevutih kristala potrebna je izrazita anizotropija oblika i interakcije molekula ili molekulskih nakupina.

### 2.4 Mezofaza *Mesophase*

Faza koja se pojavljuje u mezomorfnom stanju u određenom području temperature, tlaka ili koncentracije.

#### 2.4.1 Enantiotropna mezofaza *Enantiotropic mesophase*

Mezofaza termodinamički stabilna unutar određenog područja temperature ili tlaka.

*Opaska:*

Područje termičke stabilnosti enantiotropne mezofaze ograničeno je talištem i bistrištem spoja LC (vidi definiciju 2.6) ili bilo koja dva uzastopna mezofazna prijelaza.

#### 2.4.2 Termotropna mezofaza *Thermotropic mesophase*

Mezofaza koja nastaje zagrijavanjem krutine ili hlađenjem izotropne kapljevine, odnosno zagrijavanjem ili hlađenjem termodinamički stabilne mezofaze.

*Opaske:*

1. Pridjev “termotropno” opisuje promjenu faze promjenom temperature. Pojam “termotropno” također se može rabiti za opis tipa mezofaze (npr. termotropna nematička).
2. Do sličnih promjena može doći i promjenom tlaka. Takva se mezofaza naziva **barotropna mezofaza**.

#### 2.4.3 Liotropna mezofaza *Lyotropic mesophase*

Mezofaza koja nastaje otapanjem amfifilnog mezogena u pogodnom otapalu pri odgovarajućim uvjetima koncentracije, temperature i tlaka.

*Opaske:*

1. Bitna karakteristika liotropnih kapljevutih kristala je stvaranje molekulskih nakupina ili micela kao posljedica specifičnih interakcija molekula amfifilnih mezogena i molekula otapala.
2. Amfifilni mezogen – vidi definiciju 2.11.1.
3. Mezomorfni karakter liotropne mezofaze potječe od povećanog stupnja sredenosti otapalom induciranih micela.

Može se smatrati da su takve mezofaze posljedica srede-  
nosti unutar više molekulskih domena, a ne strukturne srede-  
nosti pojedinih molekula (kao u neamfilnoj ili termo-  
tropnoj mezofazi).

#### 2.4.4 Amfitropni spoj *Amphitropic compound*

Spoj koji se može očitovati u obliku termotropnih i liotrop-  
nih mezofaza.

Opaska:

Primjeri su negranati kalijevi alkanoati, lecitin, neki poliizo-  
cijanati, derivati celuloze s dugim bočnim lancima, kao što  
je (2-hidroksipropil)celuloza te cijanobifenilni derivati alkil-  
(trietil)amonijeva bromida.

#### 2.4.5 Monotropna mezofaza *Monotropic mesophase*

Metastabilna mezofaza koja može nastati pothlađivanjem  
izotropne kapljevine ili enantiotropne mezofaze na tempe-  
raturu nižu od tališta kristala pri određenom tlaku.

Opaska:

Temperature monotropnog prijelaza (vidi definiciju 2.5)  
označuju se okruglim zagradama, ( ).

### 2.5 Temperatura prijelaza *Transition temperature*

Preporučena oznaka:  $T_{XY}$

jedinica SI: K

Temperatura pri kojoj dolazi do prijelaza mezofaze X u me-  
zofazu Y.

Opaska:

Mezofaza X treba biti stabilna pri nižoj temperaturi od faze  
Y. Na primjer, nematičkuizotropnu temperaturu prijelaza  
treba označiti s  $T_{NI}$ .

### 2.6 Bistrište *Clearing point* Temperatura bistrenja *Clearing temperature* Temperatura izotropizacije *Isotropisation temperature*

Preporučena oznaka:  $T_{cl}$  ili  $T_i$

jedinica SI: K

Temperatura pri kojoj dolazi do prijelaza mezofaze s naj-  
višim temperaturnim područjem u izotropnu fazu.

Opaska:

Pojam se rabi samo kad nije poznat karakter mezofaze koja  
prethodi izotropnoj fazi.

### 2.7 Virtualna temperatura prijelaza *Virtual transition temperature*

Temperatura prijelaza koja nije izravno mjerljiva. U binar-  
nim se faznim dijagramima određuje ekstrapolacijom kri-  
vulje prijelaza na 100 % sadržaja određene komponente.

Opaske:

1. Virtualna je temperatura prijelaza izvan temperaturnog  
područja unutar kojeg se očekivana (mezo)faza može ek-  
sperimentalno uočiti.
2. Virtualna temperatura prijelaza nije precizno definirana;  
može na primjer ovisiti o prirodi kapljevitih kristalnih kom-  
ponenti faznog dijagrama.
3. Virtualna temperatura prijelaza označuje se uglatom za-  
gradom, [ ].

### 2.8 Entropija prijelaza *Transitional entropy*

Preporučena oznaka:  $\Delta S_{XY}$

jedinica SI: J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>

Promjena entropije pri prijelazu faze X u fazu Y.

Opaske:

1. Entropija prijelaza odražava promjenu orijentacijske i  
translacijske srede-nosti pri faznom prijelazu.
2. Faza X trebala bi biti stabilna pri nižoj temperaturi od  
faze Y.
3. Numeričke vrijednosti molarne entropije prijelaza treba-  
le bi biti izražene kao bezdimenzijske veličine  $\Delta S_{XY}/R$ , gdje  
je  $R$  plinska konstanta.

### 2.9 Temperatura divergencije *Divergence temperature* Preprijelazna temperatura *Pretransitional temperature*

Preporučena oznaka:  $T^*$

jedinica SI: K

Temperatura pri kojoj dolazi do divergencije orijentacija u  
izotropnoj fazi.

Opaske:

1. Temperatura divergencije je najniža temperatura meta-  
stabilnog pothlađenja izotropne faze.
2. Do divergencije dolazi u točki u kojoj se očekuje prijelaz  
drugog reda izotropne faze u kapljevito-kristalnu fazu, tj. ne  
očekuje se prijelaz prvog reda u kapljevito-kristalnu fazu.
3. Temperatura divergencije za nematogene može se od-  
rediti Kerrovim ili Cotton-Moutonovim učinkom, odnosno  
metodom raspršenja svjetla.



4.  $T^*$  se opaža ispod bistrišta, obično ispod 1 K za prijelaze izotropnih faza u nematičke te raste do najmanje 10 K za prijelaze izotropnih faza u smektičke.

## 2.10 Mezogena skupina *Mesogenic group*

### Mezogena jedinica *Mesogenic unit*

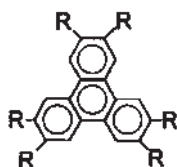
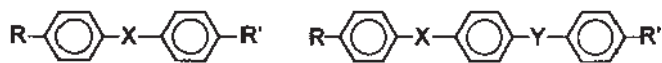
### Mezogeni dio *Mesogenic moiety*

Dio molekule ili makromolekule s anizotropijom privlačnih i odbojnih sila dovoljnom da pridonosi stvaranju mezofaze LC kod niskomolekulskih i polimernih tvari.

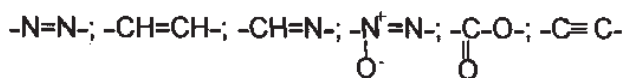
Opaske:

1. "Mezogeni" je pridjev koji se u ovom dokumentu odnosi na dijelove molekule koji zbog svojih strukturnih karakteristika omogućuju nastajanje faza LC u datom sustavu.
2. Mezogene skupine mogu biti dio kako niskomolekulskih tako i polimernih spojeva.
3. Većina se mezogenih skupina sastoji od krutih dijelova molekule oblika štapića ili diska.

Primjeri mezogenih skupina:



gdje su X i Y kovalentne vezujuće jedinice kao što su:



## 2.11 Mezogen *Mesogen*

### Mezogeni spoj *Mesogenic compound*

### Mezomorfni spoj *Mesomorphic compound*

Spoj koji pri povoljnim uvjetima temperature, tlaka i koncentracije može postojati kao mezofaza ili osobito kao faza LC.

Opaske:

1. Kad je tip mezofaze poznat, može se rabiti preciznija terminologija, kao npr. **nematogen**, **smektogen** i **kiralni nematogen**.

2. U slučaju nastajanja više tipova mezofaza moguće je upotrijebiti više termina za isti spoj pa se u tom slučaju treba rabiti opći termin mezogen.

### 2.11.1 Amfifilni mezogen *Amphiphilic mesogen*

Mezogen čije su molekule građene od dva dijela suprotnog karaktera, kao što su hidrofilni i hidrofobni ili lipofobni i lipofilni.

Opaske:

1. Primjeri amfifilnih mezogena su sapuni, detergentski i neki blok-kopolimeri.
2. Pri pogodnim uvjetima temperature i koncentracije, slični dijelovi amfifilnih molekula grupiraju se tvoreći nakupe ili micle (vidi definiciju 2.4.2).

### 2.11.2 Neamfifilni mezogen *Nonamphiphilic mesogen*

Mezogen koji nije amfifilnog tipa.

Opaske:

1. Svojedobno se smatralo da mezofazu mogu tvoriti samo neamfifilne izdužene štapičaste molekule. Međutim, potvrđeno je da molekule drugih vrsta i oblika, npr. molekule oblika diska i banane mogu također stvarati mezogene (vidi ref. 6).
2. Tipovi neamfifilnih mezogena definirani su u: 2.11.2.1 – 2.11.2.8.

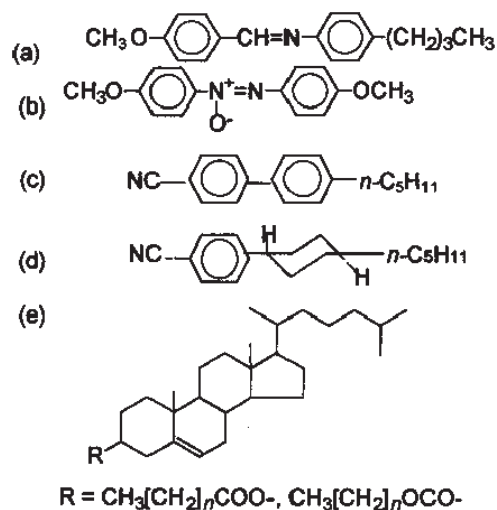
#### 2.11.2.1 Kalamitni mezogen *Calamitic mesogen*

Mezogen sastavljen od štapičastih ili letvastih molekula.

Opaska:

Primjeri:

- 4-butyl-*N*-(4-metoksibenziliden)anilin (BMBA) (a)
- 4,4'-dimetoksiazoksibenzen (b)
- 4-cijano-4'-pentilbifenil (c)
- 4-(*trans*-4-pentilcikloheksil)benzonitril (d)
- kolesterol i esteri kolest-5-en-3-karboksilne kiseline (e)



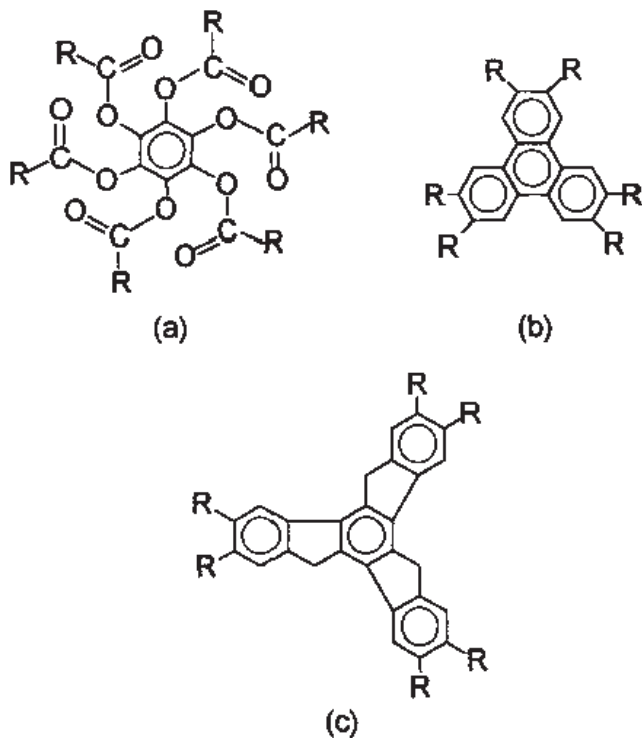
### 2.11.2.2 Diskotički mezogen

*Discotic mesogen*  
Diskasti mezogen  
*Discoid mesogen*

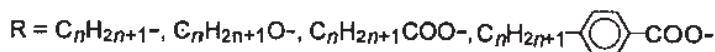
Mezogen koji je sastavljen od relativno ravnih molekula, oblika diska ili ploče.

Opaske:

1. Primjeri su: heksa(aciloksi)benzeni (a), heksa(aciloksi)-i heksa-alkiloksitriifenilni (b), 5*H*,10*H*,15*H*-diindeno-[1,2-*a*:1',2'-*c*] derivati fluorena (c).



Primjeri odgovarajućih supstituenata su:



2. Za opis nematičkih mezofaza nastalih od mezogena oblika diska također se rabi pridjev "diskasti". Mezofaze nastale slaganjem diskastih molekula u kolonu opisane su kao mezofaze oblika kolone. Pojmovi odgovaraju definicijama 3.2.

### 2.11.2.3 Piramidni mezogen

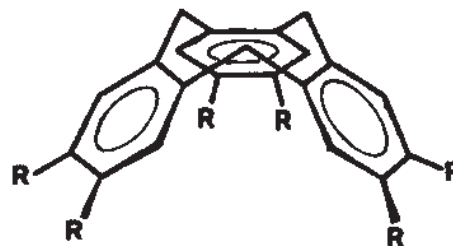
*Pyramidic mesogen*

Stožasti ili mezogen oblika stošca  
*Conical or cone-shape mesogene*  
Kuglasti mezogen  
*Bowlic mezogen*

Mezogen sastavljen od molekula s polukrutom stožastom jezgrom.

Opaska:

Primjeri su heksasupstituirani 5*H*,10*H*,15*H*-dihidrotribenzo-[*a,d,g*][9]anuleni.



### 2.11.2.4 Lančani mezogen

*Sanidic mesogen*

Mezogen sastavljen od pločastih molekula s orijentacijskom sredenošću dugog doseg a faze, koja odražava simetriju tvorbenih molekula.

Opaska:

Vidi također definiciju 3.4.

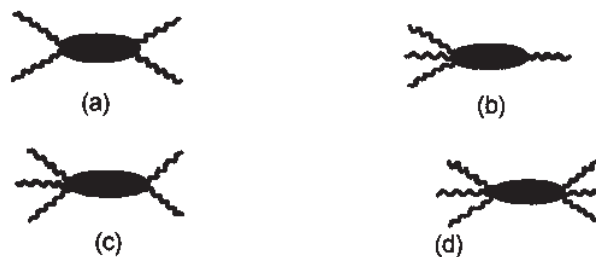
### 2.11.2.5 Polilančani mezogen

*Polycaternary mesogen*

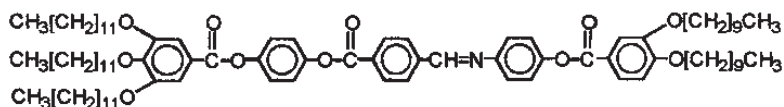
Mezogen sastavljen od molekula od kojih svaka ima izduženu krutu jezgru s nekoliko fleksibilnih lanaca na krajevima.

Opaske:

1. Fleksibilni lanci obično su alifatski.
2. Broj fleksibilnih lanaca na krajevima jezgre može se označiti nazivom *m,n*-polilančani mezogen.
3. Postoji nekoliko opisnih imena za te mezogene. Primjeri su: a) **dvošljasti** (2,2-polilančani mezogen), b) **hemifazmidni mezogen** (3,1-polilančani mezogen), c) **rašljasti hemifazmidni mezogen** (3,2-polilančani mezogen) i d) **fazmidni mezogen** (3,3-polilančani mezogen). Shematski su prikazana sva četiri tipa navedenih mezogena, kao i specifični primjer rašljastog hemifazmidnog mezogena c). Mezogena jezgra prikazana je kao



Specifičan primjer za (c) je:



### 2.11.2.6 Mezogen oblika lastina repa

*Swallow-tailed mezogen*

Mezogen čije su molekule građene od izdužene krute jezgre s granatim fleksibilnim lancem na jednom kraju, a grane su približno jednake duljine.

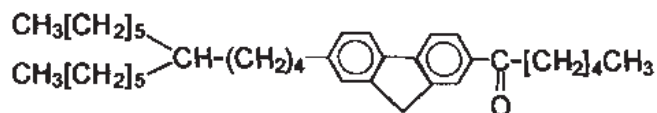


Opaska:

Skica strukture mezogena oblika lastina repa je



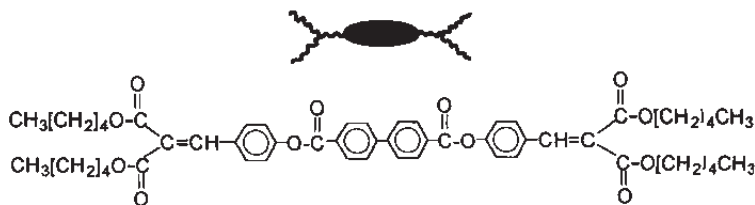
a primjer je derivat fluorena



### 2.11.2.7 Mezogen oblika dvostrukog lastina repa *Bis-swallow-tailed mesogen*

Mezogen građen od molekula s izduženom krutom jezgrom i granatim fleksibilnim lancem, s granama približno jednake duljine na oba kraja jezgre.

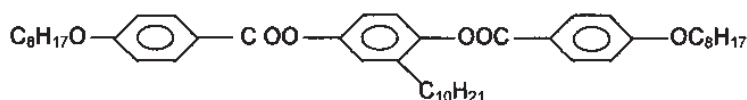
Primjer:



### 2.11.2.8 Bočno granati mezogen *Laterally branched mesogen*

Mezogen sastavljen od štapićastih molekula s velikim bočnim granama, kao što su alkil, alkoksi ili dijelovi lanca s prstenastim strukturama.

Primjer:



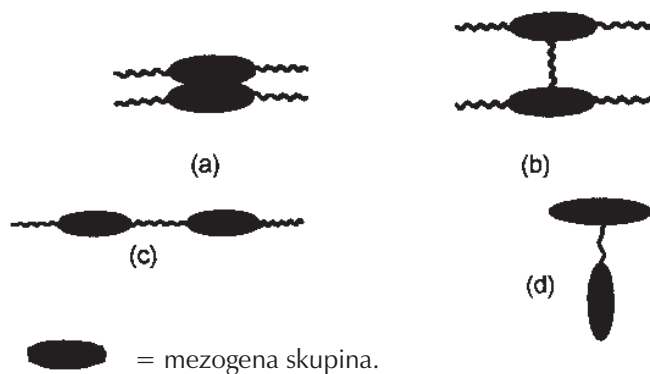
### 2.11.2.9 Kapljeviti kristalni oligomer *Liquid crystal oligomer* *Mezogeni oligomer* *Mesogenic oligomer*

Mezogen s molekulama od kojih svaka ima više mezogenih skupina.

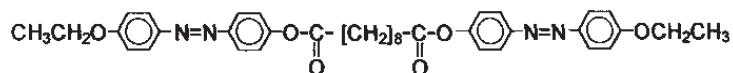
Opaske:

1. Mezogene skupine obično su jednake strukture.
2. **Kapljeviti kristalni dimer** ili **mezogeni dimer** ponekad se naziva **mezogen-sraslac**. Ne preporučuju se nazivi "dimezogeni spojevi" i "mezogen sijamski blizanac" umjesto naziva "kapljeviti kristalni dimer" ili "mezogeni dimer".
3. Primjeri mezogenih dimera su: (a) **kondenzirani mezogen-sraslac**, kod kojeg su mezogene skupine povezane u kruti prstenasti sustav (obično kondenzirane); (b) **spojeni**

**mezogen-sraslac**, kod kojeg su mezogene skupine povezane **razmaknicom** (poveznicom) (vidi definiciju 6.4); (c) **mezogen-sraslac rep-rep** s fleksibilnom razmaknicom (poveznicom) između dvije skupine i (d) **mezogen-sraslac bok-rep**. Strukture navedenih vrsta kapljeviti kristalnih dimera ilustrirane su kako slijedi:



Specifičan primjer za tip (c), kapljeviti kristalni dimer rep-rep je



gdje je  $-(CH_2)_8-$  fleksibilna razmaknica (poveznica) koja povezuje dvije mezogene skupine.

