

Elektrooptični pojav

Samo Krejan

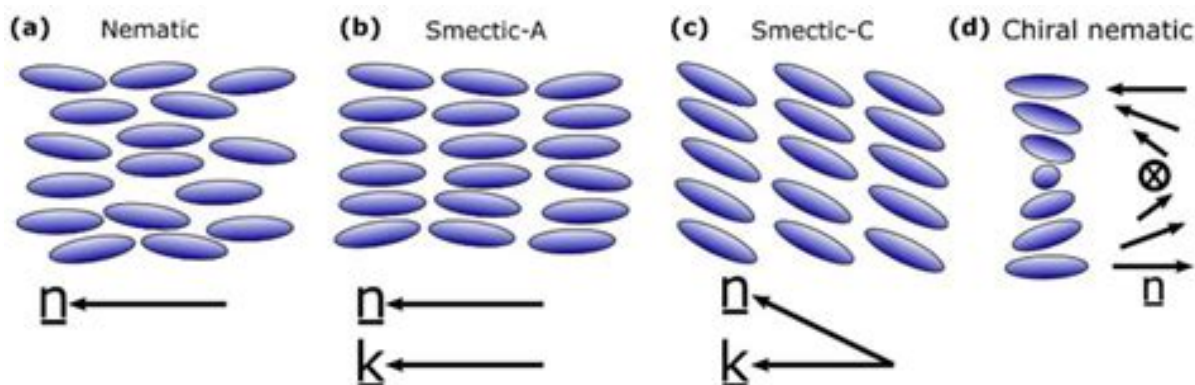
november 2025

1 Uvod

Tekoče kristale tvorijo podolgovate molekule, ki se pri ne previsokih temperaturah orientacijsko uredijo. Za smektične tekoče kristale je značilno, da se molekule uredijo v plasti.

Smektični kristal je oblika mezofaze (faza med trdnim in tekočim stanjem), ki so usmerijo podolgem v plasti, vendar se molekula lahko znotraj plasti prosto giba. Primer smektičnega tekočega kristala je milo.

Poznamo več vrsti smektičnih kristalov, ki jih prikazuje spodnja slika



Slika 1: Slika prikazuje, kako različne vrste smektičnih kristalov.

V smektikih A kaže odlikovana smer, ki ji pravimo direktor vzdolž normale plasti, v smektikih C* pa je kot, ki ga oklepa direktor z normalo nekje med 10° in 30° .

Feroelektrične smektične C* tvorijo molekule, ki imajo velik električni dipolni moment prečno na vzdolžno os molekul, zato se v teh snoveh pojavi električna polarizacija, ki leži v ravnini plasti in je pravokotna na direktor. Polarizacija je sorazmerna s kotom nagiba. Tekoči kristali so posebej uporabni zaradi dvolomnosti, ki izhaja iz orientacijske urejenosti molekul, kjer je optična os vzporedna z direktorjem.

V dovolj debelem vzorcu oriše smer nagiba in s tem tudi električna polarizacija poln krog (nekaj sto do tisoč plasti). Polarizacijo plasti lahko uredimo v isto smer bodisi z zunanjim električnim poljem bodisi z ograditvijo vzorca v ploščici, ki predpisujeta orientacijo molekul. Predpisovanje orientacij molekul je doseženo s kemično ali mehansko obdelavo površin.

Če je razmik med ploščicama dovolj majhen (reda v μm), se direktor postavi v predpisani smeri po vsem vzorcu. V takem površinko stabiliziranem feroelektričnem tekočem kristalu so plasti kristala pravokotne na ploščici, električna polarizacija pa leži v ravnini ploščic.

Če postavimo ta tanko površinko stabiliziran feroelektrični kristal v zunanje električno polje \vec{E} , ki je pravokoten na ploščici, se električna polarizacija vzorca deloma zasuče v smeri polje. Tudi direktor se deloma zasuče na stožcu smeri, ki ga določa nagib direktorja glede na normalo plasti. Zasuk električne polarizacije je sorazmeren z električnim poljem, posledično je sorazmeren tudi zasuk optične osi.

Linearnemu odzivu lomnega količnika na zunanje električno polje pravimo *elektrooptični pojav*. Zasuk polarizacije je v izmeničnem polju odvisen tudi od frekvence. Pri previsoki frekvenci polarizacija ne more več slediti polju. Odvisnost spremembe polarizacije ∂P od frekvence opišemo z Debyejevim relaksacijskim modelom

$$\partial P = \partial P_0 \frac{1}{1 + i\omega\tau} \quad (1)$$

kjer je τ relaksacijski čas odvisen od viskoznosti tekočega kristala in od debeline vzorca.

