

Dielektrična anizotropija tekočega kristala

Sara Lisjak Tavčar

Fizikalni praktikum 4: 1/12

1 Uvod

V nekaterih organskih snoveh se med tekočo in kristalno fazo pojavijo tekočerkristalne faze. Te imajo tako lastnosti tekočine kot tudi kristalov. Najpreprostejša tekočerkristalna faza je nematična faza, ki se običajno pojavi v snoveh sestavljenih iz podolgovatih molekul. V tej fazi snov še vedno teče kot tekočina. Medtem ko so v navadni izotropni tekočini molekule naključno orientirane, se v nematični fazi podolgovate molekule lokalno orientacijsko uredijo tako, da v povprečju kažejo v isto smer. To smer označimo z enotskim vektorjem n , ki ga imenujemo direktor. Smeri n in $-n$ sta enakovredni. S skalarnim parametrom urejenosti S opišemo, koliko dolge osi molekul v povprečju odstopajo od smeri direktorja:

$$S = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 f(\beta)(3\cos^2(\beta) - 1)d(\cos\beta)$$

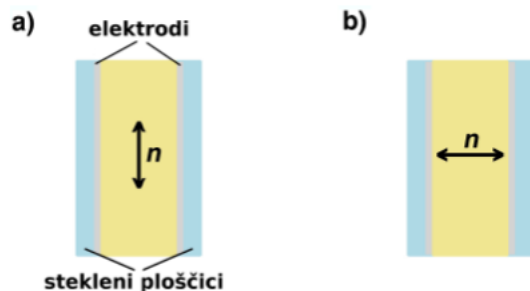
Kot β je kot med direktorjem in dolgo osjo molekul, $f(\beta)$ je porazdelitvena funkcija. V izotropni fazi so dolge osi molekul naključno urejene, tako je $f(\beta) = 1$ in posledično $S = 0$. V nematični fazi je vrednost S med 0 in 1. Fazni prehod med izotropno in nematično fazo je šibek prehod prvega reda, tako pri temperaturi faznega prehoda vrednost S nezvezno skoči iz 0 na neko končno vrednost. Z nižanjem temperature urejenost molekul in s tem S zvezno naraščata.

Zaradi orientacijske ureditve molekul imajo tekoči kristali anizotropne lastnosti. Najbolj pomembni sta optična dvolomnost in velika dielektrična anizotropija. Odziv na zunanje električno polje v nematičnem tekočem kristalu namesto s skalarno dielektrično konstanto tako zapišemo z dielektričnim tenzorjem

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{\perp} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\parallel} \end{bmatrix}$$

Tu smo privzeli, da direktor kaže v smeri osi z . Razlika med vrednostima komponent dielektričnega tenzorja vzdolž direktorja in pravokotno nanj $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ je dielektrična anizotropija. Ta je sorazmerna s skalarnim parametrom urejenosti, $\Delta\epsilon \propto S$.

Za merjenje dielektričnega tenzorja damo tekoči kristal med dve stekleni ploščici, ki imata površino obdelano tako, da vsiljujeta orientacijo ali vzporedno ali pravokotno na površino. Na ta način dobimo dobro urejeno plast tekočega kristala. Na notranji površini stekelc sta naparjeni elektrodi, tako da taka celica deluje kot kondenzator. Komponente dielektričnega tenzorja določimo iz kapacitivnosti celic. Pri merjenju kapacitivnosti pazimo, da je napetost med elektrodama dovolj majhna. Komponento ϵ_{\parallel} merimo v celici z ureditvijo direktorja vzporedno s površino (slika 2a), komponento ϵ_{\perp} pa v celici z ureditvijo direktorja pravokotno nanjo (slika 2b).



ϵ_{\perp} merimo s pomočjo tekočerkristalne celice z ureditvijo direktorja vzporedno s površino stekelc za merjenje, ϵ_{\parallel} pa pri ureditvi pravokotno nanje.