4. Kapljeviti kristalni dimer s različitim mezogenim skupinama povezanim razmaknicama (poveznicama) poznat je kao **asimetrični kapljeviti kristalni dimer**.

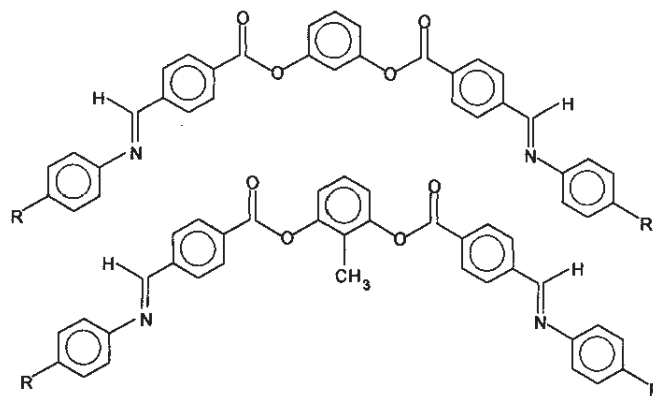
5. Kapljeviti kristalni dimer s fleksibilnim ugljikovodičnim lancima neparnog broja ugljikovih atoma naziva se **neparni kapljeviti kristalni dimer**, dok se onaj s parnim brojem ugljikovih atoma naziva **parni kapljeviti kristalni dimer**.

### 2.11.2.10 Mezogen oblika banane *Banana mesogen*

Mezogen građen od svinutih ili molekula oblika banane, u kojem su dvije mezogene skupine povezane polukrutim skupinama tako da nisu kolinearne.

Opaska:

Primjeri takvih struktura su:



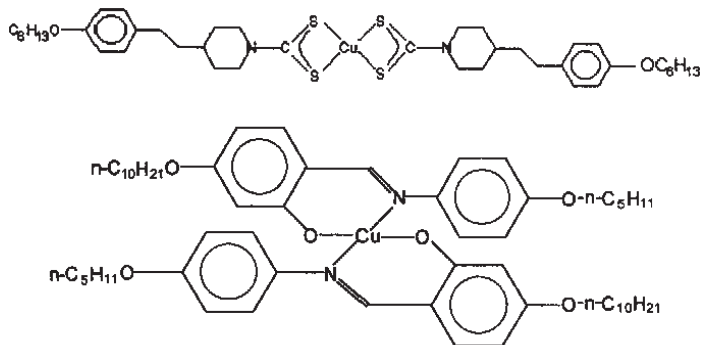
gdje je supstituent R alkilni eter ( $-OC_nH_{2n+1}$ ).

### 2.11.3 Metalomezogen *Metallomesogen*

Mezogen čije molekule sadrže jedan ili više atoma metala.

Opaske:

1. Metalomezogeni mogu biti ili kalamitni (vidi definicije 2.11.2.1) ili diskasti (vidi definiciju 2.11.2.2).
2. Primjeri metalomezogena su:



## 3. VRSTE MEZOFAZA

### 3.1 Mezofaze kalamitnih mezogena *Mesophases of calamitic mesogens*

#### 3.1.1 Jednoosna nematička mezofaza *Uniaxial nematic mesophase*

**Nematik**  
**Nematic**

Preporučena oznaka:  $N$  ili  $N_u$

Mezofaza nastala od nekiralnog spoja ili racemata kiralnog spoja u kojoj prostorna raspodjela molekulskih središta mase nema položajnu sredenost dugog doseg. Molekule pokazuju prosječnu orijentacijsku sredenost oko zajedničke osi definirane kao vektor smjera (jedinični vektor  $n$ ).



Slika 1 – Organiziranje molekula u jednoosnoj nematičkoj mezofazi

Opaske:

1. Organiziranje molekula u jednoosnoj nematičkoj mezofazi prikazano je na slici 1.

2. Jedinični vektor,  $n$ , definiran je u 3.1.1.1 (vidi sliku 1).
3. Smjer  $n$  je proizvoljan u prostoru.
4. Stupanj pozicijske sredenosti molekula nematičke faze usporediv je s onim izotropne faze iako je funkcija raspodjele nužno anizotropna.
5. Kristalografski se jednoosna nematička struktura označuje oznakom  $D_{\infty h}$  (Schoenfliesova oznaka) ili  $\infty/mm$  (međunarodni sustav).
6. Budući da je većina nematičkih faza jednoosna, ako nije drugačije naglašeno, pretpostavlja se da se radi o jednoosnoj nematičkoj mezofazi. Postoji li mogućnost nastajanja i dvoosnog nematika, jednoosnu fazu treba označiti kao  $N_u$  (vidi definiciju 3.3.1).

#### 3.1.1.1 Vektor smjera *Director*

Preporučena oznaka:  $n$

Lokalna os simetrije za singlet, odnosno orijentacijsku raspodjelu molekula mezofaze.

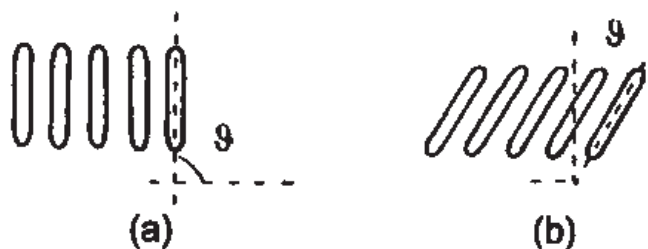
Opaske:

1. Vektor smjera definiran je kao jedinični vektor, s proizvoljnim smjerovima  $+n$  i  $-n$ .
2. Za jednoosne nematike, nastale od spojeva štapićastih ili diskastih molekula, prosječni smjer osi simetrije molekula odgovara vektoru smjera.
3. Vektor smjera također se podudara s lokalnom osi simetrije bilo kojeg svojstva mezofaze ovisnog o smjeru, kao što je indeks loma ili magnetska susceptibilnost.

#### 3.1.2 Sibotaktičke skupine *Cybotactic groups*

Skupina molekula u nematičkoj mezofazi sa smektičkim poretkom kratkog doseg molekulskih konstituenata.

Opaska: Moguća su dva tipa smektičkih struktura kratkog doseg. Jedan je analogan smektičkoj mezofazi A, gdje se molekule nastoje poredati uzduž okomice sloja (vidi definiciju 3.1.5.1.1), a drugi je kao smektička mezofaza C (vidi definiciju 3.1.5.1.2), gdje se molekule nastoje poredati pod kutem u odnosu na okomicu sloja. Sredenost molekula u smektičkoj strukturi tipa A i C prikazana je na slici 2.



Slika 2 – Shematski prikaz molekula: (a) lokalna smektička struktura A; (b) lokalna smektička struktura C; čine kut s okomicom sloja

### 3.1.3 Kiralna nematička mezofaza

#### *Chiral nematic mesophase*

##### Kiralni nematik

##### *Chiral nematic*

##### Kolesterička mezofaza

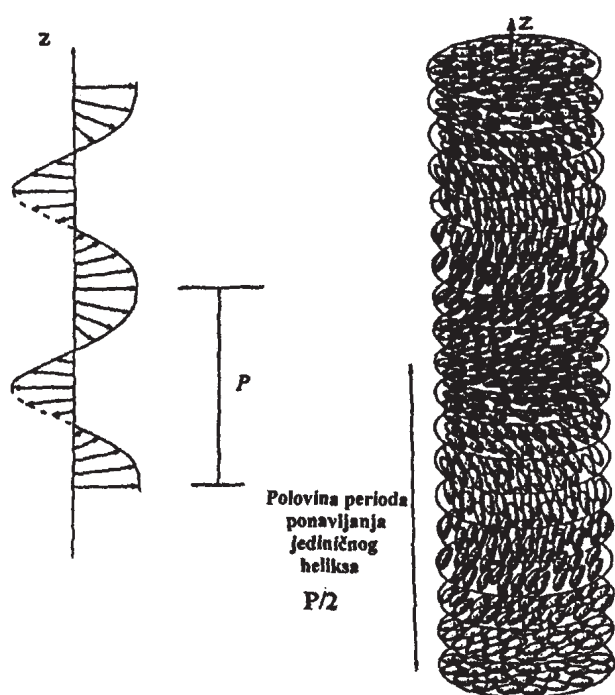
##### *Cholesteric mesophase*

##### Kolesterik

##### *Cholesteric*

Preporučena oznaka:  $N^*$

Mezofaza sa zavojitom nadmolekulskom strukturom vektora smjera koju tvore kiralne, kalamitne ili diskaste molekule. Može nastati i dopiranjem jednoosnog nematika kiralnim molekulama, pri čemu se lokalni vektor smjera  $n$  uvija oko osi.



Slika 3 – Struktura kiralne nematičke mezofaze

Opaske:

1. Zavojita raspodjela molekula u kiralnoj nematičkoj mezofazi prikazana je na slici 3.
2. Kiralna nematička mezofaza slična je jednoosnom nematiku, osim što ne dolazi do precesije vektora smjera  $n$  oko osi  $Z$ .
3. Uzduž osi  $Z$  dolazi do periodičnog ponavljanja zavojite strukture, a period ponavljanja  $P$  odgovara zavoju lokalnog vektora smjera  $n$  za  $2\pi$ .
4. Kiralne nematičke mezofaze pokazuju Braggovu raspršenje cirkularno polariziranog svjetla kada je valna duljina  $\lambda_R$ , proporcionalna periodu ponavljanja  $P$  ( $\lambda_R = \langle n \rangle P$ , gdje je  $\langle n \rangle$  prosječni indeks loma).
5. Precesija vektora smjera u kiralnoj nematičkoj mezofazi spontana je i treba je razlikovati od inducirane zavojite strukture koja nastaje mehaničkim uvijanjem graničnih površina.

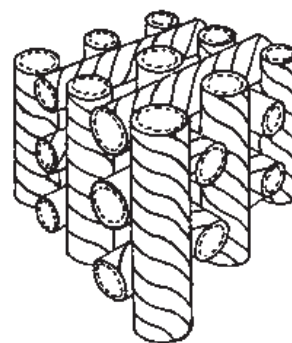
6. Nazivi kiralna nematička mezofaza ili kiralni nematik imaju prednost pred nazivima kolesterik ili kolesterička mezofaza.

### 3.1.4 Plava faza

#### *Blue phase*

Preporučena kratica: BP

Mezofaza s trodimenzijskom prostornom raspodjelom helikoidalnih osi koja tvori nepravilne strukture s defektima u rešetki kubične simetrije i konstantama rešetke reda veličine valne duljine vidljivog svjetla.



Slika 4 – Kubična rešetka s dvostruko uvijenim valjcima kao mogući model BP-a

Opaske:

1. Mogući model BP-a prikazan je na slici 4.
2. Naziv "plava faza" potječe od Braggove refleksije plavog svjetla, ali zbog većih konstanti rešetke, BP-ovi mogu reflektirati i vidljivo svjetlo većih valnih duljina.
3. Kod kiralnih nematičkih tvari koje tvore kiralne nematičke mezofaze kratkog perioda ponavljanja ( $< 700$  nm), pojavljuju se i do tri plave faze u uskom temperaturnom području između kiralne nematičke i izotropne faze.
4. BP je optički izotropan i pokazuje Braggovu refleksiju cirkularno polariziranog svjetla.
5. Poznata su dva BP-a različite kubične simetrije ( $I 4_132$  za BP I, i  $P 4_232$  za BP II), kao i treći (BP III), amorfne strukture. Postoji još nekoliko BP-a različite kubične simetrije, ali samo uz primjenu vanjskog električnog polja.

### 3.1.5 Smektička mezofaza

#### *Smectic mesophase*

Preporučena kratica: Sm

Mezofaza čije su molekule poredane u slojeve dobro definiranog slojnog razmaka ili periodičnosti.

Opaske:

1. Postoji nekoliko tipova smektičkih mezofaza s različitim molekulskim poretom unutar slojeva.
2. Iako se ukupan broj smektičkih mezofaza ne može specificirati, definirani su sljedeći tipovi: SmA, SmB, SmC, SmF i SmI. Abecedni red sufiksa odnosi se na redoslijed otkrića.

3. Klasifikacija SmD kao smektičke mezofaze ima povijesnu pozadinu i trebalo bi je napustiti (vidi definiciju 3.1.9).

4. Nekad su mezofaze bile identificirane kao smektičke na osnovi njihove optičke teksture. One su zapravo meki kristali, karakterizirani niskim granicama plastičnosti. Stoga te faze trodimenzijske sredenosti ne treba nazivati smektičkim mezofazama. One su srodne plastičnim kristalima s nešto osnovne sredenosti dugog doseg. Označuju se slovima E, J, G, H, K (vidi 3.1.5.3).

5. Kose smektičke mezofaze nastale ili od kiralnih spojeva ili sadrže kiralne smjese, označuju se indeksom \* (SmC\*, SmF\*, itd.). (vidi npr. definiciju 3.1.5.1.3).

### 3.1.5.1 Smektičke mezofaze sa strukturno nedefiniranim slojevima *Smectic mesophase with unstructured layers*

#### 3.1.5.1.1 Smektička mezofaza A *Smectic A mesophase*

**Preporučena kratica: SmA**

Smektička mezofaza s paralelnim razmještajem molekula unutar slojeva u kojima uzdužne osi molekula teže okomitosti na sloj, slojne ravnine i centri mase molekula nemaju pozicijsku sredenost dugog doseg paralelnu sa slojnim ravninama.

Opaske:



Slika 5 – Organiziranje molekula u smektičkoj mezofazi A

1. Organiziranje molekula u smektičkoj mezofazi A prikazano je na slici 5.

2. Svaki sloj se može aproksimirati sa stvarnom dvodimenzijom kapljevnom. Sustav je optički jednoosan, a optička os Z je okomita na slojne ravnine.

3. Smjerovi +Z i -Z su izmjenljivi.

4. Struktura smektičke mezofaze A označuje se oznakom  $D_{\infty h}$  (Schoenfliesova oznaka), odnosno  $\infty, 2$  (međunarodni sustav).

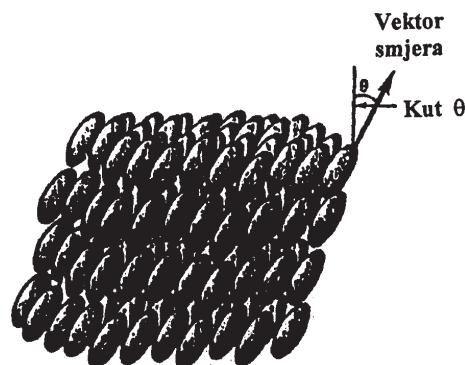
5. Liotropni ekvivalent smektičke mezofaze A poznat je kao **lamelna mezofaza**; gdje su slojevi amfifilnih molekula odjeljeni slojevima otapala, najčešće vodom ili uljem u **inverznoj lamelnoj mezofazi**.

6. Smektička faza A koja sadrži kiralnu molekulu ili dopirajuće sredstvo (kiralnu primjesu) može se nazvati kiralnom smektičkom A-fazom. Preporučena oznaka je SmA\*, gdje (\*) označava da je makroskopska struktura mezofaze kiralna.

#### 3.1.5.1.2 Smektička mezofaza C *Smectic C mesophase*

**Preporučena kratica: SmC**

Analog smektičke mezofaze A koji uključuje približno paralelan poredak molekula unutar slojeva u kojima je vektor smjera pod kutem u odnosu na okomicu sloja, a centri mase molekula nemaju pozicijsku sredenost dugog doseg paralelnu na slojne ravnine (vidi sliku 6).



Slika 6 – Organiziranje molekula u smektičkoj mezofazi C

Opaske:

1. Organiziranje molekula u smektičkoj mezofazi C prikazano je na slici 6.

2. Fizikalna svojstva smektičke mezofazi C odgovaraju svojstvima dvoosnih kristala.

3. Smektička struktura C je monoklinske simetrije s oznakom  $C_{2h}$  (Schoenfliesova oznaka) i prostornom grupom  $t 2/m$  (međunarodni sustav).

4. U uobičajenim smektičkim mezofazama C smjer nagiba varira nasumice od sloja do sloja. Međutim, može alternirati od sloja do sloja kao u **antifero-električnoj kiralnoj smektičkoj mezofazi C** (vidi definiciju 5.9, opaska 7) i u smektičkoj mezofazi C koja nastaje iz određenih kapljevutih tekućih kristalnih dimera s neparnim brojem atoma C u razmaknicama (poveznicima) (vidi definiciju 2.11.2.9). Preporučena kratica za taj tip mezofaze je **SmCa**.

#### 3.1.5.1.3 Kiralna smektička mezofaza C *Chiral smectic C mesophase*

**Preporučena kratica: SmC\***

Smektička mezofaza C u kojoj je nagib vektora smjera u svakom sljedećem sloju zakrenut za određeni kut u odnosu na prethodni tako da nastaje zavojita struktura stalnog perioda ponavljanja.

Opaske:

1. Organiziranje molekula u kiralnoj smektičkoj mezofazi prikazano je na slici 7.

2. Oznaka (\*) u SmC\* i analogne oznake, kao u 3.1.5.1.2 (opaska 6), ukazuju da je makroskopska struktura mezofaze kiralna. Međutim, ta se oznaka upotrebljava i kada su samo neke od molekula kiralne iako sama makroskopska struktura to ne mora biti.

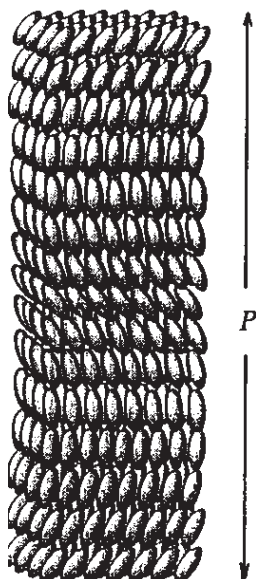


3.  $SmC^*$  nastaje iz kiralnih spojeva ili smjesa koje sadrže kiralne spojeve.

4. Struktura kiralne smektičke mezofaze C u osnovi je ista kao akiralne smektičke mezofaze C. Jedina je razlika uvijanje smjera nagiba oko jedinstvene osi. Ima simetriju  $C_2$  prema Schoenfliesovom označivanju.

5. Kiralna smektička faza C poznata je i kao fero-električna kiralna smektička faza C.

6. Zavojnica se može razmotiti površinskim silama, pri čemu nastaje površinski stabiliziran  $SmC^*$ , koji je makroskopski polariziran.



Slika 7 – Struktura kiralne smektičke mezofaze ( $P$  = helikoidalni period ponavljanja)

### 3.1.5.2 Heksatička smektička mezofaza *Hexatic smectic mesophase*

Smektička mezofaza s pozicijskom sređenošću molekula u ravnini kratkog dosega, sa slabom interakcijom dvodimenzijских slojeva i orijentacijskom sređenošću veza dugog dosega.

*Opaska:* Postoje tri tipa heksatičkih smektičkih mezofaza: smektik B ( $SmB$ ), smektik F ( $SmF$ ) i smektik I ( $SmI$ ). Oznaka heksatičko može se izostaviti jer se podrazumijeva za tu skupinu smektičkih mezofaza.

#### 3.1.5.2.1 Smektička mezofaza B *Smectic B mesophase*

##### **Preporučena kratica: $SmB$**

Heksatična smektička mezofaza s vektorom smjera okomitim na slojeve i heksagonskom orijentacijskom sređenošću veza dugog dosega.

*Opaske:*

1. Organiziranje molekula u smektičkoj mezofazi B prikazano je na slici 8.
2. Područje pozicijske sređenosti molekula nije veće od nekoliko desetaka nanometara, ali orijentacijska sređenost

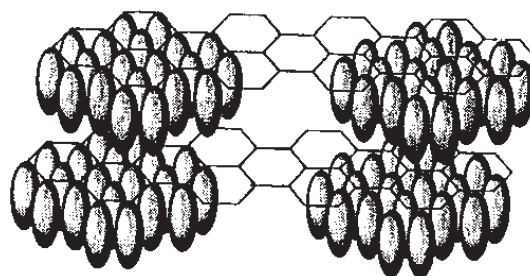
veza poprima makroskopske udaljenosti unutar slojeva i kroz slojeve.