Kot zasuka optične osi, ki je sorazmeren s spremembo polarizacije, ima enako frekvenčno odvisnost.

Spremembo smeri optične osi zaznamo tako, da opazujemo, kako se spremeni polarizacija svetlobe pri prehodu skozi vzorec. Na vzorec posvetimo s polarizirano svetlobo in merimo svetlobno moč, ki jo prepušča analizator za vzorcem.

Vpadno polarizacijo razstavimo na izredno komponento, ki je vzporedna z optično osjo in na redno komponento, pravokotno na optično os. Prepuščeno svetlobno moč merimo s pomočjo fotodiode. Odziv nekega sistema na majhne periodične zunanje motnje najlažje izmerimo s faznim občutljivim ojačevalnikom (FOO, angl. *lock-in amplifier*).

FOO deluje po principu tega, da vhodni izmenični signal iz fotodiode pomnoži z referenčnim izmeničnim signalom s frekvenco modulacije (v našem primeru zunanje električnega polja, priklopljenega na tekočokristalni vzorec).

V tekočem kristalu je zasuk optične osi ψ zaradi viskoznosti snovi zakasnen glede na zunanje električno polje. Del, ki je v fazi dobimo kot realni del enačbe 1, del zasukan za $\frac{\pi}{2}$ pa kot imaginarni del

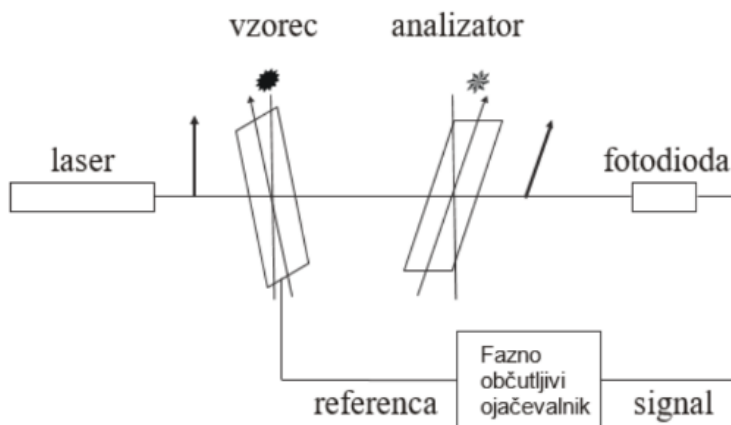
$$\psi_r = \frac{\psi_0}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (2)$$

$$\psi_i = -\frac{\psi_0\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (3)$$

2 Potrebščine

- Laser,
- fazno občutljivi ojačevalec z multimetrom,

- foto dioda,
- analizator,
- vzorec,
- osciloskop.



Slika 2: Shematski prikaz postavitve eksperimenta

3 Naloga

- Prepričaj se, da je elektrooptični odziv sorazmeren z modulacijo do neke napetosti,
- Nariši obe komponenti signala kot funkciji frekvence in določi relaksacijski čas,
- Nariši razmerje med signaloma in določi relaksacijski čas.

4 Meritve in rezultati

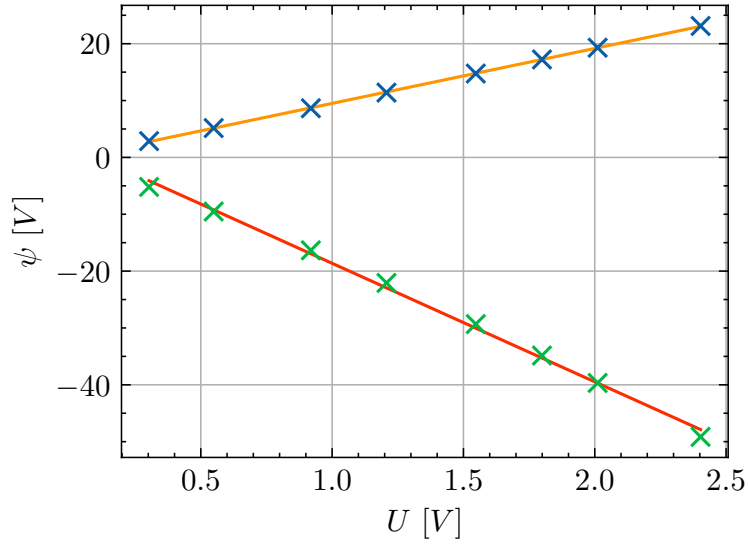
Vse meritve sem zabeležil v .csv datotekah in jih kasneje obdelav v Pythonu.