Če je $\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} > 0$, potem je energijsko ugodno, če je direktor orientiran v smeri zunan- njega električnega polja. Kadar površina celice vsiljuje drugačno ureditev kot zunanje polje, pride do deformacije direktorskega polja. Zaradi deformacije direktorja se sistemu poveča elastična energija. Tako v primeru na sliki 3 pride do deformacije šele, ko je zunanje polje tako veliko, da je zmanjšanje električne energije sistema zaradi reorientacije direktorja v smeri vzdolž polja $0E2$ večje od 2 povečanja energije zaradi deformacije $K1$ d . To se zgodi, kadar je napetost na celici večja od kritične napetosti

$$U_c = \pi \sqrt{\frac{K_1}{\Delta\epsilon\epsilon_0}}$$

kjer je K_1 je orientacijska elastična konstanta tekočega kristala. Tu smo upoštevali, da je $E = U/d$, in tako kritična napetost ni odvisna od debeline celice d . Prehod iz nedeformirane strukture v deformirano pod vplivom polja imenujemo Frederiksov prehod. Merimo ga lahko na več načinov. Eden izmed načinov je merjenje kapacitivnosti tekočerkristalne celice v odvisnosti od napetosti. Zaradi deformacije direktorja se namreč spremeni efektivna dielektričnost tekočega kristala, ki vpliva na kapacitivnost kondenzatorja. Tekoči kristali v praksi niso popolni dielektriki, ker so v njih prisotni ioni (disociirani deli molekul nečistoč). Če damo na njih enosmerno napetost, jo bodo ti ioni delno zasenčili in bo odziv na polje zato manjši. Da se temu ognemo, uporabimo izmenično napetost z dovolj veliko frekvenco, da ji ioni in direktor ne morejo slediti. V primeru sinusne napetosti se tako tekoči kristal obnaša, kot bi nanj dali enosmerno napetost z amplitudo $U_{rms} = \sqrt{U^2} = U_{amp}/2$.

2 Naloga

1. Izmerite temperaturno odvisnost komponent dielektričnega tenzorja vzdolž in pravokotno na direktor.
2. Narišite na isti graf temperaturno odvisnost obeh komponent dielektričnega tenzorja in povprečne dielektrične konstante. Narišite graf dielektrične anizotropije v odvisnosti od temperature. Določite temperaturo faznega prehoda.
3. Izmerite odvisnost kapacitivnosti celice z orientacijo direktorja vzdolž stekel od napetosti, narišite graf $C(U)$ ter določite elastično konstanto tekočega kristala.

3 Meritve

3.1 Dielektrična anizotropija tekočega kristala

Pri prvem delu naloge je bilo potrebno izmeriti kapacitivnosti dveh (pravokotne in vzporedne) tekočokristalnih celic v temperaturnem intervalu od 40 do 65°C. Zanima nas temperaturna odvisnost, ki jo lahko preko enačbe $R(T) = 100\Omega(1 + 0.00385(T - 273.16K))$ povežemo z upornostjo. Tako preko merjenja upornosti izvemo temperaturo senzorja PT100. Eksperimentalna priprava je povezana na LCR meter, s katerim merimo kapacitivnosti C in upornosti R . Celici segrevamo s postopnim večanjem napetosti na izviru. Iz izmerjenih kapacitivnosti je sedaj potrebno izračunati komponenti dielektričnega tenzorja in njuni temperaturni odvisnosti prikazati na grafu. Na istem grafu bomo prikazali tudi povprečno dielektrično konstanto $\epsilon = (2\epsilon_{\perp} + \epsilon_{\parallel})/3$. In izračunali anizotropijo $\Delta\epsilon$ in jo narisali na graf.