3. Za razliku od smektičke mezofaze B, kristalna mezofaza B pokazuje korelaciju pozicijske sređenosti (heksagonske) u tri dimenzije, tj. dolazi do korelacija položaja unutar slojeva i među slojevima.

4. Struktura smektičke mezofaze B označava se grupnom simetrijom  $D_{6h}$  (Schoenfliesova oznaka), na temelju orijentacijske sređenosti veza.

5. Smektička mezofaza B optički je jednoosna.

6. Smektička mezofaza B ponekad se označuje kao  $SmB_{hex}$ . Oznaka "hex" označuje heksagonsku strukturu mezofaze.



Slika 8 – Struktura smektičke B mezofaze

#### 3.1.5.2.2 Smektička mezofaza F *Smectic F mesophase*

##### **Preporučena kratica: $SmF$**

Heksatička smektička mezofaza čija se struktura može razmatrati kao C-centrirana monoklinska ćelija s heksagonskom slagalinom molekula čiji je vektor smjera nagnut prema slojnim okomicama prema stranicama heksagona.

*Opaske:*

1. Organizacija molekula u smektičkoj mezofazi F, koja je kosi analog smektičke mezofaze B, prikazano je na slici 9.
2. Za  $SmF$  su karakteristične korelacije položaja dugog dosega u ravnini te slabe ili nikakve korelacije položaja među slojevima.
3. Područje pozicijske molekulske sređenosti nije veće od nekoliko desetaka nanometara, ali unutar sloja postoji orijentacijska sređenost veza dugog dosega.
4. Točkasta grupa je  $C_{2h}(2/m)$  (Schoenfliesova oznaka), a prostorna grupa simetrije je  $t 2/m$  u međunarodnom sustavu.
5. Smektička mezofaza F optički je dvoosna.
6. Kiralne tvari tvore **kiralne smektičke mezofaze F** označene kao  $SmF^*$ .

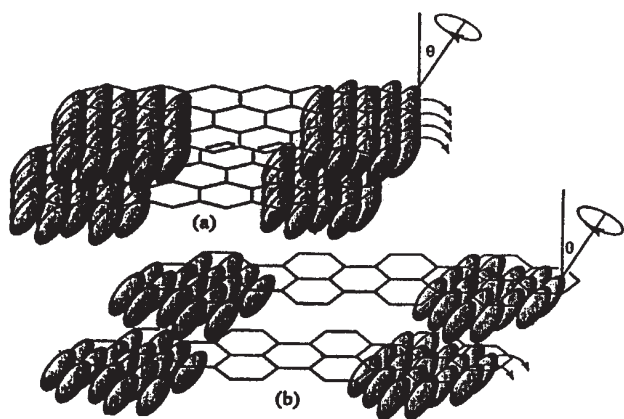
#### 3.1.5.2.3 Smektička mezofaza I *Smectic I mesophase*

##### **Preporučena kratica: $SmI$**

Heksatička smektička mezofaza čija se struktura može smatrati kao C-centrirana monoklinska ćelija heksagonski pakiranih molekula, s vektorom smjera nagnutim u odnosu na okomicu sloja prema vrhovima heksagona.

Opaske:

1. Organiziranje molekula u smektičkoj mezofazi F i I prikazano je na slikama 9a i 9b. One su kosi analozi smektičke mezofaze B.
2. Smektička mezofaza I optički je dvoosna.
3. U smektičkoj mezofazi I korelacija položaja u ravnini nešto je veća nego u smektičkoj mezofazi F.
4. Kiralne tvari tvore **kiralne smektičke mezofaze I**, a označuju se kao **SmI\***.



Slika 9 – Prikaz kosog vektora smjera u mezofazama (a) SmF i (b) SmI: (a) vektor smjera nagnut prema stranicama heksagona; (b) vektor smjera je nagnut prema vrhovima heksagona

### 3.1.5.3 Kristalne mezofaze B, E, G, H, J i K *Crystal B, E, G, H, J and K mesophases*

Meki kristali pozicijske sredenosti dugog doseg s trodimenzijskim slagalinama slojeva koji međusobno koreliraju.

Opaske:

1. U početku su se te mezofaze označivale kao smektičke, ali daljnja istraživanja ukazala su na njihov trodimenzijski karakter.
2. U kristalnim mezofazama B i E molekulske uzdužne osi u osnovi su paralelne s okomicama slojnih ravnina, dok su u mezofazama G, H, J i K ukošene u odnosu na okomicu sloja.
3. Faze E, J i K imaju kratke molekulske osi strukturirane u obliku riblje kosti, zbog čega su mezofaze optički dvoosne.

### 3.1.6 Polimorfne modifikacije izrazito polarnih spojeva *Polymorphic modification of strongly polar compounds*

#### 3.1.6.1 Obnovljiva mezofaza *Re-entrant mesophase*

Preporučena oznaka: re

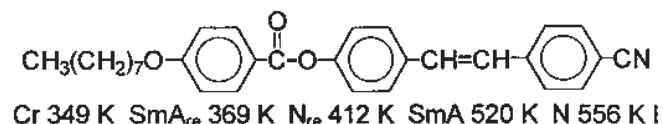
Mezofaza pri najnižoj temperaturi kod spojeva koji pokazuju dvije ili više mezofaza istog tipa u različitim temperaturnim područjima.

Opaske:

1. Obnovljive su mezofaze najčešće kod molekula s izrazitim longitudinalnim dipolnim momentima (vidi primjer).
2. Sekvencije obnovljivih mezofaza pronađene su i u binarnim smjesama nepolarnih kapljeviti kristalnih spojeva.

Primjer:

Sljedeći spoj pokazuje, sniženjem temperature, izotropnu (I) fazu, nematičku (N), smektičku A (SmA), obnovljivu nematičku (N<sub>re</sub>), obnovljivu smektičku mezofazu A (SmA<sub>re</sub>), te kristalnu fazu (Cr), s prijelazima pri definiranim temperaturama.



#### 3.1.6.2 Smektici A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>d</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> i C<sub>d</sub> *Smectic A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>d</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>d</sub>*

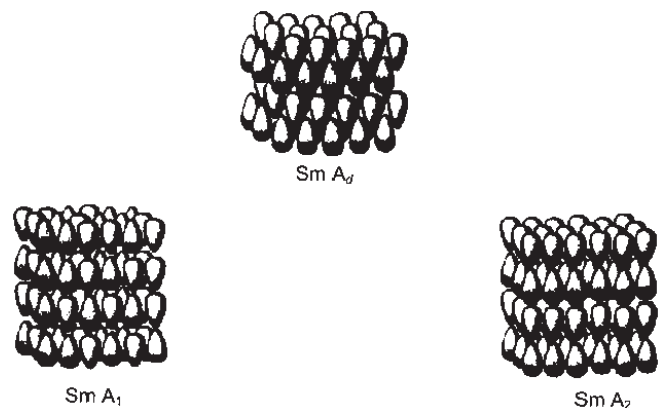
Preporučene kratice:

SmA<sub>1</sub>, SmA<sub>2</sub>, SmA<sub>d</sub>, SmC<sub>1</sub>, SmC<sub>2</sub>, SmC<sub>d</sub>

Smektička A i smektička mezofaza C karakterizirane su antiparalelnim (SmA<sub>2</sub>, SmA<sub>d</sub>, SmC<sub>2</sub>, SmC<sub>d</sub>) i nasumičnim (SmA<sub>1</sub>, SmC<sub>1</sub>) razmještajem molekulskih dipola unutar debljine sloja (slika 10).

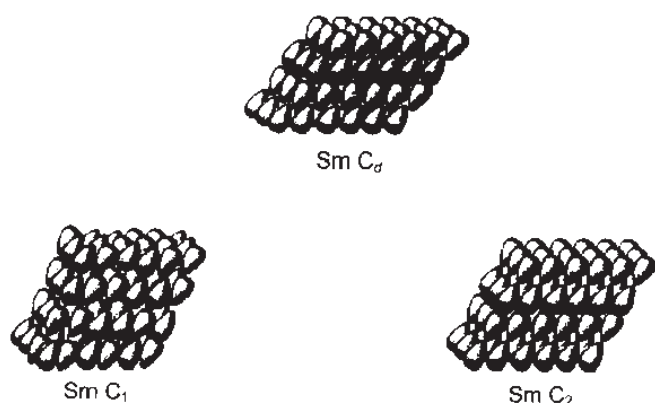
Opaske:

1. Razmještaj molekula u navedenim mezofazama prikazan je na slikama 10 i 11.
2. Oznake 1, d i 2 ukazuju da su debljine sloja jedanput, d i dva puta veće od duljine potpuno ispružene molekule, gdje je  $1 < d < 2$ .
3. SmA<sub>d</sub> i SmC<sub>d</sub> stvaraju dvoslojeve s djelomičnim preklapanjem molekula susjednih slojeva.
4. SmA<sub>2</sub> i SmC<sub>2</sub> stvaraju dvoslojeve s antiparalelnim razmještajem molekula.
5. Dvoslojna struktura poznata je i za SmB te kristalnu mezofazu E.



Slika 10 – Molekulska struktura mezofaza SmA<sub>d</sub>, SmA<sub>1</sub> i SmA<sub>2</sub>



Slika 11 – Molekulska struktura mezofaza  $SmC_d$ ,  $SmC_1$  i  $SmC_2$ 

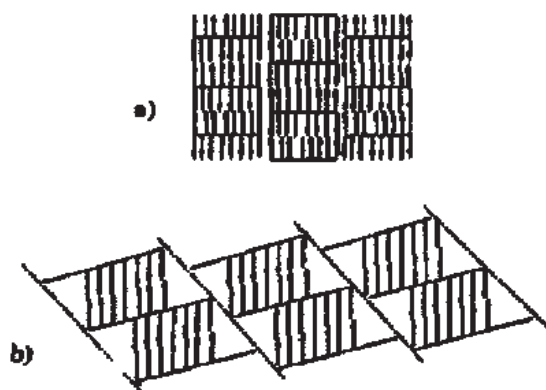
### 3.1.6.3 Modulirana smektička mezofaza (*Modulated smectic mesophase*)

Preporučena oznaka: ~

Smektička mezofaza s periodičkim promjenama gustoće u ravnini.

Opaske:

1. Razmještaj molekula u moduliranim smektičkim mezofazama prikazan je na slikama 12a i 12b.
2. Mezofaza  $Sm\check{A}$  poznata je i kao **centrirana pravokutna mezofaza ili antimezofaza**. Oznaka za prostornu grupu u SI-sustavu je *cmm*.
3. Mezofaza  $Sm\check{C}$  poznata je kao **kosa ili vrpčasta mezofaza**. Oznaka za prostornu grupu u SI-sustavu je *pmg*.

Slika 12 – Shematski prikaz moduliranih smektičkih mezofaza (a)  $Sm\check{A}$  ili (b)  $Sm\check{C}$ 

### 3.1.7 Interkalatna smektička mezofaza (*Intercalated smectic mesophase*)

Preporučena oznaka: *c*

Smektička mezofaza čiji je razmak među slojevima (smektička periodičnost) jednaka približno polovici duljine molekula.

Opaske:

1. Interkalatne smektičke mezofaze karakteristične su za kapljevite kristalne dimere.

2. Do sada su pronađene interkalatne smektičke mezofaze A ( $SmA_c$ ) i C ( $SmC_c$ ) kao i interkalatni kristali B ( $B_c$ ), G ( $G_c$ ) i J ( $J_c$ ).

3. Lokalna struktura u nematičkoj mezofazi nekih dimera ima interkalatnu smektičku mezofazu.

### 3.1.8 Inducirana mezofaza (*Induced mesophase*)

Mezofaza nastala od binarne smjese. Pojedinačne komponente ne tvore mezofaze, ali u smjesi dolazi do pojave mezofaze iznad tališta obiju komponenti.

Opaske:

1. Nastajanje induciranih mezofaza posljedica je jačih privlačnih međudjelovanja različitih skupina od interakcija istovrsnih skupina.
2. Primjeri takvih međudjelovanja su: dipolarno/nepolarno, prijenos naboja i kvadripol.
3. Mezofaze također mogu biti inducirane kad se slobodni volumen između velikih, nepravilnih molekula jedne komponente popuni manjim molekulama druge komponente. Takve se mezofaze nazivaju popunjene smektičke mezofaze iako se preporučuje izraz "inducirane".
4. Monotropna se mezofaza može stabilizirati u smjesi kada kao posljedica sniženja tališta metastabilna mezofaza postaje stabilna. Takva se mezofaza razlikuje od inducirane mezofaze.

### 3.1.9 Kubična mezofaza (*Cubic mesophase*)

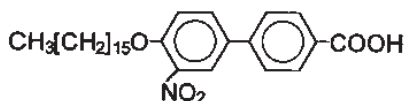
Preporučena kratica: *Cub*

Mezofaza s trodimenzijskom sredenošću kubične simetrije u kojoj svaka micelna jedinična ćelija sadrži nekoliko stotina molekula nasumičnih konfiguracija, kao u kapljevini.

Opaske:

1. Mezofaza prethodno označena kao smektička D (vidi definiciju 3.1.5, opaska 3) pripada toj vrsti.
2. Kubična je mezofaza optički izotropna; od izotropne kapljevine ili homeotropne faze može se razlikovati po nastanku. Naime, optički tamna izotropna ili homeotropna faza prelazi nukleacijom u dvolomnu fazu  $SmC$  pravilnih četverokuta, romba, heksagona i pravokutnika.
3. Kubičnu mezofazu mogu tvoriti štapičaste molekule s jakim specifičnim molekulskim interakcijama, kao što je stvaranje vodikovih veza. Međutim, nađene su i u polilančanim spojevima (vidi definiciju 2.11.2.5), gdje nema specifičnih, jakih interakcija.
4. Kubične su mezofaze već dugo poznate u termotropnim spojevima tipa soli te u liotropnim kapljevitim kristalima.
5. Postoji nekoliko tipova termotropnih i liotropnih kubičnih mezofaza, s različitim simetrijama i svojstvima mješljivosti; kad su prostorne grupe simetrije poznate treba ih staviti u zgradu poslije oznake "Cub".

Primjer: Sljedeći spoj pokazuje kristalnu fazu (Cr), smektičku (SmS), kubičnu (Cub), smektičku (SmA) mezofazu te izotropnu (I) fazu s prijelazima pri definiranim temperaturama.



Cr 399.95 K SmC 444.15 K Cub 471.65 K SmA 472.15 K I

### 3.2 Mezofaze s mezogenima oblika diska

#### *Mezophases of discs-like mesogens*

##### Diskotičke mezofaze

##### *Discotic mesophases*

##### Diskotici

##### *Discotics*

#### 3.2.1 Diskotička nematička mezofaza

##### *Discotic nematic mesophase*

##### Diskotički nematik

##### *Discotic nematic*

Preporučena kratica: N

Nematička mezofaza u kojoj se diskaste molekule ili diskasti dijelovi makromolekula nastoje poredati tako da su njihove simetrijske osi paralelne, a prostorna raspodjela centara masa je nasumična.

Opaske:



Slika 13 – Organiziranje molekula u diskotičkoj nematičkoj mezofazi

1. Razmještaj molekula u diskotičkoj mezofazi prikazan je na slici 13.
2. Simetrija i struktura nematičke mezofaze nastale od diskastih molekula jednaka je onoj koja nastaje od štapićastih molekula. Zato se preporučuje izostavljanje "D" iz oznake "N<sub>D</sub>", često rabljene za označivanje nematika diskastih molekula.
3. U nekim slučajevima diskotičku nematičku mezofazu tvore spojevi koji nemaju molekule diskotičkog oblika (npr. fazmidični spojevi, tvari tipa soli i oligosaharidi).
4. Postoji i kiralna diskotičko nematička mezofaza, N\*.

#### 3.2.2 Mezofaza oblika kolone

##### *Columnar mesophase*

##### Diskotička mezofaza oblika kolone

##### *Columnar discotic mesophase*

##### Diskotik oblika kolone

##### *Columnar discotic*

Preporučena kratica: Col

Mezofaza čije se molekule diskastog oblika, karakteristični dijelovi makromolekula diskastog oblika ili klinaste molekule grupiraju u kolone koje se paralelno slažu tvoreći dvodimenzijsku rešetku, ali bez pozicijskih suodnosa dugog doseg uzduž kolona.

Opaska:

Ovisno o stupnju sredenosti i slaganju molekula u kolone te simetriji dvodimenzijske rešetke, mezofaze oblika kolone mogu se podijeliti u tri glavne skupine: heksagonska, pravokutna i kosokutna (vidi definicije 3.2.2.1 do 3.2.2.3).

#### 3.2.2.1 Heksagonska mezofaza oblika kolone

##### *Columnar hexagonal mesophase*

Preporučena kratica: Col<sub>h</sub>

Mezofaza s heksagonskim slaganjem molekulskih kolona.

Opaske:

1. Razmještaj molekula u mezofazi Col<sub>h</sub> prikazan je na slici 14.
2. Heksagonske mezofaze često se označavaju oznakama Col<sub>ho</sub> ili Col<sub>hd</sub>, gdje se h odnosi na heksagonsko, o i d odgovaraju području pozicijskih korelacija uzduž osi kolona: o razumijeva sredenost, a d nesredenost. U načelu, oznake o i d ne treba stalno rabiti. U oba slučaja sredenost je slična kapljevinu, samo su dosezi suodnosa različiti.
3. Odgovarajuća prostorna grupa za Col<sub>h</sub> je P 6/mmm (odgovara P 6/m 2/m u međunarodnom sustavu, a D<sub>6h</sub> prema Schoenfliesovom označivanju).
4. Liotropni ekvivalent heksagonske mezofaze oblika kolone poznat je kao **heksagonska mezofaza**; kolone amfifilnih molekula okružene su otapalom, obično vodom ili uljem u **inverznoj heksagonskoj mezofazi**.



Slika 14 – Organizacija molekula u heksagonskoj mezofazi oblika kolone

### 3.2.2.2 Pravokutna mezofaza oblika kolone *Columnar rectangular mesophase*

Preporučena oznaka:  $Col_r$

Mezofaza molekulske sredenosti uzduž kolona svojstvene kapljevinama, pri čemu kolone tvore pravokutnu slagalinu.

Opaske:

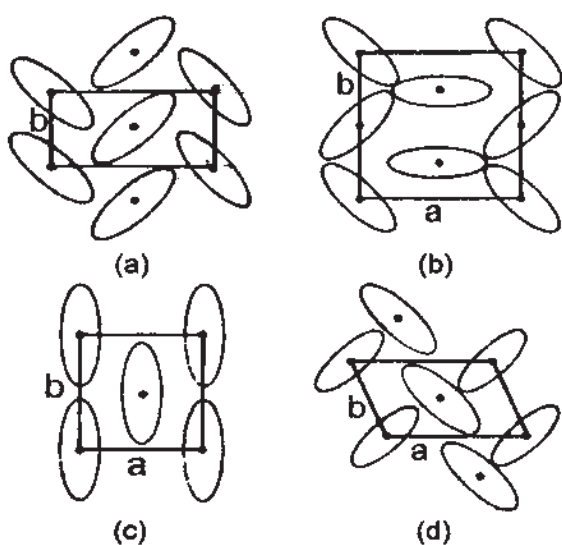
1. Razmještaj molekula u pravokutnoj mezofazi oblika kolone prikazan je na slikama 15a – 15c.
2. Prosječna orijentacija ravnina diskastih molekula nije nužno okomita na osi kolone.
3. Ovisno o prostornim grupama simetrija u ravnini, razlikuju se tri pravokutne mezofaze (vidi sl. 15a – 15c).
4. Postoje i kiralne pravokutne mezofaze oblika kolone, s periodično kosim diskastim molekulama u kolonama te kosim smjerovima koji se pravilno mijenjaju niz kolone.