4.1 Sorazmernost odziva z modulacijo

Pri fiksni frekvenci $\nu = 20Hz$ sem preveril, če sta obe komponenti signala odziva res sorazmerna. S prilagajanjem premic sem preveril, da to drži. Enačbi prilaganih premic sta

$$y1 = (9.66 \pm 0.03)x - 0.16 \pm 0.05 \text{ in}$$

$$y2 = (-20.8 \pm 0.5)x + 2.2 \pm 0.7$$



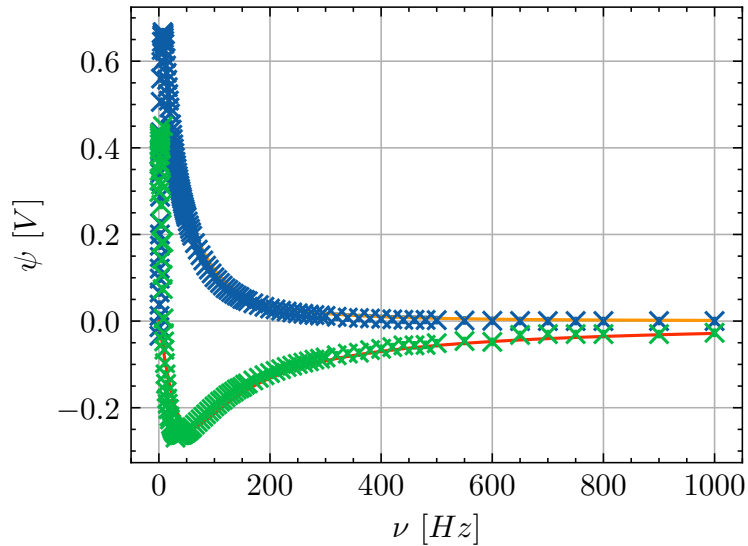
Slika 3: Sorazmernost odziva z modulacijo

4.2 Določanje relaksacijskega časa

Kasneje sem pri fiksni napetosti $U = 0.242 \text{ V}$ spreminjal frekvenco in opazoval odziv. Na dobljen graf sem nato prilagajal funkciji 2 in dobil slednji vrednosti za τ :

$$\tau_1 = (2.6 \pm 0.1) \text{ ms in}$$

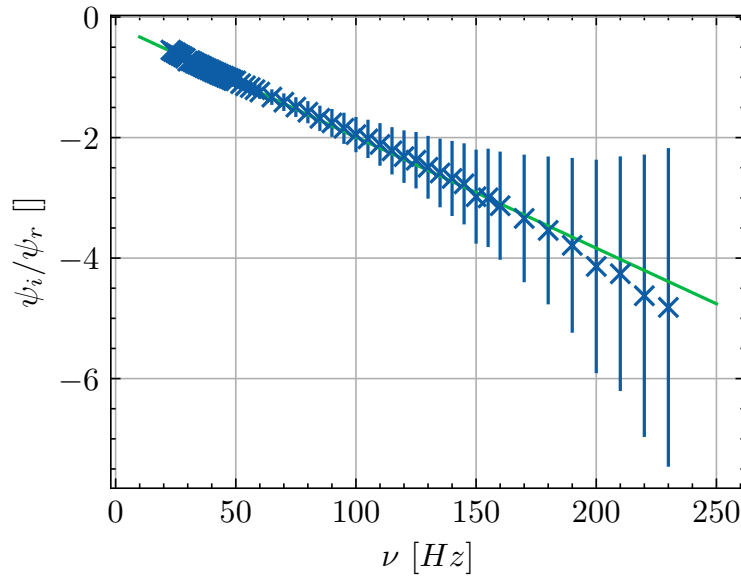
$$\tau_2 = (2.7 \pm 0.5) \text{ ms}$$



Slika 4: Določanje relaksacijskega časa s prilagajanjem funkcije

kjer sem napake dobil s pomočjo Pythonovih orodji za prilagajanje funkcij.

Lahko pa τ izmerim tudi tako, da zgrafiram ψ_i/ψ_r , saj naj bi bil graf le tega premica z naklonom $-\omega\tau$



Slika 5: Razmerje komponent signala

Na ta zadnji način sem dobil

$$\tau = (2.9 \pm 0.2)ms$$

Kar se pravzaprav ravno še sklada z prej določenimi vrednostmi, tako, da lahko označim rezultat kot uspešen.

5 Zaključek

Uspešno sem določil relaksacijski čas kar je bil cilj naloge. Sama naloga se mi je zdela dokaj lahka za izvesti, a je vzela veliko razumevanja pri obdelavi podatkov. Na kakšnih točkah sem bil verjetno malo premalo konzervativen z napakami, saj se dobljeni rezultati skoraj da ne ujemajo. Kljub vsemu označim nalogo za uspešno opravljeno.