

Elektrooptični pojav v feroelektričnem tekočem kristalu

Fizikalni Praktikum V

Matevž Demšar

1. 12. 2025

1 Uvod

Z močnim električnim poljem lahko spremenimo polarizacijo svetlobe, ki jo prepušča tekoči kristal. Vpadno polarizacijo lahko zapišemo kot vsoto komponente, ki je vzporedna z optično osjo, in komponento, ki je nanjo pravokotna. Vzdolž teh osi ima kristal različna lomna količnika svetlobe - z Δn označimo njuno razliko. Z analizatorjem lahko izločimo projekcijo polja na prepustno smer, ki znaša:

$$E_p = E_0 [\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \exp(ik\Delta nh)]$$

Tu je k valovni faktor svetlobe, h debelina vzorca, kot α predstavlja kot med optično osjo in vpadno polarizacijo, kot β pa kot med optično osjo in analizatorjem. Izračunamo lahko tudi tok:

$$I_p = I_0 [\cos^2(\alpha - \beta) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2(k\Delta nh/2)]$$

Mi domo merili majhne spremembe prepuščene moči, zavoljo katerih imata kota α in β majhni časovno odvisni komponenti:

$$\alpha = \alpha_0 + \psi$$

$$\beta = \beta_0 + \psi$$

Člen ψ je v našem eksperimentu predstavljal majhne periodične spremembe smeri optične osi, označimo torej $\psi(\omega)$. Zaradi viskoznosti snovi je sprememba ψ zakasnjena glede na spremembo zunanega električnega polja, zato označimo dve komponenti ψ : komponento, ki je v fazi s spremembo električnega polja, označimo s ψ_r (realna komponenta), komponento, ki je zamaknjen za $\pi/2$, pa s ψ_i (imaginarna komponenta). Dobimo:

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

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

Ti komponenti lahko posebej izmerimo s fazno občutljivim ojačevalnikom in na podlagi meritev dobimo parametra ψ_0 in τ . Parameter τ imenujemo relaksacijski čas, ki ga bomo poskusili izmeriti.

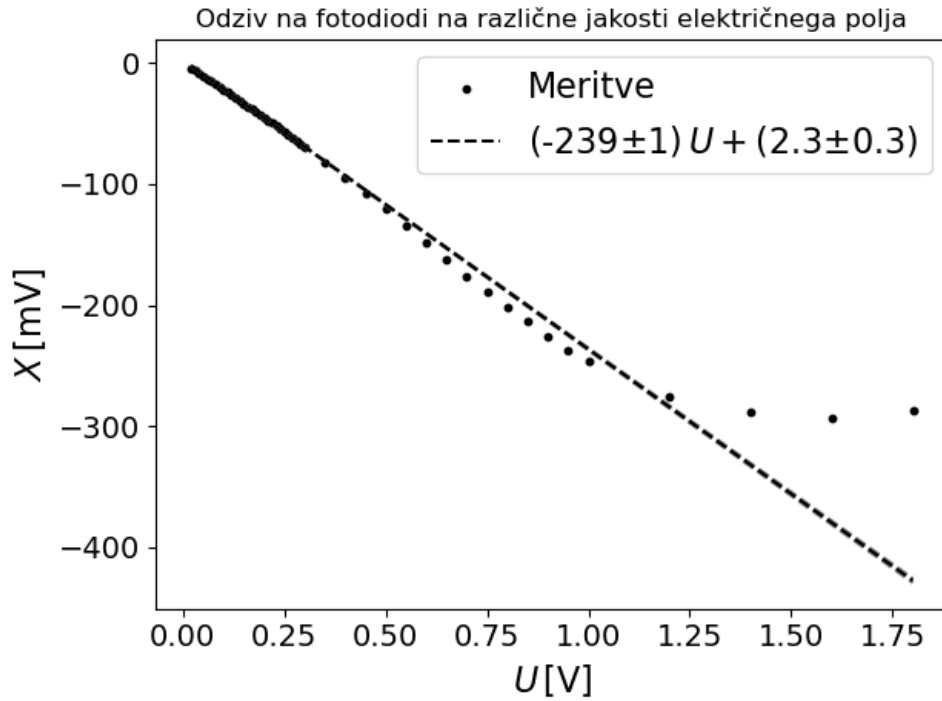
2 Meritve

Pri merjenju imamo dve nalogi:

1. Preveriti, da je realni del elektrooptičnega odziva pri konstantni frekvenci linearno sorazmeren z amplitudo za majhne vrednosti le-te.
2. Pri konstantni amplitudi napetosti spreminjati frekvenco in tako določiti relaksacijski čas tekočega kristala.

2.1 Meritev linearnosti

Izbrali smo frekvenco $\nu = 20$ Hz. Glede na navodila v posnetku vaje pričakujemo linearen režim do okoli 0,2 V, kar pa preverimo tako, da narišemo graf $X(U)$, kjer X predstavlja realno komponento napetosti na fotodiodi. Graf najdemo na sliki 1.



Slika 1: Vidimo, da imamo pri majhnih amplitudah U resnično linearno odvisnost med amplitudo in odzivom na fotodiodi. Opazimo, da se tudi pri nekoliko večjih amplitudah odvisnost še kar dobro ujema z linearno funkcijo; večja odstopanja dobimo šele okoli 0,5 V, kar je precej več, kot je bilo napovedano v navodilih.