### 3.2.2.3 Kosa mezofaza oblika kolone *Columnar oblique mesophase*

Preporučena oznaka:  $Col_{ob}$

Mezofaza molekulske sredenosti uzduž kolone svojstvene kapljevinama, pri čemu kolone tvore kosu slagalinu.

1. Razmještaj molekula u kosoj mezofazi oblika kolone prikazan je na slici 15d.
2. Prosjek ravnina diskastih molekula nije nužno okomit na osi kolone.
3. Ravnina prostorne grupe simetrije  $Col_{ob}$  mezofaze je  $P_1$  (vidi sliku 15d).
4. Postoje i **kiralne kose mezofaze oblika kolone** s koso usmjerenim diskovima koji se pravilno izmjenjuju uzduž kolona.



Slika 15 – Projekcija dvodimenzijske rešetke kolona u pravokutnoj mezofazi oblika kolone (a) do (c) i kosoj mezofazi (d). Elipse predstavljaju ravnine molekulskih diskova. Projicirane su ravnine prostornih grupa simetrija u međunarodnom sustavu: (a) –  $P2_1/a$ ; (b) –  $P2/a$  i (c) –  $C2/m$ ; (d) –  $P_1$ .

### 3.3 Dvoosne mezofaze *Biaxial mesophase*

Preporučeni indeks:  $b$

Mezofaza sastavljena od pločastih molekula čije dulje i kraće osi pokazuju sredenost dugog doseg.

Opaske:

1. Dvoosna mezofaza ima tri pravokutna vektora smjera, označena slovima  $l$ ,  $m$  i  $n$ .
2. Tenzorska svojstva dvoosne mezofaze imaju dvoosnu simetriju za razliku od jednoosne simetrije nematičke i smektičke mezofaze A.
3. Dvoosnost faze nije posljedica kosih struktura, kao npr. u smektičkoj mezofazi C.
4. Različite dvoosne mezofaze nastaju kada postoji korelacija molekulskih centara mase unutar slojeva. Takve mezofaze tvore pločasti polimeri i nazivaju se lančane mezofaze (vidi definicije 3.4, 3.4.1 i 3.4.2).
5. Lančane su strukture slične mezofazama oblika kolone, a tvore ih diskaste molekule (vidi definiciju 3.2.2).

#### 3.3.1 Dvoosna nematička mezofaza *Biaxial nematic mesophase*

Dvoosni nematik  
*Biaxial nematic*

Preporučena oznaka:  $N_b$

Mezofaza sastavljena od molekula čije su uzdužne osi orijentirane oko zajedničkog vektora smjera, a jedna od kraćih molekulskih osi je orijentirana u prosjeku, oko drugog, okomitog vektora smjera.



Slika 16 – Shematski prikaz dvoosne nematičke mezofaze

Opaske:

1. Razmještaj molekula u mezofazi  $N_b$  prikazan je na slici 16.
2. Kristalografska oznaka dvoosne nematičke strukture je  $D_{2h}$  (Schoenfliesova oznaka), odnosno  $2/m$ ,  $m$  u međunarodnom sustavu.

3. U liotropnim sustavima, dvoosne nematičke mezofaze razpoznaju se prema dvoosnoj simetriji njihovih tenzorskih svojstava.

4. Ponašanje termotropnih kalamitnih sustava slabije je razjašnjeno. Za neke se spojeve tvrdilo da tvore mezofazu  $N_b$ ; detaljnim istraživanjima je potvrđeno da se radi o mezofazi tipa  $N_u$  (vidi definiciju 3.1.1).

5. Dvoosni nematik ima istu strukturu kao nesređena lančana mezofaza (vidi definiciju 3.4, opaska 2); međutim, preporučena je naziv dvoosni nematik.

### 3.3.2 Dvoosna smektička mezofaza A *Biaxial smectic A mesophase*

**Preporučena oznaka:**  $SmA_b$

Smektička A mezofaza sastavljena od pločastih molekula s orijentacijskom središnosti duljih i kraćih molekulskih osi.

*Opaska:*

Kod mezofaze  $SmA_b$  centri mase pločastih molekula imaju samo pozicijsku središnost kratkog doseg a unutar sloja.

### 3.4 Lančana mezofaza *Sanidic mesophase*

**Preporučena oznaka:**  $\Sigma$

Mezofaza čije su pločaste molekule grupirane u međusobno paralelne slagaline slojeva u jedno- ili dvodimenzijskoj rešetci. Vidi slike 17 i 18.

*Opaske:*

1. Lančane mezofaze prikazane su na slikama 17 i 18.
2. Kratke pločaste molekule obično tvore dvoosne nematičke mezofaze. Ne preporučuje se za te mezofaze rabiti izraz "nesređene lančane mezofaze" (vidi definiciju 3.3.1, opaska 5).
3. Rotacija molekula oko uzdužnih osi u velikoj je mjeri otežana.

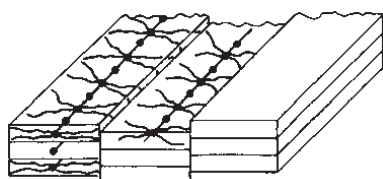
#### 3.4.1 Pravokutna lančana mezofaza *Rectangular sanidic mesophase*

**Preporučena oznaka:**  $\Sigma_r$

Lančana mezofaza u kojoj su molekulski slojevi slagani pravilno (bočna stranica do stranice) sa središću dugog doseg a uzduž okomice sloja kao i uzdužne osi sloja.

*Opaska:*

Razmještaj molekula u mezofazi  $\Sigma_r$  prikazan je na slici 17.



Slika 17 – Pravokutna lančana mezofaza

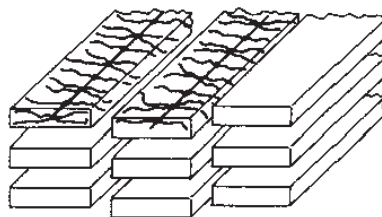
#### 3.4.2 Sređena lančana mezofaza *Ordered sanidic mesophase*

**Preporučena oznaka:**  $\Sigma_o$

Mezofaza u kojoj su molekulski slojevi slagani pravilno (bočna stranica do stranice) sa središću dugog doseg a uzduž okomice sloja.

*Opaska:*

Razmještaj molekula u mezofazi  $\Sigma_o$  prikazan je na slici 18.



Slika 18 – Sređena lančana mezofaza

### 3.5 Staklasta mezofaza *Glassy mesophase*

**Preporučena oznaka:** g

Mezofaza u kojoj je nevibracijsko gibanje molekula zamrznuto pothlađivanjem mezofaze stabilne pri višoj temperaturi.

### 3.6 Zavojita granično-zrnata mezofaza *Twist grain-boundary mesophase*

**Preporučena kratica:** TGB

Defektom stabilizirana mezofaza, nastala izvijanjem ili savijanjem smektičke mezofaze A.

*Opaske:*

1. Izobličenja nastala izvijanjem i savijanjem mogu se stabilizirati nizom pomaka zavoja ili bridova.
2. Mezofaza TGB je analogna Abrikosovoj fazi nekih super vodiča.

#### 3.6.1 Spiralna granično-zrnata mezofaza A\* *Twist grain-boundary A\* mesophase*

**Preporučena kratica:** TGBA\*

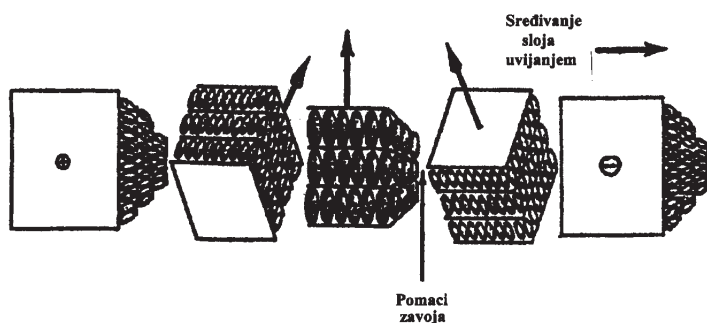
Mezofaza zavojite supramolekulske strukture s blokovima molekula lokalne strukture smektičkog tipa A u kojima su okomice slojeva zaokrenute jedna prema drugoj i odijeljene pomacima zavoja.

*Opaske:*

1. Razmještaj molekula u mezofazi TGBA\* prikazan je na slici 19.



2. Mezofaza TGBA\* nastaje od kiralnog spoja ili smjese kiralnih spojeva.
3. Moguće su dvije strukture TGBA\*; kod jedne broj blokova odgovara rotaciji okomice sloja za  $2p$  i cijeli je broj, a kod druge nije cijeli broj.
4. TGBA\* je nađena u faznom dijagramu između smektika A i kiralne nematičke mezofaze ili između smektičke mezofaze A i izotropne faze.
5. Temperaturno područje postojanja mezofaze TGBA\* je unutar nekoliko K.



Slika 19 – Struktura mezofaze TGBA\* koja odgovara polovini okreta zavojnice

### 3.6.2 Zavojita granično-zrnata mezofaza C\* *Twist grain-boundary C\* mesophase*

Preporučena kratica: TGBC\*

Mezofaza zavojite supramolekulske strukture s blokovima molekula lokalne strukture smektičkog tipa C u kojima su okomice slojeva zaokrenute jedna prema drugoj i odijeljene pomacima zavoja.

Opaske:

1. Moguća su dva oblika mezofaza TGBC\*: kod jednog oblika vektor smjera sloja je nagnut i rotira koherentno kroz slojeve bloka kao kod kiralne smektičke mezofaze C, dok je kod drugog oblika vektor smjera bloka samo nagnut u odnosu na okomicu sloja kao kod smektičke mezofaze C.
2. U slučaju kratkog perioda ponavljanja, kad je  $P$  manji od valne duljine  $\lambda$ , os indeksa loma okomita je na vektor smjera.

### 3.6.3 Staljena granično-zrnata mezofaza *Melted grain-boundary mesophase*

Preporučena kratica: MGBC\*

Mezofaza zavojite nadmolekulske strukture blokova molekula s lokalnom smektičkom strukturom C. Okomica sloja na blokove rotira konično, kreirajući vektor smjera sličan zavojnici u smektiku C\*. Blokovi su razdvojeni graničnim ploham okomitim na osi zavojnice. Na granici nestaje smektička, a zadržava se nematička sredenost. U blokovima vektor smjera rotira od jedne granice do druge, omogućujući rotaciju blokova bez bilo kakvog diskontinuiteta u termomolekulskoj orijentaciji.

Opaska:

Ova faza se pojavljuje između mezofaza TGBA i SmC\* ili između N\* i SmC\*.

## 4. TEKSTURE I NEPRAVILNOSTI (DEFEKTI) *TEXTURES AND DEFECTS*

### 4.1 Domena *Domain*

Područje mezofaze s jednim vektorom smjera.

Opaska:

Vidi definiciju vektora smjera u 3.1.1.1

### 4.2 Monodomena *Monodomain*

Područje jednoosne mezofaze ili cjelovita jednoosna mezofaza s jednim vektorom smjera, odnosno područje dvoosne mezofaze ili cjelovita dvoosna mezofaza s dva vektora smjera.

Opaske:

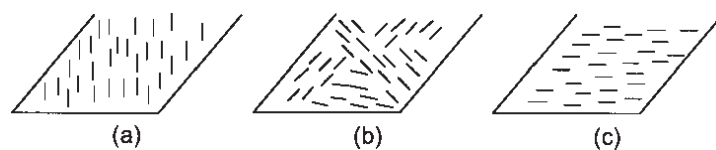
1. Definicija jednoosne nematičke mezofaze dana je u 3.1.1, definicija anizotropije jednosne mezofaze u 5.8.1, a definicije dvoosnih mezofaza u 3.3 i 5.8.2.
2. Za smektičku mezofazu izraz "monodomena" razumijeva jednolik raspored smektičkih slojeva.

### 4.3 Homeotropna usmjerenost *Homeotropic alignment*

Molekulska usmjerenost kod koje je vektor smjera okomit na površinu tvari.

Opaske:

1. Vidi sliku 20a.
2. Kad položaj vektora smjera kod homeotropne usmjerenosti odstupa od okomitog, radi se o **kosoj homeotropnoj usmjerenosti**; kut nagiba pritom odstupa od  $90^\circ$ .
3. **Površinski nagib** je kut odstupanja vektora smjera od površine. Ta pojava se primjenjuje za kontrolu naponskog praga i utječe na vidne kuteve.



Slika 20 – Homeotropna (a), planarna (b) i uniformno planarna (c) usmjerenost molekula

#### 4.4 Planarna usmjerenost

##### *Planar alignment*

##### Homogena usmjerenost

##### *Homogeneous alignment*

Molekulska usmjerenost kod koje su vektori smjera paralelni s površinom tvari.

#### 4.5 Uniformna planarna usmjerenost

##### *Uniform planar alignment*

Molekulska usmjerenost pri kojoj je vektor smjera paralelan s površinom tvari.

Opaske:

1. Vidi sliku 20c.
2. Ponekad se uniformna planarna usmjerenost naziva "uniformna homogena usmjerenost". Taj naziv se ne preporučuje.

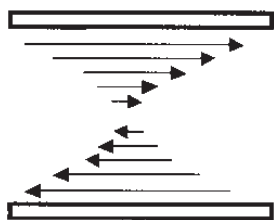
#### 4.6 Zavojita usmjerenost

##### *Twist alignment*

Molekulska usmjerenost pri kojoj vektor smjera rotira u obliku heliksa pri prolazu između dvije slojne površine čije molekule imaju uniformno planarnu usmjerenost.

Opaske:

1. Vidi sliku 21. Duljina linije na slici 21 predstavlja duljinu vektora smjera projiciranog na ravninu papira.
2. Vektori smjera na donju i gornju površinu uzorka obično su međusobno okomiti, što znači da se zakreću za 90° preko debljine sloja kapljeviteg kristala.



Slika 21 – Prikaz zavojite usmjerenosti

#### 4.7 Defekt (strukturna nepravilnost)

##### *Defect*

Nejednolika usmjerenost molekula koja ne može prijeći u jednoliku bez stvaranja drugih defekata.

Opaske:

1. Dislokacija (pomak) i disklinacija (nagib) glavni su oblici defekata u kapljevitim kristalima.
2. U kapljevitim kristalima razlikuju se tri osnovna tipa defekata. To su točkasti i linijski defekt te defekt u stjenci.

3. Diskontinuitet u strukturi (ili u matematičkoj funkciji koja opisuje strukturu) nije uobičajen; u mnogim se slučajevima takav defekt smatra rijetkošću.

##### 4.7.1 Dislokacija (pomak)

##### *Dislocation*

Diskontinuitet u pravilnom pozicijskom poretku molekula.

Opaska:

Dislokacije su najčešće u krutim kristalima.

##### 4.7.2 Disklinacija (nagib)

##### *Disclination*

Nepravilnost (defekt) u orijentaciji vektora smjera.

Opaske:

1. Zbog disklinacija nastaju neke optičke teksture vidljive polarizacijskim mikroskopom, tako prugasta tekstura nastaje nagibom linija gotovo vertikalne orijentacije, a njezine se projekcije vide kao tamne točke uz pojavu dvije ili četiri tamne trake ili pramena (vidi definiciju 4.9.2).

2. Disklinacije su defekti u orijentacijskoj središnjosti molekula za razliku od dislokacija koje su defekti u pozicijskoj središnjosti molekula.

#### 4.8 Optička tekstura

##### *Optical texture*

Slika uzorka kapljeviteg kristala pod mikroskopom s ukrštenim polarizatorima.

Opaska:

Optička tekstura posljedica je površinskih orijentacija vektora smjera na granicama uzorka kao i defekata u uzorku.

#### 4.9 Nematičke teksture

##### *Nematic textures*

##### 4.9.1 Nematička kapljica

##### *Nematic droplet*

Sferna kapljica koja nastaje pri prijelazu iz izotropne faze u nematičku mezofazu. Ima karakterističnu teksturu ovisnu o veličini kapljice i orijentaciji vektora smjera u nematičko-izotropnoj međufazi.

Opaska:

Nematičke kapljice pokazuju teksturu svojstvenu nematičkoj mezofazi, budući da se drugdje ne pojavljuju.

##### 4.9.1.1 Bipolarna kapljična tekstura

##### *Bipolar droplet texture*

Tekstura s dva točkasta defekta na polovima nematičke kapljice.



Opaske:

1. Pol je položaj na kraju vektora smjera kapljice.
2. Točkasti defekti se nazivaju **boojums** ("mistična figura", nikad opisana niti ilustrirana – vidi: L. Carrol: "Lov na Snarka").
3. Bipolarna se kapljična tekstura pojavljuje kada se vektor smjera nalazi u ravnini nematičko-izotropne međufaze.

#### 4.9.1.2 Radijalna kapljična tekstura *Radial droplet texture*

Tekstura s točkastim defektom u središtu nematičke kapljice.

Opaske:

1. Točkasti defekt obično nastaje kad je vektor smjera okomit na nematičko-izotropnu međufazu.
2. Radijalna kapljična tekstura pokazuje četiri tamna pramena smještena u područjima gdje je vektor smjera u ravnini polarizacije polarizatora ili analizatora.

#### 4.9.2 Prugasta (brazdasta) tekstura *Schlieren texture*

Tekstura opažena kod glatkih uzoraka ravne površine među ukriženim polarizatorima, a pokazuje mrežu crnih pramenova što povezuju središta točkastih i linijskih defekata.

Opaske:

1. Crni se pramenovi nazivaju i crne pruge ili prugasti pramenovi.
2. Crni pramenovi su smješteni u područjima gdje je vektor smjera u ravnini polarizacije polarizatora ili analizatora.
3. Prugaste teksture opažene u nematičkim uzorcima s planarnom usmjerenošću pokazuju središta defekta uz pojavu dva ili četiri pramena. Prugaste teksture u nematičkim uzorcima s kosom usmjerenošću, pokazuju centre s četiri pramena; centri sa dva pramena posljedica su defekta stijenki.
4. Tanak uzorak smektičke faze C sa slojevima paralelnim površinama uzorka daje prugaste teksture s centrima koji imaju četiri pramena. Međutim, smektička faza C, koju tvore **kapljeviti kristalni dimeri s neparnim brojem članova** (vidi definiciju 2.11.2.9, opaska 5.) ima prugastu teksturu s dva ili četiri pramena.

#### 4.9.2.1 Jezgra *Nucleus*

Centar točkastog ili linijskog defekta od kojeg potječu crni pramenovi kad se kapljeviti kristal promatra između ukriženih polarizatora.

Opaska:

Jezgra može predstavljati ili kraj linije disklinacije koja završava na površini uzorka ili izolirani defekt.

#### 4.9.2.2 Disklinacijska čvrstoća *Disclination strenght*

Preporučena oznaka: **s**

Broj okretaja vektora smjera za  $2\pi$  oko centra defekta.

$$|s| = \frac{\text{broj pramenova}}{4}$$

Opaske:

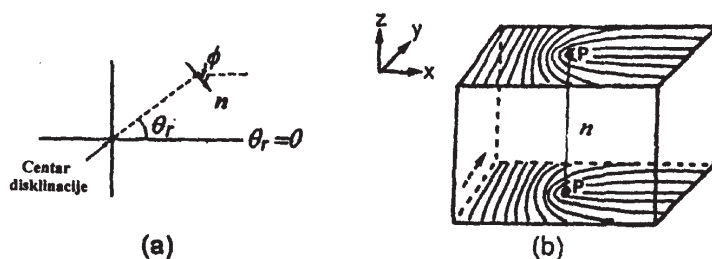
1.  $s$  je pozitivan kad pramenovi skreću u smjeru polarizatora i analizatora pri zajedničkoj rotaciji, a negativan kad pramenovi rotiraju u suprotnom smjeru.
2.  $s$  može biti cijeli broj ili polovina cijelog broja budući da se u nematičima vektori smjera  $+n$  i  $-n$  ne razlikuju.
3. Kutna se raspodjela  $\phi$  vektora smjera oko defekta u nematičkoj planarnoj teksturi, u X-Y-projkciji, može izraziti pomoću polarnog kuta  $\theta_r$ .

$$\phi = s\theta_r + \phi_0,$$

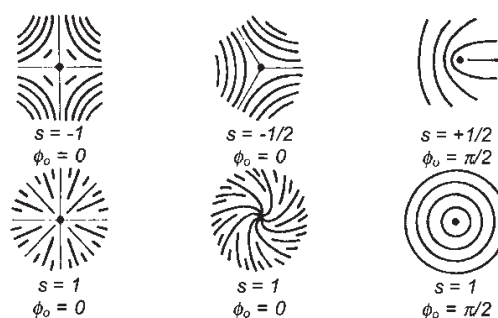
gdje je  $\theta_r$  kutna polarna koordinata date točke u odnosu na centar disklinacije,  $\phi$  je kut koji u toj točki zatvaraju os lokalnog vektora smjera i os  $\theta_r = 0$ ,  $\phi_0$  je konstanta ( $0 < \phi_0 < 2\pi$ ) (vidi sliku 22).