3.1.1 Podatki o celici

1. kapacitivnosti praznih celic: $C_{\perp,0} = 54.5pF$,

$$C_{\parallel,0} = 54.5pF$$

2. debeline celic: $(20.5 \pm 0.5) \mu m$

3.1.2 Meritve kapacitivnosti

Meritve		
Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	$C_{\perp} [nF]$	$C_{\parallel} [nF]$
68	0.514	0.544
66	0.513	0.537
64	0.513	0.533
62	0.512	0.523
60	0.511	0.509
59	0.519	0.491
58.5	0.531	0.482
58.0	0.557	0.469
57.5	0.601	0.449
57	0.644	0.425
56	0.700	0.406
55	0.740	0.369
54	0.770	0.357
52	0.805	0.339
50	0.827	0.320
48	0.845	0.312
45	0.869	0.290
42	0.880	0.285
40	0.891	0.278

3.2 Frederiksov prehod

Obravnavamo tekoči kristal velikosti 2cm x 2cm in debeline 20.6 m, ki ima direktor usmerjen v ravnini stekelc. Na obseh straneh celice sta polarizatorja, ki tvorita s celico kot 45° z osjo urejenosti. Pri gledanju skozi celico vidimo spremembo optične dvolomnosti, ki je odvisna od napetosti na le tej. Z izmeritvijo minimalne napetosti, ki spremeni barvo prepuščene svetlobe določimo Frederiksov prehod.

Drugi način je merjenje kapacitete celice v odvisnosti od amplitude napetosti. Ker tekočerkristalna celica ni idealni kondenzator, slika na zaslonu ne bo vedno elipsa poravnana z x in y osjo (česar se delno znebimo, z postavitvijo frekvence na veliko vrednost npr. 10 kHz). S pomočjo meritev toka in napetosti, ki ju odčitamo iz elipse lahko izračunamo kapaciteto. Potrebno je še narisati graf C od korena povprečnega kvadrata na celici U_{RMS} in določiti kritično napetost, pri kateri pride do prehoda. In iz te vrednosti lahko določimo orientacijsko elastično konstanto tekočih kristalov K_1 v uporabljeni v celicah.

3.2.1 Meritve toka in napetosti

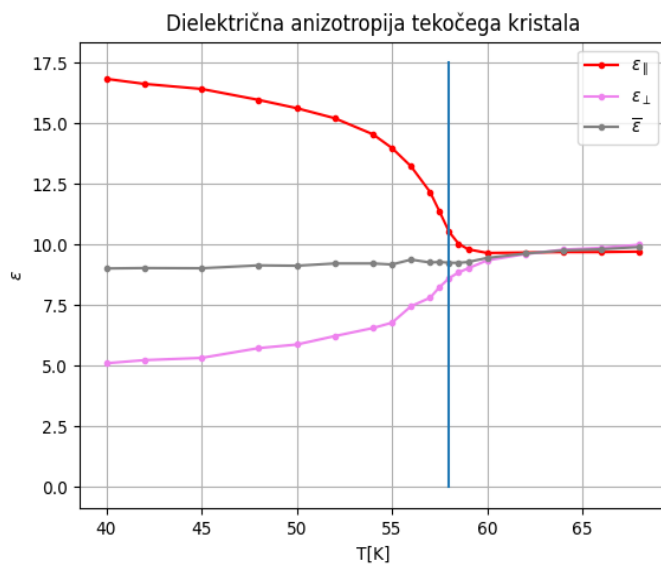
Meritve	
$U_{amp}[\text{V}]$	$I_{amp}[\text{A}]$
0.7	0.07
0.8	0.08
0.9	0.1
1.0	0.12
1.25	0.5
1.5	0.6
1.75	0.8
2.0	1.2
2.25	1.7
2.5	2.0
3.0	2.5
3.5	3.0
4.0	4.0
4.5	8.0
5.0	10.0