2.2 Meritev relaksacijskega časa

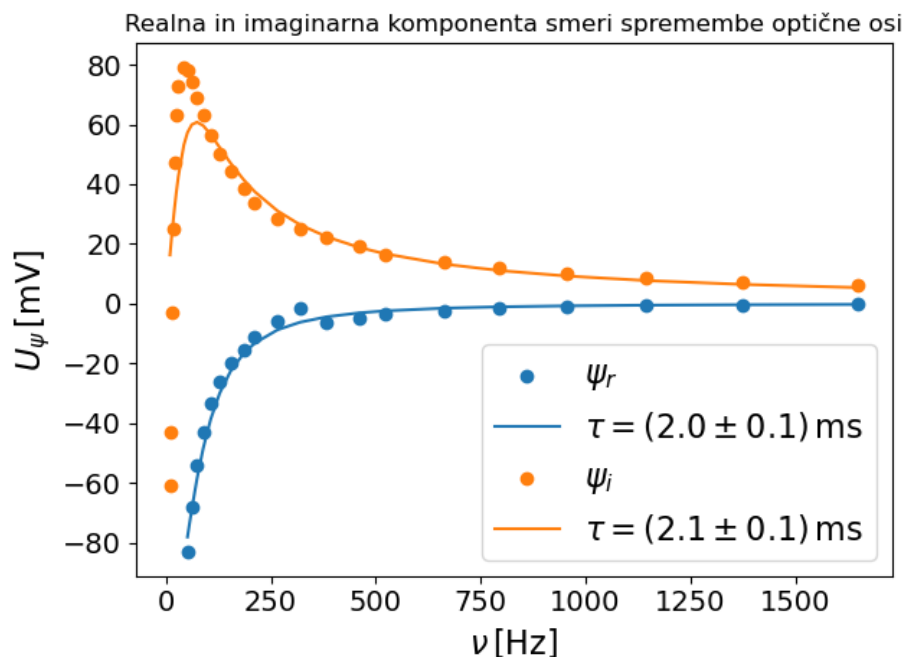
Relaksacijski čas dobimo tako, da merimo realno in imaginarno komponento $\psi(\nu)$ in na merske točke fitamo krivulji, opisani v enačbah 1 in 2. Alternativa je, da narišemo graf ψ_i/ψ_r , ki mora biti premica s koeficientom τ . Računamo, da bomo na vse tri načine (fitanje enačbe 1 na izmerjene $\psi_r(\nu)$, fitanje enačbe 2 na izmerjene ψ_i in fitanje linearne funkcije na ψ_i/ψ_r) dobili približno enake vrednosti τ .

Iz slik 2 in 3 preberemo sledeče možnosti za parameter τ :

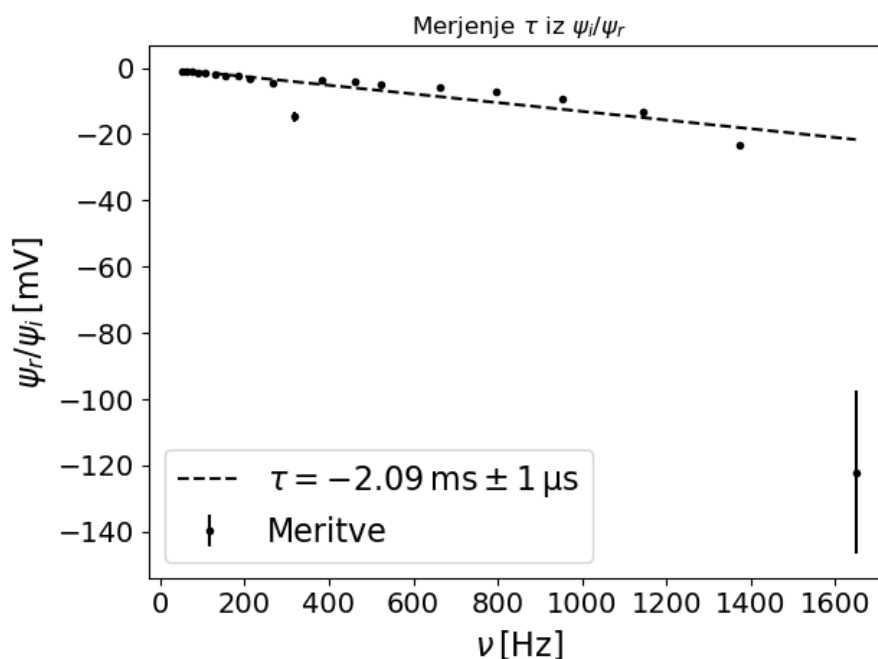
Način določanja	$\tau \pm \Delta\tau$
Fitanje enačbe 1	$2.0 \text{ ms} \pm 0.1 \text{ ms}$
Fitanje enačbe 2	$2.1 \text{ ms} \pm 0.1 \text{ ms}$
Fitanje linearne funkcije	$2.090 \text{ ms} \pm 1 \mu\text{s}$

3 Zaključek

Presenečen sem, da mi je pythonova funkcija `scipy.optimize.curve_fit` dajala tako nizke ocene napak, čeprav fit pogosto ni bil najlepši. Ravno tako se sprašujem, ali je bilo fitanje funkcij ψ_r in ψ_i na grafa



Slika 2: Vrednosti τ , dobljeni iz obeh fitov, sta si med seboj precej podobni, kar je dobro. Nenavadno je, da se fitana krivulja ψ_i s podatki ne ujema tako zelo dobro, vendar je težava verjetno v parametru ψ_0 in ne τ .



Slika 3: Dobljena vrednost τ se lepo ujema z vrednostima, dobljenima na druga dva načina. Pri fitu smo izpustili mersko točko pri $\nu = 1648$ Hz, saj ima zaradi majhnih vrednosti tako ψ_r kot ψ_i zelo veliko napako.

$U_\psi(\nu)$ resnično primerno. Glede na to, da smo pri prvem delu vaje izmerili, da je odziv na fotodiodi linearno odvisen od napetosti za dovolj majhne U , sodim, da je, saj je razlika le v predfaktorju.