Umnožak  $s\theta_r$  daje kut za koji se vektor smjera zakreće na zatvorenoj krivulji oko centra disklinacije. Ako je napravljen puni krug oko centra disklinacije,  $s = \pm 1/2$ , vektor smjera rotira za  $\pi$ . Za slučaj  $s = \pm 1$ , vektor smjera rotira za  $2\pi$ . Znači,  $s = \pm 1/2$  se definira kao  $\pi$ -**disklinacija**, a  $s = \pm 1$  kao  $2\pi$ -**disklinacija**.

4. Usmjerenosti vektora smjera za točkaste defekte s različitim vrijednostima  $s$  prikazane su na slici 23.



Slika 22 – (a) Kutovi  $\phi$  i  $\theta_r$ , kojima se opisuje disklinacija, (b) Prikaz vektora smjera  $s = \pm 1/2$ . Točka  $s = +1/2$  (točka P) predstavlja spojište vektora smjera s površinom uzorka. Usmjerenost vektora smjera odnosno njegovog polja ne mijenja se uzduž osi z. Polje vektora smjera nacrtano je samo na gornjoj i donjoj plohi.



Slika 23 – Shematski prikaz usmjerenosti vektora smjera pri disklinacijama s različitim vrijednostima  $s$  i  $\phi_0$ ;  $s = \pm 1/2$  odgovara defektima s dvama pramenovima, a  $s = \pm 1$  defektima s četirima pramenovima.

### 4.9.3 Nitasta tekstura *Threaded texture*

Tekstura s  $\pi$ -linijskim disklinacijama, koje su gotovo paralelne s površinama između kojih je smješten uzorak, završni su dijelovi linija priljubljeni uz površinu, a ostali su dijelovi slobodno pokretljivi u kapljevitom kristalu pa izgledaju kao tanke nitaste linije.

#### 4.9.3.1 Površinska linija disklinacije *Surface disclination line* Prijanjajuća nit *Adhering thread*

Debela nitasta linija uzdužno priljubljena uz gornju ili donju površinu između kojih je smješten uzorak.

### 4.9.4 Mramorasta tekstura *Marbled texture*

Tekstura sastavljena od nekoliko područja s različitim orijentacijama vektora smjera.

Opaska:

Pri promatranju uzorka mramoraste teksture kroz ukrížene polarizatore, interferencijske boje je u osnovi jednolična unutar svakog područja, ukazujući na homogenost.

### 4.10 Smektičke teksture *Smectic textures*

#### 4.10.1 Štapić *Bâtonnet*

Kapljica, obično nema oblik sfere, koja nastaje pri nukleaciji smektičke faze iz izotropne.

#### 4.10.2 Žarišno-stožasta domena *Focal-conic domain*

Domena oblikovana omatanjem deformiranih smektičkih slojeva oko dva konfokalna linijska defekta održavanjem jednake udaljenosti strukturnih slojeva, osim u blizini linija defekta.

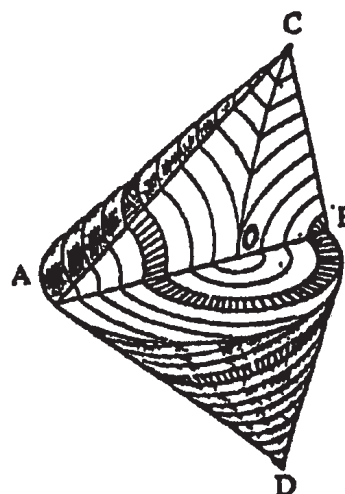
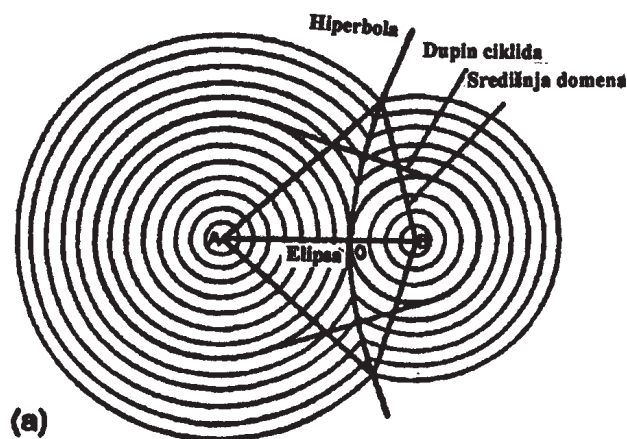
Opaske:

1. Vidi sliku 24. Konfokalni linijski defekti mogu biti elipsa i hiperbola ili dvije parabole.
2. Smektički slojevi unutar žarišno-stožaste domene poprimaju poredak Dupin ciklida, budući da se u takvim figurama javljaju koncentrični krugovi nastali presjecanjem elipse i hiperbola. Posebno im je svojstvo zadržavanje ekvidistantnosti koncentričnih krugova.
3. Žarišno-stožasta domena nastala oko elipse i hiperbole najčešći je oblik defekata u termotropnim smektičkim fazama A. Hiperbola prolazi žarištem (fokusom) elipse, a elipsa prolazi žarištem (fokusom) hiperbole (vidi sl. 24).

4. U graničnom slučaju žarišno-stožaste domene elipsa-hiperbola elipsa postaje pravac koji prolazi središtem kružnice.

5. Žarišno-stožasta domena nastala oko dviju konfokalnih parabola naziva se **žarišno-stožasta fokusirana domena**.

6. U bilo kojoj točki unutar žarišno-stožaste domene, vektor smjera je orijentiran uzduž pravca povučenog kroz točku i dvije linije defekta (elipsa i hiperbola, dvije parabole ili kružnica i pravac). Vidi npr. BD, BC i BO, sl. 24.



Slika 24– Dupin ciklida i konstrukcija idealne žarišno-stožaste domene: (a) vertikalni presjek pokazuje slojeve strukture; naglašene linije predstavljaju elipsu, hiperbolu, Dupin ciklida i središnju domenu; (b) žarišno-fokusirana domena – prikaz strukturnih slojeva s poretkom molekula unutar jedne od domena

#### 4.10.3 Poligonalna tekstura *Polygonal texture*

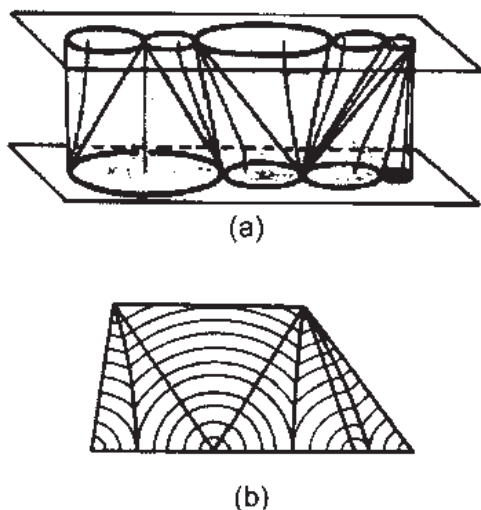
Tekstura sastavljena od žarišno-stožastih domena tipa elipsa-hiperbola s vidljivim elipsama ili njihovim dijelovima, smještenim na graničnim površinama.

Opaske:

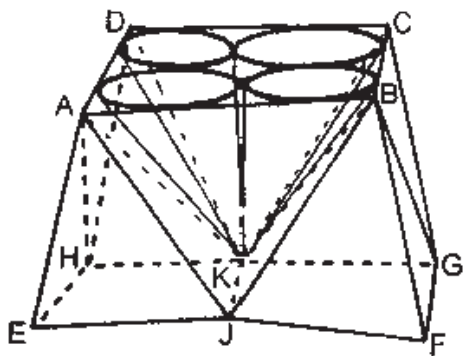
1. Vidi slike 25a i 25b.
2. Jedna grana hiperbole (iznad ili ispod ravnine elipse) obično nedostaje u poligonalnoj teksturi.

3. Susjedne domene tvore skupine domena sa zajedničkim vrhom u kojem se hiperbole domena međusobno spajaju. Ta zajednička točka nalazi se na površini nasuprot površine koja sadrži elipse (vidi sl. 26). Svaka skupina je povezana poligonom koji tvore hiperbolične i eliptične osi; one su dijelovi žarišno-stožastih domena koje omogućuju glatku izmjenu smektičkih slojeva između domena različitih skupina. Te domene su tetraedri na sl. 26.

4. Smektički slojevi kontinuirano prelaze od jednog do drugog koničnog fokusa.



Slika 25 – Poredak smektičke poligonale tekture A: (a) opći prikaz djelotvornog popunjavanja prostora žarišno-stožastim domenama; (b) poredak smektičkih slojeva u presjeku domena.



Slika 26 – Elementi smektika A složene poligonale tekture. Gornja površina: jedan poligon sa četiri elipse. Donja površina: dva poligona. Ukupni se prostor može podijeliti u tri piramide (ABCDK, AEHJK, BFGK) i tri tetraedra (ABJK, ADHK, BCGK).

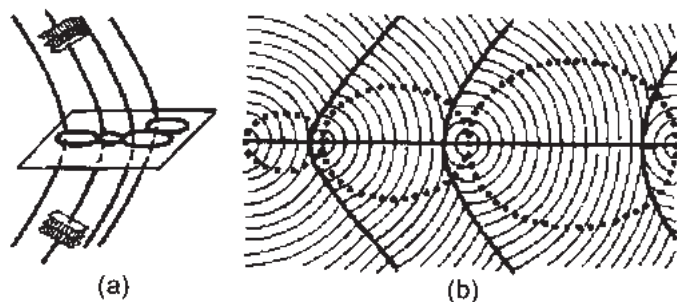
#### 4.10.4 Lepezasta žarišno-stožasta tekstura *Focal-conic, fan-shaped texture*

Tekstura koju dijelom čine žarišno-stožaste domene s hiperbolama u ravnini promatranja.

Opaske:

1. Vidi sliku 27.
2. Slojevi su usmjereni gotovo okomito na površine uzorka. Pravilni nizovi hiperbola nazivaju se "**Grandjeanove**

**granice**"; predstavljaju granične površine između domena s različitim orijentacijama vektora smjera.



Slika 27 – (a) Prikaz poretka konfokalnih elipsa i hiperbola. Vektori smjera postaju paralelni u blizini ekstrema hiperbola. (b) Struktura sloja. Točkaste elipse u ravnini skice su područja okomita na žarišno-stožaste domene.

## 5. FIZIKALNE KARAKTERISTIKE KAPLJEVITIH KRISTALA *PHYSICAL CHARACTERISTICS OF LIQUID CRYSTALS*

Opća napomena:

U ovom poglavlju vektor smjera  $\mathbf{n}$  matematički predstavlja jedinični vektor s komponentama  $n_1, n_2, n_3$  uzduž prostorno fiksiranih osi  $X_1, X_2, X_3$ .

### 5.1. Parametar sredenosti *Order parameter*

Preporučena oznaka:  $\langle P_2 \rangle$

Parametar karakterističan za orijentacijsku sredenost dugog dosega, u odnosu na vektor smjera:

$$\langle P_2 \rangle = (3 \langle \cos^2 \beta \rangle - 1) / 2,$$

gdje je  $\beta$  kut između osi molekulske simetrije i vektora smjera, a  $\langle \rangle$  označuje prosječnu vrijednost.

Opaske:

1.  $\langle P_2 \rangle$  karakterizira molekulsku sredenost dugog dosega.
2. Za štapičaste molekule parametar sredenosti osi efektivne molekulske simetrije za nematičko-izotropni prijelaz je oko 0,3 i može se povećati do 0,7 za nematičku mezofazu.
3. Molekule koje tvore nematogene nemaju strogo cilindričnu simetriju i imaju orijentacijsku sredenost koja se može prikazati Saupeovom matricom, čiji su elementi:  $S_{\alpha\beta} = (3 \langle \alpha | \beta \rangle - \delta_{\alpha\beta}) / 2$ , gdje su  $1\alpha$  i  $1\beta$  kosinusi kuta između vektora smjera i molekulskih osi  $\alpha$  i  $\beta$ ,  $\delta_{\alpha\beta}$  je Kroeneckerov delta, a  $\alpha$  i  $\beta$  označavaju molekulske osi  $X, Y, Z$ .
4. Tvorbene molekule nematogene su rijetko krute te je njihova orijentacijska sredenost određena Saupeovom matricom drugog reda za svaku krutu podjedinicu.

5. Za molekule cilindrične simetrije,  $\langle P_2 \rangle$  ne omogućuje potpuni opis orijentacijske sredenosti. Takav opis zahtijeva monomodalnu funkciju orijentacijske raspodjele, koja se može prikazati ekspanzijom Legendreovih polinoma  $P_L \cos \beta$ , gdje je  $L$  parni cijeli broj. Koeficijenti ekspanzije su proporcionalni parametrima sredenosti  $\langle P_L \rangle$  istog reda, tj. parametrima sredenosti koji omogućuju potpun opis orijentacijske sredenosti dugog doseg.

## 5.2 Distorzija (izvijanje) u kapljevitim kristalima *Distorsion in liquid crystals*

Preporučena oznaka: **a**

Deformacija koja dovodi do promjene vektora smjera. Distorzija je opisana tenzorom trećeg reda:

$$a_{3ij} = n_3 (\delta n_i / \delta x_j)$$

Početna orijentacija vektora smjera  $\mathbf{n}$  odabrana je kao troosna:  $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; n_3 = 1, n_i$  je  $i$ -ta komponenta vektora smjera  $\mathbf{n}$ , a  $x_j$  je koordinata na osi  $X_j$ .

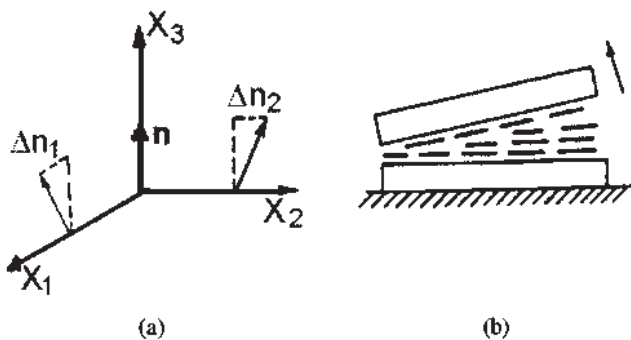
### 5.2.1 Kosa deformacija *Splay deformation*

Preporučena kratica: **S-deformacija**

Deformacija u smjeru okomitom na početni vektor smjera  $\mathbf{n}$  kad je  $\text{div } \mathbf{n} \neq 0$ .

Opaske:

1. Vidi sliku 28 i definiciju 5.3.
2. Kosa deformacija opisana je derivacijama  $n_3(\delta n_1/\delta x_2)$  i  $n_3(\delta n_2/\delta x_1)$ , različitim od nule. Definicija 5.2.



Slika 28 – Shematski prikaz kose deformacije: (a) promjene komponenti vektora smjera  $\mathbf{n}$  definiraju orijentacijsku promjenu; (b) kosa deformacija orijentiranog sloja nematičkog kapljevitog kristala

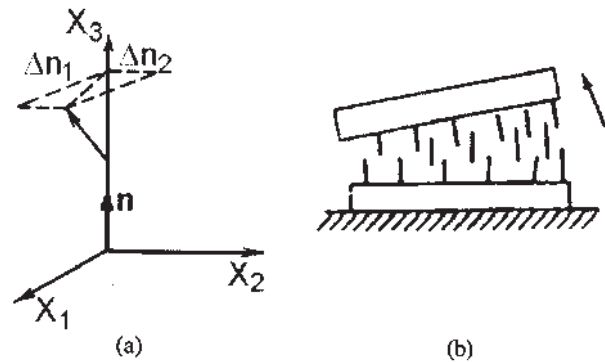
### 5.2.2 Savojna deformacija *Bend deformation*

Preporučena kratica: **B-deformacija**

Deformacija u smjeru početnog vektora smjera  $\mathbf{n}$  kad je  $\mathbf{n} \times \text{rot } \mathbf{n} \neq 0$ .

Opaske:

1. Vidi sliku 29 i definiciju 5.3.
2. Stupanj savijanja je izražen komponentom  $\text{rot } \mathbf{n}$  okomito na  $\mathbf{n}$ .
3. Savojna deformacija opisana je derivacijama  $n_3(\delta n_1/\delta x_3)$  i  $n_3(\delta n_2/\delta x_3)$ , različitim od nule. Definicija 5.2.



Slika 29 – Shematski prikaz savojne deformacije: (a) promjene komponenti vektora smjera  $\mathbf{n}$  definiraju orijentacijsku promjenu; (b) savojna deformacija orijentiranog sloja nematičkog kapljevitog kristala

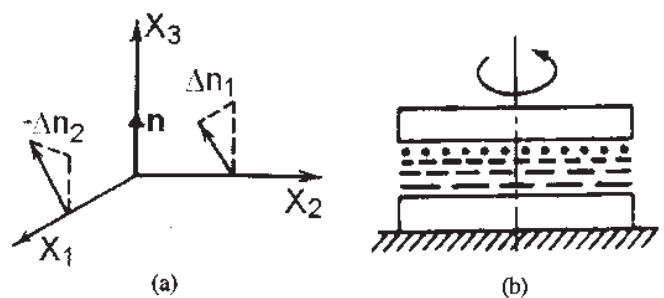
### 5.2.3 Deformacija uvijanja *Twist deformation*

Preporučena kratica: **T-deformacija**

Torzijska deformacija planarno-orijentiranog sloja u smjeru početnog vektora smjera  $\mathbf{n}$  kad je  $\mathbf{n} \text{ rot } \mathbf{n} \neq 0$ .

Opaske:

1. Vidi sliku 30 i definiciju 5.3.
2. Stupanj uvijanja izražen je komponentom  $\text{rot } \mathbf{n}$  paralelno s  $\mathbf{n}$ .
3. Deformacija uvijanja definirana je derivacijama  $n_3(\delta n_1/\delta x_2)$  i  $-n_3(\delta n_2/\delta x_1)$ , različitim od nule. Definicija 5.2.



Slika 30 – Shematski prikaz deformacije uvijanja: (a) promjene komponenti vektora smjera  $\mathbf{n}$  definiraju orijentacijsku promjenu; (b) deformacija uvijanja sloja nematičkog kapljevitog kristala



### 5.3 Konstante elastičnosti

#### *Elastic constants*

#### Modul elastičnosti

#### *Elasticity moduli*

Preporučena oznaka:  $K_i$ ,  $i = 1, 2, 3$

Jedinica:  $\text{N m}^{-2}$

Koeficijenti  $K_1$ ,  $K_2$  i  $K_3$  u izrazu za gustoću Gibbsove energije distorzije,  $g$ , voluminoznog kapljevitoz nematičkog kristala;

$$g = g_0 + \frac{1}{2} [K_1 (\text{div } n)^2 + K_2 (n \times \text{rot } n)^2 + K_3 (n \times \text{rot } n)^2]$$

gdje je  $g_0$  gustoća Gibbsove energije nedeformiranog (nedistorziranog) kapljevitoz kristala,  $n$  je vektor smjera, a  $K_1$ ,  $K_2$  i  $K_3$  su konstante elastičnosti za kosu, savojnu i deformaciju uvijanja.

Opaske:

1. U jednadžbi za  $g$  član  $g_0$  obično je nula jer je nedistorzirano stanje nematika stanje uniformne usmjerenosti. Međutim, za kiralne nematike vrijednost  $g_0$  različita od nule omogućuje intrinzično uvijanje u strukturi. Kako bi se opisao  $g$  za smektičke faze s djelomičnim karakteristikama krutog stanja, koje je posljedica deformacija položaja molekula, potreban je dodatni član.