4 Rezultati

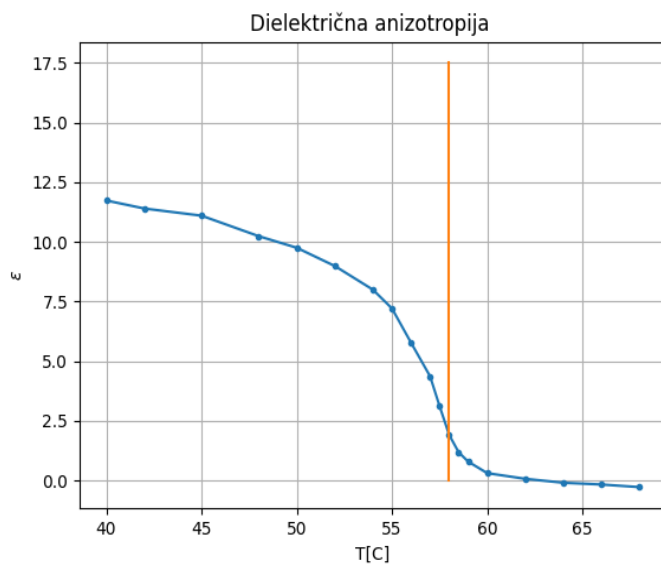
4.1 Dielektrična anizotropija tekočega kristala

Graf prikazuje izmerjene vrednosti dielektrične konstante v vzporedni in pravokotni smeri, ter povprečno dielektrično konstanto. Upoštevali smo enačbe:

$$\epsilon = \frac{C}{C_0}$$
$$\bar{\epsilon} = \frac{(2\epsilon_{\perp} + \epsilon_{\parallel})}{3}$$



$$\Delta\epsilon = \epsilon_{||} - \epsilon_{\perp} = 10.8 - 8.8 = 2.0$$



4.2 Frederiksov prehod

Z odčitanjem vrednosti tokov in napetosti preko elips na osciloskopu smo prišli preko naslednjih enačb do grafa. Na področju največjega naklona sem odčitala

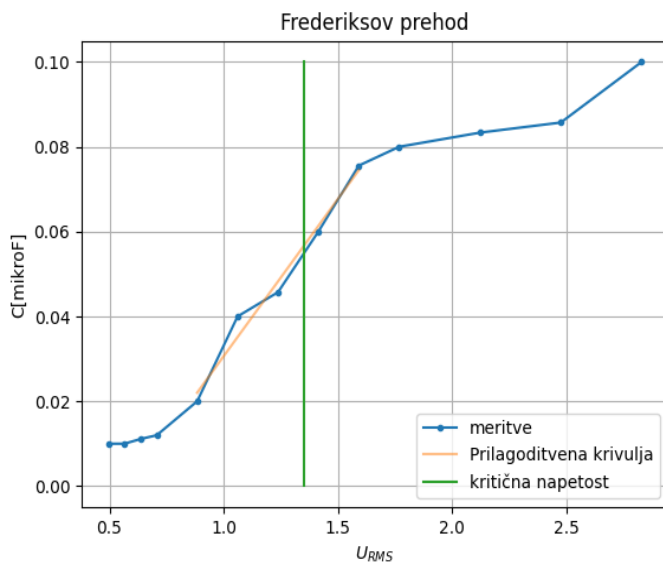
kritično napetost, pri kateri pride do prehoda.

$$C = I_{amp} / (\omega U_{amp})$$

$$U_{RMS} = \frac{U_{amp}}{\sqrt{2}}$$

Za konec še določimo orientacijsko elastično konstanto K_1 , ki pride ob upoštevanju rezultatov:

$$K_1 = \left(\frac{U_C}{\pi}\right)^2 \Delta\epsilon\epsilon_0 = \left(\frac{1.35}{3.14}\right)^2 * 2.0 * 8,85 * 10^{-12} = 3.27 * 10^{-11} \left[\frac{sA}{mV}\right]$$



5 Zaključek

Pri vaji smo obravnavali tekoč kristal, kateremu smo najprej določili povprečno dielektrično konstanto, anizotropijo in temperaturo faznega prehoda. Vrednosti sem določila iz grafov ali jih izračunala preko ustreznih enačb.

$$T_{fazni-prehod} = (57.0 \pm 0.5)^{\circ}C$$

$$\Delta\epsilon = (2.0 \pm 0.2)$$

$$U_C = (1.35 \pm 0.1)$$

$$K_1 = 3.27 * 10^{-11} \left[\frac{sA}{mV}\right]$$