2. Za niskomolekulske štapičaste nematike, konstanta savijanja  $K_3$  je najveća, dok je konstanta uvijanja  $K_2$  najmanja. Vrijednosti za  $K_1$  su  $10^{-11}$  do  $10^{-12} \text{ N m}^{-2}$ .

3. Imena Oseen, Zocher i Frank povezana su s razvojem teorije elastičnog ponašanja nematika. Navedene se konstante elastičnosti mogu opisati kao **Oseen-Zocher-Frankove konstante**, a često se rabi naziv **Frankove konstante**.

### 5.4 Leslie-Ericksenovi koeficijenti

#### *Leslie-Ericksen coefficients*

Preporučena oznaka:  $\alpha_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

Jedinica: Pa s

Za opisivanje dinamike nestlačivih nematičkih kapljevitoz kristala potrebno je šest koeficijenata viskoznosti.

Opaske:

1. Primjenom Onsagerovog recipročnog izraza za ireverzibilne procese:

$$\alpha_2 + \alpha_3 = \alpha_6 - \alpha_5$$

broj nezavisnih koeficijenata reducira se na pet.

2. Za nematike sastavljene od niskomolekulskih spojeva, Leslievi koeficijenti su u području  $10^{-2}$  do  $10^{-1} \text{ Pa s}$ .

### 5.5 Miesowiczov koeficijent

#### *Miesowicz coefficient*

Preporučena oznaka:  $\eta_i$ ,  $i = 1, 2, 3$

Jedinica: Pa s

Omjer smičnog naprezanja,  $\sigma$ , prema gradijentu smične brzine,  $\gamma$ , za nematički kapljevitoz kristal s određenom orijentacijom vektora smjera, označenog sa  $i$ , djelovanjem vanjskog polja je:

$$\eta_i = \sigma/\gamma$$

Opaske:

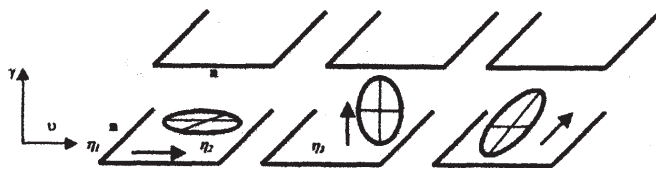
1. Tri Miesowiczeva koeficijenta ( $\eta_1$ ,  $\eta_2$  i  $\eta_3$ ) opisuju smičnu tecivost nematičke faze s tri različite orijentacije vektora smjera (vidi sliku 31), tako je:  $\eta_1$  za vektor smjera paralelan s osi smične tecivosti;  $\eta_2$  za vektor smjera paralelan gradijentu brzine; i  $\eta_3$  za vektor smjera okomit na smičnu tecivost i gradijent brzine.

2. Obično je  $\eta_1 < \eta_2 < \eta_3$ .

3. Miesowiczevi koeficijenti su povezani s Leslie-Ericksonovim koeficijentima izrazima (vidi def. 5.4):

$$\eta_1 = 0,5(\alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_6), \alpha_2 = 0,5(\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_2), \eta_3 = 0,5(\alpha_4)$$

4. Vanjsko polje za usmjeravanje vektora smjera treba biti dovoljno jako da vektor smjera ostane usmjeren za vrijeme tečenja.



Slika 31 – Shema usmjerenosti vektora smjera nematičke faze pri smičnom tečenju brzinom  $v$  i odgovarajući Miesowiczovi koeficijenti.

### 5.6 Koeficijenti trenja

#### *Friction coefficients*

#### Koeficijenti rotacijske viskoznosti

#### *Rotational viscosity coefficients*

Preporučena oznaka:  $\gamma_i$ ,  $i = 1, 2$

Jedinica: Pa s

Koeficijenti koji određuju energiju rasipanja povezanu s rotacijom vektora smjera u nestlačivom, nematičkom kapljevitoz kristalu.

Opaske:

1. Koeficijenti rotacijske viskoznosti su reda  $10^{-2}$  do  $10^{-1} \text{ Pa s}$  za niskomolekulske kapljevite kristale; za polimerne kapljevite kristale njihova vrijednost znatno ovisi o molekuloj masi polimera.

2. Koeficijenti trenja mogu se izraziti pomoću Leslievih koeficijenata (vidi definiciju 5.4):

$$\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_2, \quad \gamma_2 = \alpha_6 - \alpha_5$$

3.  $\gamma_1$  se često naziva **rotacijska viskoznost** ili **viskoznost uvijanja**, tj. viskoznost povezana s rotacijom vektora smjera bez tečenja materijala.

## 5.7 Protutečenje *Backflow*

Gibanje kapljevitog kristala povezano s brzinom promjene vektora smjera u smjeru suprotnom djelovanju vanjskog polja.

## 5.8 Anizotropija fizikalnih svojstava *Anisotropy of physical properties*

Ovisnost nekih fizikalnih svojstava o smjeru (dielektrična konstanta, indeks loma i magnetska susceptibilnost). Odgovarajuća anizotropna molekulska svojstva posljedica su orijentacijske sredenosti mezofaze dugog doseg.

Opaska:

Simetrija tenzora prosječnog anizotropnog svojstva ne može biti niža od simetrije faze.

### 5.8.1 Anizotropija jednoosne mezofaze *Uniaxial mesophase anisotropy*

Preporučena oznaka:  $\Delta\tilde{\chi}$

Vrijednost svojstva  $\tilde{\chi}$  paralelnog vektoru smjera,  $\tilde{\chi}_{||}$ , umanjena za vrijednost okomitu na vektor smjera,  $\tilde{\chi}_{\perp}$ :

$$\Delta\tilde{\chi} = \tilde{\chi}_{||} - \tilde{\chi}_{\perp}$$

Opaske:

1. Tilda ( $\sim$ ) označava svojstvo kapljevite kristalne mezofaze.
2.  $\Delta\chi$  omogućuje određivanje orijentacijske sredenosti mezofaze i nužno nestaje u izotropnoj fazi.
3. Za mezofaze sastavljene od cilindričnih simetričnih molekula postoji precizan odnos između **magnetske anizotropije**,  $\Delta\chi$ , i orijentacijskog parametra drugog reda  $\langle P_2 \rangle$  (vidi definiciju 5.1).

$$\Delta\tilde{\chi} = \frac{2}{3} (\tilde{\chi}_{zz} - \tilde{\chi}_{xx}) \langle P_2 \rangle$$

### 5.8.2 Anizotropije dvoosne mezofaze *Biaxial mesophase anisotropies*

Preporučene oznake:  $\Delta\tilde{\chi}$  i  $\delta\tilde{\chi}$

Uz tri glavne osi faze koje odgovaraju trima vektor smjera,  $\mathbf{l}$ ,  $\mathbf{m}$  i  $\mathbf{n}$  (vidi definiciju 3.3, opaska 1), označene s X, Y i Z, tako da je  $\Delta\tilde{\chi}_{zz} > \Delta\tilde{\chi}_{xx} > \Delta\tilde{\chi}_{yy}$ , glavna anizotropija dvoosne mezofaze,  $\Delta\chi$ , definirana je sljedećom jednadžbom:

$$\Delta\tilde{\chi} = \tilde{\chi}_{zz} - \frac{1}{2} (\tilde{\chi}_{xx} + \tilde{\chi}_{yy})$$

a anizotropija dvoosne mezofaze je:

$$\delta\tilde{\chi} = (\tilde{\chi}_{xx} - \tilde{\chi}_{yy})$$

Opaske:

1. Dvoosna sredenost mezofaze dugog doseg znači da tri glavne komponente tenzorskog svojstva drugog reda neće biti jednake, dakle, postoje dvije mjere anizotropije  $\Delta\tilde{\chi}$  i  $\delta\tilde{\chi}$ .
2. Pri prijelazu u jednoosnu mezofazu  $\delta\tilde{\chi}$  nestaje. **Relativna dvoosnost**,  $\eta$ , definirana je kao omjer  $\delta\tilde{\chi}$  prema  $\Delta\tilde{\chi}$ .

## 5.9 Fero-električni efekti *Ferro-electric effects*

Fero-električna mezofaza pojavljuje se pri gubitku simetrije kose smektičke mezofaze uvođenjem molekulske kiralnosti, dakle, mezofazne kiralnosti.

Opaska:

1. Kad broj slojeva suprotnih nagiba smjerova nije jednak, smektička mezofaza ima fero-električna svojstva.
2. Pojava spontane polarizacije,  $|P_s|$ , u kiralnim kosim smektičkim mezofazama posljedica je sredenosti dugodosega poprečnih (transverzalnih) molekulskih električnih dipola.
3. Polarizacija  $|P_s|$ , se može potaknuti između dva stabilna stanja vanjskim električnim poljem (E); stanja su stabilna pri nultom električnom polju.
4. Vrijeme poticanja,  $\tau$ , izraženo je kao:

$$\tau = \gamma_1 \sin\theta / P_s \cdot E,$$

gdje je  $\gamma_i$  viskoznost uvijanja (vidi definiciju 5.6, opaska 3), a  $\theta$  je kut nagiba.

5. Ovisnost spontane polarizacije o komponenti poprečnog molekuskog dipola,  $\mu_t$ , gustoći,  $\rho$  i polarnom ili parametru matrice prvog reda,  $\langle \cos\varphi \rangle$ , i srednjoj vrijednosti  $\cos\varphi$ , gdje je  $\varphi$  kut između transverzalne osi i kraćeg vektora smjera (vidi definiciju 3.3), a izražena je:

$$|P_s| = \rho \mu_t \langle \cos\varphi \rangle$$

6. Za kiralne smektičke mezofaze C vrijednosti spontane polarizacije,  $|P_s|$ , su između  $10^{-3}$  i  $10^{-4}$  C m<sup>-2</sup>.
7. Kad smjer nagiba alternira od sloja do sloja, smektička mezofaza je antifero-električna; takve mezofaze ne pokazuju spontanu polarizaciju. Primjenom električnog polja mogu se pretvoriti u fero-električne strukture.

## 5.10 Fréederickszov prijelaz *Fréedericksz transition*

Elastična deformacija vektora smjera, inducirana magnetskim ili električnim poljem, u uniformno orijentiranom filmu nematika smještenom između dviju površina.



Opaske:

1. Fréederickszov prijelaz se pojavljuje kad jakost primijenjenog polja prelazi graničnu vrijednost (vidi definiciju 5.11).
2. Za magnetsko polje taj prag je definiran kao:

$$B_{th} = \frac{\pi}{d} \left( \frac{\mu_0 K_i}{\Delta\chi} \right)^{1/2},$$

gdje je  $B_{th}$  prag gustoće magnetskog fluksa,  $d$  je debljina nematičkog filma,  $\mu_0$  je permeabilnost vakuuma i  $\Delta\chi$  je magnetska anizotropija (vidi definiciju 5.8.1). Konstanta elastičnosti  $K_i$  ovisi o geometriji eksperimenta.

3. Za električno polje prag je definiran kao:

$$E_{th} = \frac{\pi}{d} \left( \frac{\varepsilon_0 K_t}{\Delta\varepsilon} \right)^{1/2},$$

gdje je  $\varepsilon_0$  je permitivnost vakuuma, a  $\Delta\varepsilon$  je dielektrična anizotropija (vidi definiciju 5.8.1).

### 5.11 Elektroklinalni efekt *Electroclinic effect*

Nagib u mezofazi A naziva se elektroklinalni efekt.

Opaska:

Kod visoko polariziranih materijala primijećeni su inducirani kutovi nagiba od  $10^\circ$ .

### 5.12 Granične jakosti polja *Threshold fields*

**Preporučene oznake:**  $E_{th}$  (prag električnog polja);  
 $B_{th}$  (prag magnetskog polja)

**Jedinice:**  $Vm^{-1}$  i T

Kritična jakost električnog ili magnetskog polja potrebna za promjenu ravnotežne usmjerenosti, narinuta s graničnih površina.

Opaska:

Vidi definiciju 5.10; Opaske 1–3.

### 5.13. Elektrohodinamičke nestabilnosti *Electrohydrodynamic instabilities*

**Preporučena kratica:** EHD nestabilnosti

Nestabilnosti uzrokovane anizotropijom vodljivosti, a odgovaraju periodičkoj deformaciji usmjerenosti vektora smjera u nematičkoj monodomenu djelovanjem istosmjernog ili nisko frekventne izmjenične struje.

Opaske:

1. Za definiciju monodomene vidi 4.2.
2. Osnovni električni parametri koji određuju EHD-nestabilnost su dielektrična anizotropija,  $\Delta\varepsilon$  i anizotropija (ionske) vodljivosti,  $\Delta\sigma$ .

Distorzija vektora smjera, prostorni naboji i gibanje fluida ovisi o primijenjenom električnom polju. Iznad određenog praga povećavaju se fluktuacije tih veličina, a EHD-nestabilnosti rastu.

### 5.14 Williamsove domene *Williams domains* Kapustinove domene *Kapustin domains*

Područja kapljevito kristala sa specifičnom periodično staničnom slikom tečenja u obliku dugih valjaka, potaknuto primjenom električnog polja okomito na nematički sloj s početnom planarnom orijentacijom vektora smjera.

Opaske:

1. Nematički kapljeviti kristal mora imati negativnu dielektričnu anizotropiju ( $\Delta\varepsilon < 0$ ) i pozitivnu anizotropiju vodljivosti ( $\Delta\sigma > 0$ ). Optička tekstura koja odgovara prethodno spomenutom modelu tečenja sastoji se od niza pravilno razmaknutih crnih i bijelih pruga okomitih na početni pravac vektora smjera. Te pruge su uzrokovane periodičnim promjenama indeksa loma posebne zrake izazvane promjenama orijentacije vektora smjera.

2. Domene postoje samo unutar uskog područja napona (vidi definiciju 5.14)

### 5.15 Oblik dinamičkog raspršenja *Dynamic scattering mode*

**Preporučena kratica:** DSM

Stanje kapljevito kristala koje pokazuje jako raspršenje svjetla zbog turbulentnog tečenja koje potječe od primjene napona većeg od određene kritične vrijednosti.

Opaske:

1. Pri DSM-u, Williamsove (Kapustinove) domene postaju iskrivljene i pokretne, a makroskopska je usmjerenost vektor smjera potpuno poremećena.
2. Kapljeviti kristal u DSM-u ima složenu optičku teksturu.

### 5.16 Flekso-električni efekt *Flexo-electric effect*

Električna polarizacija koja potječe od kose ili savojne deformacije vektora smjera nematičkog kapljevito kristala.

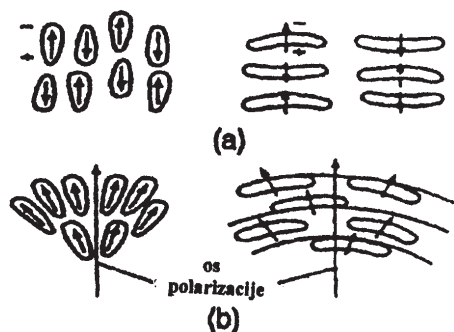
Opaske:

1. Vidi sliku 32.
2. Molekulska podrijetlo dipolnog flekso-elektriciteta poseban je oblik molekulske anizotropije (nalik kruški ili banana), a takva molekula mora i permanentni dipolni moment.
3. Čista polarizacija,  $P$ , proporcionalna je distorziji:

$$P = e_1 n(\text{div } n) + e_3(\text{rot } n) \times n,$$

gdje su  $e_1$  i  $e_3$  flekso-električni koeficijenti. Izražavaju se jedinicom za električni potencijal, tj.  $JC^{-1}$ , proizvoljnog predznaka.

4. Flekso-električni efekt odgovara piezo-električnom efektu krutina, gdje je polarizacija posljedica napetosti koja uzrokuje translacijske deformacije kristala. Flekso-električni efekt u kapljevitom kristalu posljedica je samo orijentacijske deformacije.



Slika 32 – Shematski prikaz flekso-električnog efekta: (a) struktura nedeformiranog nematičkog kapljevitog kristala s molekulama oblika kruške i banane; (b) isti kapljeviti kristal izložen kosoj i savojnoj deformaciji

### 5.17 Flekso-električna domena *Flexo-electric domain*

Domena izložena periodičnim deformacijama izazvanim inverznim flekso-električnim efektom u nematičkom kapljevitom kristalu.

Opaska:

Flekso-električna domena javlja se kad je  $\Delta\tilde{\epsilon} < \frac{4\pi e l}{K}$ , gdje je  $e$  flekso-električni koeficijent, a  $K$  je konstanta elastičnosti, uz pretpostavku da je  $K_1 = K_3 = K$ , a  $e_1 = -e_3 = e$  (vidi definicije 5.3 i 5.16).

### 5.18 Uvijena nematička ćelija *Twisted nematic cell*

Uvijeni nematički kapljeviti kristal smješten između dvije staklene ploče s vektorom smjera paralelnim s pločama, a jedna od ploča je zakrenuta u ravnini oko osi okomite na nju.

### 5.19 “Vrijeme nastajanja” elektro-optičkog učinka “Time-on” of the electro-optical effect Nastajanje elektro-optičkog učinka *Turn on time*

Preporučena oznaka:  $\tau_{on}$

Jedinica: s

Vrijeme potrebno da intenzitet svjetla vidljiv kroz ukrižene polarizatore poraste do 90 % konačne vrijednosti od stanja

koje ne pokazuje elektro-optički učinak do stanja u kojem uvijena nematička ćelija pokazuje elektro-optički učinak.

Opaska:

U stanju nepostojanja navedenog učinka elektro-optička ćelija sadrži tanki film nematičkog kapljevitog kristala s vektorom smjera okomitim na gornju i donju staklenu ploču; a da bi se postigao elektro-optički učinak, vektor smjera se zakreće za  $90^\circ$  kroz debljinu filma kapljevitog kristala.

### 5.20 “Vrijeme nestajanja” elektro-optičkog učinka “Time-off” of the electro-optical effect Nestajanje elektro-optičkog učinka *Turn-off time*

Preporučena oznaka:  $\tau_{off}$

Jedinica: s

Vrijeme potrebno da intenzitet svjetla vidljiv kroz ukrižene polarizatore padne za 90 % od stanja koje pokazuje elektro-optički efekt do stanja u kojem uvijena nematička ćelija ne pokazuje elektro-optički učinak.

Opaska:

Vidi opasku u definiciji 5.19.

### 5.21 Vrijeme razvijanja elektro-optičkog učinka *Rise time*

Jedinica: s

Vrijeme potrebno da se intenzitet svjetla promijeni od 10 % do 90 % maksimalnog intenziteta od stanja koje ne pokazuje elektro-optički učinak do stanja kada neka nematička ćelija pokazuje isti.

Opaska:

Vidi opasku u definiciji 5.19.

### 5.22 Vrijeme slabljenja elektro-optičkog učinka *Fall time*

Vrijeme slabljenja  
elektro-optičkog učinka  
*Decay time*

Jedinica: s

Vrijeme potrebno da se intenzitet svjetla promijeni od 90 % do 10 % maksimalnog intenziteta od stanja koje pokazuje elektro-optički učinak do stanja kada neka nematička ćelija ne pokazuje isti.

Opaska:

Vidi opasku u definiciji 5.19.

### 5.23 “Gost-domaćin” efekt *Guest-host effect*

Poljem inducirana promjena orijentacije ili dikroidnih molekula (gost) otopljenih u mezofazi (domaćin) ili karakterističnih dikroidnih dijelova (gost) polimera (domaćin) koja dovodi do promjena u apsorpcijskim spektrima mezomorfne smjese.

## 6. KAPLJEVITI KRISTALNI POLIMERI *LIQUID-CRYSTAL POLYMERS*

### 6.1 Kapljeviti kristalični polimer *Liquid-crystal polymer*

Polimerni kapljeviti kristal  
*Polymer liquid-crystal*

Kapljeviti kristalni polimer  
*Liquid-crystalline polymer*

Preporučena kratica:  
LCP i PLC

Polimerni materijal koji pri pogodnim uvjetima temperature, tlaka i koncentracije postoji kao mezofaza LC.

### 6.2 Polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u glavnom lancu *Main-chain polymer liquid-crystal*

*Main-chain polymer liquid-crystal*

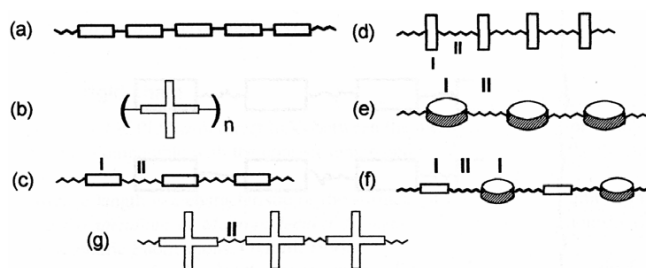
Kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u glavnom lancu  
*Main-chain liquid-crystalline polymer*

Preporučena kratica:  
MCPLC i MCLCP

Polimeri s molekulama mezogena samo u glavnom lancu.

Opaske:

1. MCPLC nastaje povezivanjem razmjerno krutih jedinica izravno ili preko odgovarajućih funkcionalnih skupina (vidi sliku 33).
2. Krute jedinice (I) mogu biti povezane: (a) izravno ili (b–g) fleksibilnim razmaknicama (poveznicama) (II) (vidi definiciju 6.4).
3. MCPLC s mezogenim skupinama oblika križa (b ili g) poznat je kao **križni (ili zvjezdasti) kapljeviti kristalni polimer**.
4. Krute jedinice mogu imati (često nemaju) izvorni mezogeni karakter.



Slika 33 – Primjeri polimernih kapljevutih kristala u glavnom lancu; I – mezogena skupina; II – razmaknica (poveznica)

### 6.3 Polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u bočnoj skupini ili lancu *Side-group or side-chain polymer liquid crystal*

Kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u bočnoj skupini ili lancu  
*Side-group or side-chain liquid crystalline polymer*

Polimer s mezogenim bočnim skupinama ili lancima  
*Polymer with mesogenic side-groups or side-chains*

Češljasti polimerni kapljeviti kristal  
*Comb-shaped, comb-like polymer liquid-crystal*

Preporučene kratice:  
SGPLC i SCPLC, SGLCP, SCLCP

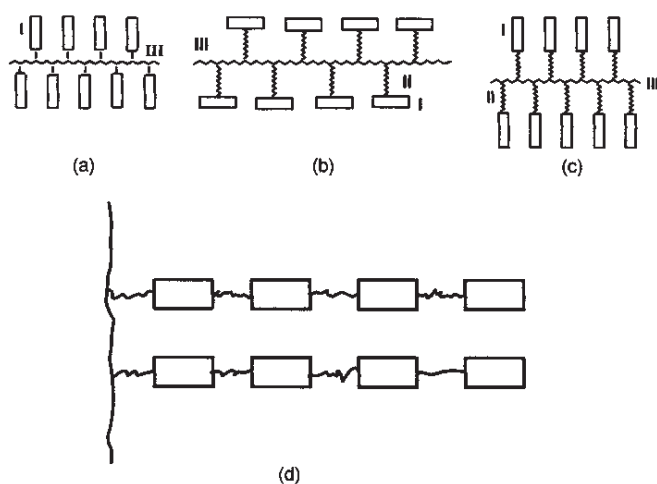
Polimer čije molekule imaju mezogene jedinice samo u skupinama bočnih lanaca.

Opaske:

1. Mezogene skupine (I) u SGPLC mogu biti vezane na glavni lanac (III): (a) izravno ili (b, c) fleksibilnim razmaknicama (poveznicama) (II) (vidi sliku 34).
2. Strukture prikazane na slici 34 (d) moguće je dobiti i zamjenom bočnih skupina s lancima koji sadrže mezogene.
3. Primjeri polimera koji čine glavni lanac su poliakrilati, polimetakrilati i polisiloksani, a razmaknice (poveznice) obično su fragmenti polimetilena, poli(oksietilena) ili polisiloksana.
4. Bočne skupine tih polimera imaju strukturu koja omogućuje nastajanje kapljevutih kristala, tj. one su mezogene, ali ne po prirodi mezomorfne (vidi primjere u definicijama 2.10; 2.11.2.1).
5. Ako su mezogene bočne skupine izvorno štapičaste (kalamitne), nastali polimer može, ovisno o njegovoj finoj strukturi, pokazivati bilo koju uobičajenu vrstu kalamitnih mezofaza: nematičku, kiralno nematičku ili smektičku. Međutim, SGPLC s bočnim skupinama vezanim bočno preko razmaknice (poveznice) na glavni lanac (sl. 34b), uglavnom

su nematički ili kiralni nematički. Slično, diskaste bočne skupine nastoje formirati nematičke mezofaze oblika diska ili kolone, dok amfifilni bočni lanci nastoje formirati amfifilne ili liotropne mezofaze.

6. Moguće je prirediti više različitih vrsta kopolimera. Npr. nemezogene bočne skupine mogu se povezivati s mezogenim bočnim skupinama, a glavni polimerni lanac može biti zamijenjen, u različitom stupnju, bočnim skupinama ili lancima.



Slika 34 – Primjeri kapljevih kristalnih polimera s bočnim skupinama: I – mezogena skupina; II – razmaknica (poveznica); III – glavni lanac; (a) bočne skupine vezane izravno na glavni lanac; (b) bočne skupine vezane razmaknicom (poveznicom) bočno na glavni lanac; (c) bočne skupine vezane razmaknicom (poveznicom) krajem na glavni lanac; (d) bočni lanci vezani na glavni lanac.

## 6.4 Razmaknica, poveznica Spacer

Fleksibilni segment za povezivanje uzastopnih mezogenih jedinica u molekule MCPLC-a ili za vezanje mezogenih jedinica kao bočnih skupina na glavni polimerni lanac SGPLC-a.

Opaske:

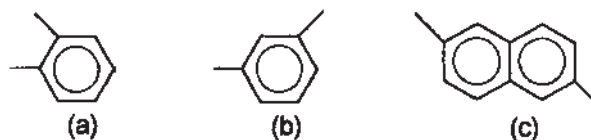
1. Primjeri razmaknica (poveznica) su lanci polimetilena, poli(oksietilena) ili polisiloksana.
2. Naziv se također rabi za skupinu koja povezuje dvije ili više mezogenih jedinica u kapljevitim kristalnim oligomerima (vidi definiciju 2.11.2.9).

## 6.5 Prekidnik Disruptor

Kemijska skupina za prekidanje linearnosti glavnog lanca molekula MCLCP-a.

Opaska:

Primjeri su (a, b) kruta petlja ili (c) jedinica oblika koljena.

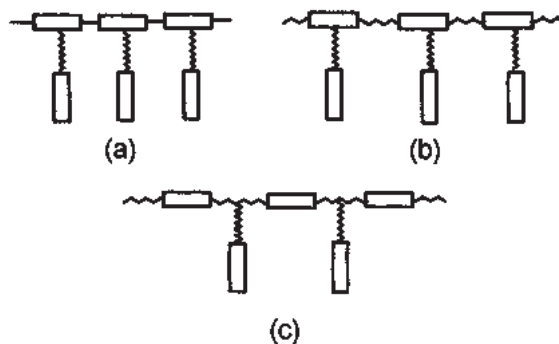


## 6.6 Kombinirani kapljeviti kristalni polimer Combined liquid-crystal polymer

Kapljeviti kristalni polimer sastavljen od makromolekula u kojima su mezogene skupine ugrađene i u glavni lanac i u bočne skupine.

Opaska:

Vidi sliku 35. Mezogene bočne skupine mogu biti vezane razmaknicama (poveznicama) kao bočni supstituenti na mezogene dijelove glavnog lanca. Mezogeni dijelovi glavnog lanca povezani su: (a) izravno, (b) razmaknicama (poveznicama) ili (c) mezogene bočne skupine vezane na razmaknice (poveznike) između mezogena glavnog polimernog lanca.



Slika 35 – Primjeri kombiniranih kapljevih kristalnih polimera

## 6.7 Kruti lanac Rigid chain

Štapičasti lanac MCPLC-a s izravno povezanim mezogenim skupinama, čija je perzistencijska duljina lanca barem usporediva s duljinom konture, a znatno je veća od promjera.

Opaske:

1. Perzistencijska duljina je karakteristika krutosti lanca za granični slučaj beskonačne duljine lanca [vidi Compendium of Macromolecular Nomenclature, W. V. Metanomski (Ed.), p. 47. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1988].
2. Polimer građen od molekula s krutim štapičastim skupinama ili lancima obično ne pokazuje termotropno mezomorfno ponašanje jer se razgrađuje prije tališta.
3. Polimer građen od molekula s krutim štapičastim skupinama ili lancima može pri pogodnim uvjetima stvarati mezofaze LC u otopini. Ponekad su te mezofaze LC opisane kao liotropne, no budući da otapalo ne potiče nastajanje nakupina ili micela, naziv liotropne nije odgovarajuć.



## 6.8 Polukruti lanac *Semi-rigid chain*

Lanac čija je duljina konture veća od perzistencijske duljine, ali je njihov omjer još uvijek ispod Gaussianove granice.

Opaska:

Neki polimeri građeni od polukrutih lanaca stvaraju amfifilne mezogene (vidi definiciju 2.11.1).

Primjeri su poliizocijanati i (2-hidroksietil)celuloza.

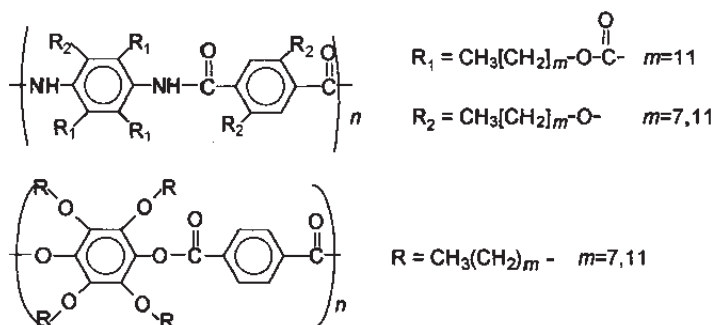
## 6.9 Pločasti polimer *Board-shaped polymer*

Polimer s krutim glavnim lancem na koji je vezan velik broj bočnih skupina dajući ponavljajućim jedinicama pločasti izgled.

Opaske:

1. Kruti glavni lanac često imaju polimeri tipa poliester, poliamida ili poli(ester-amida).

Primjeri su:



2. Polimerni LC sastavljen od makromolekula oblika ploče može se zvati pločasti LC-polimer. Takvi polimeri mogu stvarati lančane mezofaze (vidi definiciju 3.4).

## 6.10 Kapljeviti kristalni dendrimer *Liquid-crystal dendrimer*

**Dendrimerni kapljeviti kristal**

***Dendrimeric liquid-crystal***

**Dendritni kapljeviti kristal**

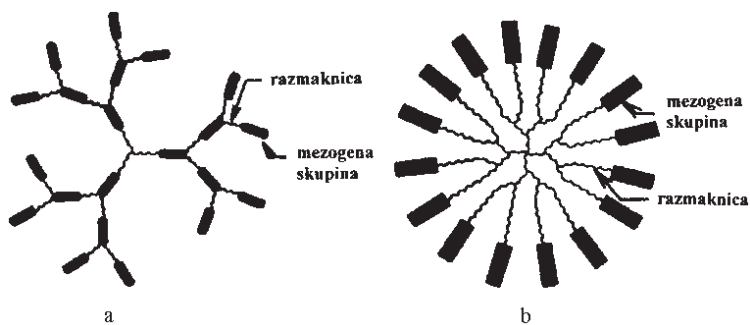
***Dendritic liquid-crystal***

Visokogradat oligomer ili polimer dendritne strukture s mezogenim skupinama koje mogu pokazivati mezofazno ponašanje.

Opaske:

1. Vidi sl. 36. Mezogene skupine mogu biti poredane uzduž lanca molekule (a) ili mogu biti završne skupine (b).

2. Mezogene skupine mogu biti npr. oblika štapića ili diska, a mogu se vezati bočno ili uzdužno na fleksibilne razmaknice (poveznike).



Slika 36 – Kapljeviti kristalni dendrimeri: (a) s mezogenim skupinama raspoređenim po cijeloj makromolekuli; (b) sa završnim mezogenim skupinama.

## 6.11 Visokogradatni kapljeviti kristalni polimer *Hyperbranched polymer liquid-crystal*

Polimer sastavljen od visokogradatih makromolekula s mezogenim skupinama čiji linearni podlanci mogu biti usmjereni u bilo kojem pravcu, do najmanje druga dva podlanca.

## 6.12 Tekstura oblika vrpce *Banded texture*

**Vrpčasta tekstura**

***Band texture***

Pojava naizmjeničnih tamnih i svjetlih vrpca nakon smicanja kod mnogih nematika s mezogenom u glavnom lancu i kod kiralnih nematičkih kapljevityh polimera.

Opaske:

1. Vrpce su uvijek okomite na glavni pravac smicanja.
2. Vrpce obično nastaju prestankom smicanja, ali pod određenim okolnostima mogu se pojaviti tijekom procesa tečenja.
3. Pojava vrpca je povezana s periodičkim promjenama orijentacije vektora smjera oko osi tečenja.

## Literatura

1. D. Demus, G. W. Gray, H. W. Spiess, V. Vill (Eds.), Handbook of Liquid Crystals, Vols. Q, 2a, 2b, and 3, Wiley-VCH, Weinheim (1998).
2. W. Brostow (Ed.), Polymer Liquid Crystals Mechanical and Thermophysical Properties, Chapman & Hall, London (1996).
3. V. Vill, LIQCRYST 2.1, Database of Liquid Crystalline Compounds for Personal Computers, LCI Publisher GmbH, Hamburg (1996).
4. L. M. Blinov, V. G. Chigrinov, Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials, Springer-Verlag, New York (1994).
5. V. P. Shibaev, Lui Lam (Eds.), Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers, Springer-Verlag, New York (1994).
6. H. Stegmeier (Ed.), Topics in Physical Chemistry, Vol. 3, Liquid Crystals, Springer, New York (1994).
7. G. R. Luckhurst, C. A. Veracini (Eds.), The Molecular Dynamics of Liquid Crystals, Kluwer, Dordrecht (1994).



8. P. G. de Gennes, J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*, 2<sup>nd</sup> ed., Clarendon Press, Oxford (1993).
9. N. A. Platé (Ed.), *Liquid-Crystal Polymers*, Plenum Press, New York (1993).
10. S. Chandrasekhar, *Liquid Crystals*, 2<sup>nd</sup> ed., University Press, Cambridge (1992).
11. A. M. Donald, A. H. Windle, *Liquid Crystalline Polymers*, Cambridge University Press, Cambridge (1992).
12. A. A. Collyer (Ed.), *Liquid Crystal Polymers: From Structures to Applications*, Elsevier Applied Science, London (1992).
13. V. Vill, "Liquid crystals" in Landolt-Börnstein. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series. Group IV: Macroscopic and Technical Properties of Matter, Vol. 7, Subvolumes a–f, Springer-Verlag, Berlin (1992 – not yet completely published).
14. A. Ciferri (Ed.), *Liquid Crystallinity in Polymers. Principles and Fundamental Properties*, VCH, New York (1991).
15. C. Noel, P. Navard, *Prog. Polym. Sci.* **16**, 55-110 (1991).
16. J. W. Goodby (Ed.), *Ferroelectric Liquid Crystals*, Gordon and Breach, Philadelphia (1991).
17. B. Bahadur (Ed.), *Liquid Crystals. Applications and Uses*, Vol. 1-3, World Scientific, Singapore, (1990/1992).
18. W. Brostow, *Polymer* **31**, 979 (1990).
19. D. Demus, *Liq. Cryst.* **5**, 75 (1989).
20. C. B. McArdle (Ed.), *Side-Chain Liquid Crystal Polymers*, Blackie, Glasgow (1989).
21. N. A. Platé, V. P. Shibaev, *Comb-Shaped Polymers and Liquid Crystals*, Plenum, New York (1988).
22. B. S. Hsiao, M. T. Shaw, E. T. Samulski, *Macromolecules* **21**, 543 (1988).
23. G. Vertogen, W. H. De Jeu, *Thermotropic Liquid Crystals, Fundamentals*, Springer Series in Classical Physics, Vol. 45, Springer-Verlag, Berlin (1988).
24. S. Chandrasekhar, N. V. Madhusudana, *Proc. Indian Acad. Sci. (Chem. Sci.)* **94** (1), 139-179 (1985).
25. A. Blumstein (Ed.), *Polymeric Liquid Crystals*. Plenum, New York (1985).
26. L. Chapoy (Ed.), *Recent Advances in Liquid-Crystalline Polymers*, Elsevier Applied Science, London (1985).
27. E. T. Samulski, *Faraday Discuss. Chem. Soc.* **79**, 7-20 (1985).
28. G. W. Gray, J. W. Goodby, *Sanidic Liquid Crystals*, Lenard Hill, Glasgow (1984).
29. B. Wunderlich, J. Grebowicz, *Adv Polym. Sci.* **60/61**, 2-59 (1984).
30. D. Demus, H. Demus, H. Zschke, *Flüssige Kristalle in Tabellen II, WEB f. Grundstoffindustrie*, Leipzig (1984).
31. W. H. De Jeu, *Phil. Trans. Roy. Soc., London, Ser. A* **304**, 217-29 (1983).
32. A. Ciferri, W. Krigbaum, R. Meyer (Eds.), *Polymer Liquid Crystals*, Academic, New York (1982).
33. H. Kelker and R. Hatz, *Handbook of Liquid Crystals*, Verlag Chemie, Weinheim (1980).
34. G. R. Luckhurst, G. W. Gray (Eds.), *The Molecular Physics of Liquid Crystals*, Academic Press, London (1979).
35. D. Demus, L. Richter, *Textures of Liquid Crystals*, Verlag Chemie, Weinheim (1978).
36. G. W. Gray, P. A. Winsor (Eds.), *Liquid Crystals and Plastic Crystals*, Vols. 1-2, Ellis Horwood, Chichester (1974).
37. D. Demus, H. Demus, H. Zschke, *Flüssige Krystalle in Tabellen*, VEB Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1974).
38. P. H. Hermans, *Contribution to the Physics of Cellulosic Fibres*, Elsevier, Amsterdam (1946).
39. M. Miesowicz, *Nature* **158**, 27 (1946).

## Abecedno kazalo naziva (englesko-hrvatski)

- adhering thread** – prijanjajuća nit, 4.9.3.1
- amphiphilic mesogen** – amfifilni mezogen, 2.11.1
- amphitropic compound** – amfitropni spoj, 2.4.4
- anisotropy of physical properties** – anizotropija fizikalnih svojstava, 5.8
- antiferro-electric chiral smectic C mesophase** – antiferro-električna kiralna smektička C mezofaza, 3.1.5.1.2
- antimesophase** – antimezofaza, 3.1.6.3
- asymmetric liquid-crystal dimer** – asimetrični kapljeviti kristalni dimer, 2.11.2.9
- backflow** – protutečenje, 5.7
- banana mesogen** – mezogen oblika banane, 2.11.2.10
- band texture** – vrpčasta tekstura, 6.12
- banded texture** – tekstura oblika vrpce, 6.12
- barotropic mesophase** – barotropna mezofaza, 2.4.2
- bâtonnet** – štapić, 4.10.1
- bend deformation** – savojna deformacija, 5.2.2
- biaxial mesophase** – dvoosna mezofaza, 3.3
- biaxial mesophase anisotropies** – anizotropije dvoosne mezofaze, 5.8.2
- biaxial nematic** – dvoosni nematik, 3.3.1
- biaxial nematic mesophase** – dvoosna nematička mezofaza, 3.3.1
- biaxial smectic A mesophase** – dvoosna smektička mezofaza A, 3.3.2
- biforked mesogen** – dvorašljasti mezogen, 2.11.2.5
- bipolar droplet texture** – bipolarna kapljična tekstura, 4.9.1.1
- bis-swallow-tailed mesogen** – mezogen oblika dvostrukog lastina repa, 2.11.2.7
- blue phase** – plava faza, 3.1.4
- board-shaped polymer** – pločasti polimer, 6.9
- boojums** – "boojums", 4.9.1.1
- boundaries of Grandjean** – Grandjeanove granice, 4.10.4
- bowlic mesogen** – kuglasti mezogen, 2.11.2.3
- calamitic mesogen** – kalamitni mezogen, 2.11.2.1
- centered rectangular mesophase** – centrirana pravokutna mezofaza, 3.1.6.3
- chiral columnar oblique mesophase** – kosa kiralna mezofaza oblika kolone, 3.2.2.3
- chiral nematic** – kiralni nematik, 3.1.3
- chiral nematic mesophase** – kiralna nematička mezofaza, 3.1.3
- chiral nematogen** – kiralni nematogen, 2.11
- chiral smectic C mesophase** – kiralna smektička mezofaza C, 3.1.5.1.3
- chiral smectic F mesophase** – kiralna smektička mezofaza F, 3.1.5.2.2
- chiral smectic I mesophase** – kiralna smektička mezofaza I, 3.1.5.2.3
- cholesteric** – kolesterik, 3.1.3
- cholesteric mesophase** – kolesterička mezofaza, 3.1.3

- clearing point** – bistrište, 2.6
- clearing temperature** – temperatura bistrenja, 2.6
- columnar discotic** – diskotik oblika kolone, 3.2.2
- columnar discotic mesophase** – diskotička mezofaza oblika kolone, 3.2.2
- columnar hexagonal mesophase** – heksagonska mezofaza oblika kolone, 3.2.2.1
- columnar mesophase** – mezofaza oblika kolone, 3.2.2
- columnar oblique mesophase** – kosa mezofaza oblika kolone, 3.2.2.2
- columnar rectangular mesophase** – pravokutna mezofaza oblika kolone, 3.2.2.2
- combined liquid-crystalline polymer** – kombinirani kapljevit kristalni polimer, 6.6
- comb-shaped (comb-like) polymer liquid crystal** – češljasti polimerni kapljevit kristal, 6.3
- comb-shaped mesogen** – češljasti mezogen, 2.11.2.3
- conical mesogen** – stožasti mezogen, 2.11.2.3
- cruciform polymer liquid crystal** – križni polimerni kapljevit kristal, 6.2
- cybotactic groups** – sivotaktične skupine, 3.1.2
- crystal B, E, G, H, J, and K mesophases** – kristalne mezofaze B, E, G, H, J i K, 3.1.5.3
- cubic mesophase** – kubična mezofaza, 3.1.9
- decay time** – vrijeme slabljenja efekta, 5.22
- defect** – defekt, nepravilnost, 4.7
- dendrimeric liquid crystal** – dendrimerni kapljevit kristal, 6.10
- dendritic liquid crystal** – dendritični kapljevit kristal, 6.10
- director** – vektor smjera, 3.1.1.1
- disclination** – disklinacija (nagib), 4.7.2
- disclination strength** – disklinacijska čvrstoća, 4.9.2.2
- discooid mesogen** – diskasti mezogen, 2.11.2.2
- discotic mesogen** – diskotički mezogen, 2.11.2.2
- discotic mesophases** – diskotičke mezofaze, 3.2
- discotic** – diskotik, 3.2.1
- discotic nematic mesophase** – diskotička nematička mezofaza, 3.2.1
- discotics** – diskotici, 3.2
- dislocation** – dislokacija (pomak), 4.7.1
- disruptor** – prekidanik, 6.5
- distortion in liquid crystals** – distorzija (izvijanje) u kapljevitim kristalima, 5.2
- divergence temperature** – temperatura divergencije, 2.9
- domain** – domena, 4.1
- dynamic-scattering mode** – oblik dinamičkog raspršenja, 5.15
- elastic constants** – konstante elastičnosti, 5.3
- elasticity moduli** – modul elastičnosti, 5.3
- electroclinic effect** – elektroklinalni efekt, 5.11
- electrohydrodynamic instabilities** – elektrohidrodinamičke nestabilnosti, 5.13
- enantiotropic mesophase** – enantiotropna mezofaza, 2.4.1
- end-on fixed side-group polymer liquid crystal** – polimerni kapljevit kristal s bočnom skupinom vezan razmaknicom (poveznikom) krajem na glavni lanac, 6.3
- even-membered liquid-crystal dimer** – kapljevit kristalni dimer neparnog broja članova, 2.11.2.9
- fall time** – vrijeme slabljenja efekta, 5.22
- ferro-electric effects** – fero-električni efekt, 5.9
- flexo-electric domain** – flekso-električna domena, 5.17
- flexo-electric effect** – flekso-električni efekt, 5.16
- focal-conic domain** – žarišno-stožasta domena, 4.10.2
- focal-conic, fan-shaped texture** – lepezasta žarišno-stožasta tekstura, 4.10.4
- forked hemiphasmidic mesogen** – rašljasti hemifazmidni mezogen, 2.11.2.5
- Frank constants** – Frankove konstante, 5.3
- Fréedericksz transition** – Fréederickszov prijelaz, 5.10
- friction coefficients** – koeficijenti trenja, 5.6
- fused twin mesogen** – kondenzirani mezogen sraslac, 2.11.2.9
- general definitions** – opće definicije, 2
- glassy mesophase** – staklasta mezofaza, 3.5
- guest-host effect** – učinak "gost-domaćin", 5.23
- hemiphasmidic mesogen** – hemifazmidni mezogen, 2.11.2.5
- hexagonal mesophase** – heksagonska mezofaza, 3.2.2.1
- hexatic smectic mesophase** – heksatička smektička mezofaza, 3.1.5.2
- homeotropic alignment** – homeotropna usmjerenost, 4.3
- homogeneous alignment** – homogena usmjerenost, 4.4
- hyperbranched-polymer liquid crystal** – visokogranati polimerni kapljevit kristal, 6.11
- induced mesophase** – inducirana mezofaza, 3.1.8
- intercalated smectic mesophase** – interkalatna smektička mezofaza, 3.1.7
- inverse hexagonal mesophase** – inverzna heksagonska mezofaza, 3.2.2.1
- inverse lamellar mesophase** – inverzna lamelna mezofaza, 3.1.5.1.1
- isotropization temperature** – temperatura izotropizacije, 2.6
- Kapustin domains** – Kapustinove domene, 5.14
- lamellar mesophase** – lamelna mezofaza, 3.1.5.1.1
- laterally branched mesogen** – bočno granati mezogen, 2.11.2.8
- Leslie-Ericksen coefficients** – Leslie-Ericksenovi koeficijenti, 5.4
- ligated twin mesogen** – spojeni mezogen sraslac, 2.11.2.9
- liquid crystal** – kapljevit kristal, 2.3
- liquid-crystal dendrimer** – kapljevit kristalni dendrimer, 6.10
- liquid-crystal dimer** – kapljevit kristalni dimer, 2.11.2.9
- liquid-crystal oligomer** – kapljevit kristalni oligomer, 2.11.2.9
- liquid-crystal polymer** – kapljevit kristalni polimer, 6.1
- liquid-crystal polymers** – kapljevit kristalni polimeri, 6
- liquid-crystal state** – kapljevito kristalno stanje, 2.2

- liquid-crystalline phase** – kapljevita kristalna faza, 2.2.1
- liquid-crystalline polymer** – kapljeviti kristalni polimer, 6.1
- liquid-crystalline state** – kapljevito kristalno stanje, 2.2
- lyotropic mesophase** – liotropna mezofaza, 2.4.3
- magnetic mesophase anisotropy** – magnetski inducirana anizotropija mezofaze, 5.8.1
- main-chain liquid-crystalline polymer** – kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u glavnom lancu, 6.2
- main-chain polymer liquid crystal** – polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u glavnom lancu, 6.2
- marbled texture** – mramorasta tekstura, 4.9.4
- major biaxial mesophase anisotropy** – anizotropija dvoosne mezofaze, 5.8.2
- melted-grain boundary mesophase** – staljena granično-zrnata mezofaza, 3.6.3
- mesogen** – mezogen, 2.11
- mesogenic compound** – mezogeni spoj, 2.11
- mesogenic dimer** – mezogeni dimer, 2.11.2.9
- mesogenic group** – mezogena skupina, 2.10
- mesogenic moiety** – mezogeni dio, 2.10
- mesogenic oligomer** – mezogeni oligomer, 2.11.2.9
- mesogenic unit** – mezogena jedinica, 2.10
- mesomorphic compound** – mezomorfni spoj, 2.1, 2.11
- mesomorphic glass** – mezomorfno staklo, 2.1
- mesomorphic state** – mezomorfno stanje, 2.1
- mesomorphous state** – mezomorfasto stanje, 2.1
- mesophase** – mezofaza, 2.4
- mesophases of calamitic mesogens** – mezofaze s kalamitnim mezogenima, 3.1
- mesophases of disc-like mesogens** – mezofaze s diskastim mezogenima, 3.2
- metallomesogen** – metalomezogen, 2.1.1.3
- Miesowicz coefficient** – Miesowiczov koeficijent, 5.5
- m,n*-polycatenary mesogen** – *m,n*-polilančani mezogen, 2.1.1.2.5
- modulated smectic mesophase** – modulirana smektička mezofaza, 3.1.6.3
- monodomain** – monodomena, 4.2
- monotropic mesophase** – monotropna mezofaza, 2.4.5
- nematic** – nematik, 3.1.1
- nematic droplet** – nematička kapljica, 4.9.1
- nematic textures** – nematička tekstura, 4.9
- nematogen** – nematogen, 2.11
- nonamphiphilic mesogen** – neamfifilni mezogen, 2.11.2
- nucleus** – jezgra, 4.9.2.1
- oblique mesophase** – kosa mezofaza, 3.1.6.3
- odd-membered liquid-crystal dimer** – kapljeviti kristalni dimer parnog broja članova, 2.11.2.9
- optical texture** – optička tekstura, 4.8
- order parameter** – parametar sredenosti, 5.1
- ordered sanidic phase** – sredena lančana faza, 3.4.2
- Oseen-Zocher-Frank constants** – Oseen-Zocher-Frankove konstante, 5.3
- parabolic focal conic domain** – parabolična žarišno-stožasta domena, 4.10.2
- phasmidic mesogen** – fazmidični mezogen, 2.11.2.5
- physical characteristics of liquid crystals** – fizikalna svojstva kapljevitih kristala, 5
- planar alignment** – planarna usmjerenost, 4.4
- polycatenary mesogen** – polilančani mezogen, 2.11.2.5
- polygonal texture** – poligonalna tekstura, 4.10.3
- polymer liquid crystal** – polimerni kapljeviti kristal, 6
- polymer with mesogenic side-groups or side-chains** – polimer s mezogenim bočnim skupinama ili lancima, 6.3
- polymorphic modifications of strongly polar compounds** – polimorfne modifikacije izrazito polarnih spojeva, 3.1.6
- pretitled homeotropic alignment** – kosa homeotropna usmjerenost, 4.3
- pretransitional temperature** – predprijelazna temperatura, 2
- pyramidic mesogen** – piramidni mezogen, 2.11.2.3
- radial droplet texture** – radijalna kapljična tekstura, 4.9.1.2
- rectangular sanidic mesophase** – pravokutna lančana mezofaza, 3.4.1
- re-entrant mesophase** – obnovljiva mezofaza, 3.1.6.1
- relative biaxiality (of a biaxial mesophase)** – relativna dvoosnost (dvoosne mezofaze), 5.8.2
- ribbon mesophase** – vrpčasta mezofaza, 3.1.6.3
- rigid chain** – kruti lanac, 6.7
- rise time** – vrijeme razvijanja efekta, 5.21
- rotational viscosity** – rotacijska viskoznost, 5.6
- rotational viscosity coefficients** – koeficijenti rotacijske viskoznosti, 5.6
- sanidic mesogen** – lančani mezogen, 2.11.2.4
- sanidic mesophase** – lančana mezofaza, 3.4
- schlieren texture** – prugasta (brazdasta) tekstura, 4.9.2
- semi-rigid chain** – polukruti lanac, 6.8
- side-chain liquid-crystalline polymer** – kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u bočnom lancu, 6.3
- side-chain polymer liquid crystal** – polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u bočnom lancu, 6.3
- side-group liquid-crystalline polymer** – kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u bočnoj skupini, 6.3
- side-group polymer liquid crystal** – polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u bočnoj skupini, 6.3
- side-on fixed side-group polymer liquid crystal** – polimerni kapljeviti kristal s bočnom skupinom vezan razmaknicom (poveznikom) bočno na glavni lanac, 6.3
- side-to-tail twin mesogen** – mezogen sraslac bok-rep, 2.11.2.9
- smectic  $A_1, A_{d1}, A_{21}, C_{11}, C_{d1}, C_{21}$  mesophases** – smektičke mezofaze  $A_1, A_{d1}, A_{21}, C_{11}, C_{d1}, C_{21}$ , 3.1.6.2
- smectic A mesophase** – smektička mezofaza A, 3.1.5.1.1
- smectic B mesophase** – smektička mezofaza B, 3.1.5.2.1
- smectic C mesophase** – smektička mezofaza C, 3.1.5.1.2

<b>smectic F mesophase</b> – smektička mezofaza F, 3.1.5.2.2	Col	diskotička mezofaza oblika kolone, mezofaze oblika kolone
<b>smectic I mesophase</b> – smektička mezofaza I, 3.1.5.2.3	Col <sub>h</sub>	heksagonska mezofaza oblika kolone
<b>smectic mesophase</b> – smektička mezofaza, 3.1.5	Col <sub>ob</sub>	kosa mezofaza oblika kolone
<b>smectic mesophases with unstructured layers: SmA and SmC</b> – smektičke mezofaze sa strukturno nedefiniranim slojevima: SmA i SmC, 3.1.5.1	Col <sub>r</sub>	pravokutna mezofaza oblika kolone
<b>smectic textures</b> – smektičke tekstore, 4.10	Cub	kubična mezofaza
<b>smectogen</b> – smektogen, 2.11	C <sub>r</sub>	kristalna mezofaza
<b>spacer</b> – razmaknica (poveznica), 6.4	DSM	oblik dinamičkog raspršenja
<b>splay deformation</b> – kosa deformacija, 5.2.1	EHD instabilities	elektrodinamičke nestabilnosti
<b>star polymer liquid crystal</b> – zvjezdasti polimerni kapljeviti kristal, 6.2	I	izotropna faza
<b>surface disclination line</b> – površinska linija disklinacije, 4.9.3.1	LC	kapljeviti kristal, kapljevito kristalno stanje
<b>surface pretilt</b> – površinski nagib, 4.3	LCPL	kapljevita kristalna faza, kapljeviti kristalni polimer
<b>swallow-tailed mesogen</b> – mezogen oblika lastina repa, 2.11.2.6	MCLCP	kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u glavnom lancu
<b>tail-to-tail twin mesogen</b> – mezogen sraslac rep-rep, 2.11.2.9	MCPLC	kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u glavnom lancu
<b>textures and defects</b> – tekstore i nepravilnosti (defekti), 4	MGBC*	kapljeviti kristalni polimer sa staljenom granično-zrnatom mezofazom re (re-entrant mesophase) obnovljiva mezofaza
<b>thermotropic mesophase</b> – termotropna mezofaza, 2.4.1	SCLCP	kapljeviti kristalni polimer s mezogenom u bočnom lancu
<b>threaded texture</b> – nitasta tekstura, 4.9.3	SCPLC	polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u bočnom lancu
<b>threshold field</b> – prag polja, 5.12	S-deformation	kosa deformacija
<b>threshold electric field</b> – prag električnog polja, 5.12	SGLCP	kapljeviti polimerni kristal s mezogenom u bočnoj skupini
<b>threshold magnetic field</b> – prag magnetskog polja, 5.12	SGPLC	polimerni kapljeviti kristal s mezogenom u bočnoj skupini
<b>“time-off” of the electro-optical effect</b> – vrijeme nestajanja elektro-optičkog efekta, 5.20	Sm	smektička mezofaza
<b>“time-on” of the electro-optical effect</b> – vrijeme nastajanja elektro-optičkog efekta, 5.19	SmA, SmA <sub>1</sub> , SmA <sub>2</sub> , SmA <sub>d</sub>	smektička mezofaza A
<b>transitional entropy</b> – entropija prijelaza, 2.8	SmA <sub>b</sub>	dvoosna smektička mezofaza A
<b>transition temperature</b> – temperatura prijelaza, 2.5	SmB, SmB <sub>hex</sub>	smektička mezofaza B
<b>turn-off time</b> – nestajanje elektro-optičkog efekta, 5.19	SmC*	kiralna smektička mezofaza C
<b>turn-on time</b> – nastajanje elektro-optičkog efekta, 5.18	SmC, SmC <sub>1</sub> , SmC <sub>2</sub> , SmC <sub>d</sub>	smektička mezofaza C
<b>twin mesogen</b> – mezogen sraslac, 2.1 1.2.9	SmF	smektička mezofaza F
<b>twist alignment</b> – zavojita usmjerenost, 4.6	SmF*	kiralna smektička mezofaza F
<b>twist deformation</b> – deformacija uvijanja, 5.2.3	SmI	smektička mezofaza I
<b>twisted-nematic cell</b> – uvijena nematicka ćelija, 5.18	SmI*	kiralna smektička mezofaza I
<b>twist grain-boundary mesophase</b> – zavojita granično-zrnata mezofaza, 3.6	T-deformation	deformacija uvijanja
<b>twist grain-boundary A* mesophase</b> – zavojita granično-zrnata mezofaza A*, 3.6.1	TGB	zavojita granično-zrnata mezofaza
<b>twist grain-boundary C* mesophase</b> – zavojita granično-zrnata mezofaza C*, 3.6.2	TGBA*	zavojita granično-zrnata mezofaza A*
<b>twist viscosity</b> – viskoznost uvijanja, 5.6	TGBC*	zavojita granično-zrnata mezofaza C*
<b>uniaxial mesophase anisotropy</b> – anizotropija jednoosne mezofaze, 5.8.1		
<b>Tumač preporučenih kratica i oznaka</b>		
<b>Kratice</b>		
B-deformation	savojna deformacija	
BP	plava faza	



<b>Oznake</b>			
$\alpha_i$	Lesliev koeficijent, Leslie-Ericksenov koeficijent	$K_i$	konstanta elastičnosti, modul elastičnosti
$\gamma_i$	koeficijent trenja, koeficijent rotacijske viskoznosti	$l$	vektor smjera dvoosne mezofaze
$\eta$	relativna dvoosnost dvoosne mezofaze	$m$	vektor smjera dvoosne mezofaze
$\eta_i$	Miecsowiczew koeficijent	N	nematik, diskotičko nematička mezofaza
$\tau_{off}$	“vrijeme nestajanja” elektro-optičkog efekta	$n$	vektor smjera
$\tau_{on}$	“vrijeme nastajanja” elektro-optičkog efekta	$n_i$	komponenta vektora smjera
$\Delta S_{XY}$	entropija prijelaza	N*	kiralni nematik, kiralna nematička mezofaza, kolesterička mezofaza
$\Sigma$	lančana mezofaza	$N_b$	dvoosna nematička mezofaza
$\Sigma_o$	sređena lančana faza	$N_u$	jednoosna nematička mezofaza, nematik
$\Sigma_r$	pravokutna lančana mezofaza	$\langle P_2 \rangle$	parametar sređenosti
$\sim$	modulirane smektičke mezofaze	$P$	čista polarizacija
$a$	distorzija (izvijanje) kapljevitih kristala	$P_s$	spontana polarizacija
$b$	dvoosna mezofaza	$s$	disklinacijska čvrstoća
$B_{th}$	prag magnetskog polja	$T^*$	temperatura divergencije, pretprijelazna temperatura
$c$	interkalatna smektička mezofaza	$T_{cl}$	bistrište, temperatura bistrenja
$e_1, e_3$	flekso-električni koeficijent	$T_i$	temperatura izotropizacije
$E_{th}$	prag električnog polja	$T_{XY}$	temperatura prijelaza, X i Y su kratice za mezofaze ili fazu i mezofazu
$g$	staklasta mezofaza	*	kosa smektička mezofaza