

# Elektrooptični pojav

Bor Kokovnik

Maj 2024

## 1 Uvod

Zunanje električno polje lahko vpliva na optične lastnosti snovi preko sprememb gostote, orientacije molekul, urejenosti, ... Vplivu stičnih polj rečemo elektrooptični pojav. Poznamo *linearni* elektrooptični pojav, ki ga lahko opazujemo samo v anizotropnih snoveh brez simetrije inverzije, in *kvadratni* elektrooptični pojav, ki je mogoč v vseh materialih. V splošnem anizotropnem kristalu je opis elektrooptičnega pojava tenzorski, naš material pa je homogena keramika, ki je simetrična ob zamenjavi  $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$ . Zato je v njej mogoč le kvadratni elektrooptični pojav. Zunanje električno polje zlomi simetrijo izotropne keramike, zato ločimo dve spremembi lomnega količnika: sprememba za svetlobo, ki je polarizirana vzporedno z zunanjim poljem in za svetlobo s pravokotno polarizacijo.

V keramiko posvetimo s svetlobo valovne dolžine  $\lambda$  in variramo zunanje električno polje jakosti  $E$ . Spreminjata se lomna količnika za svetlobo polarizirano vzporedno s smerjo polja  $n_{\parallel}$  in pravokotno glede na smer polja  $n_{\perp}$ , in sicer oba v odvisnosti od kvadrata  $E$ . Pogosto nas ne zanima absolutna sprememba  $n_{\parallel}$  in  $n_{\perp}$  ampak le razlika, ki jo zapišemo kot

$$n_{\parallel} - n_{\perp} = B\lambda E^2. \quad (1)$$

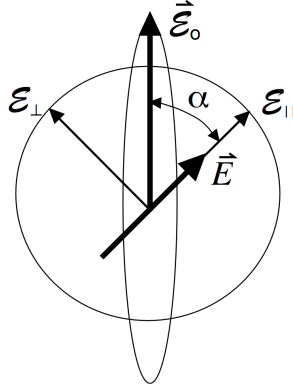
To je kvadratni elektrooptični pojav, poimenovan po odkritelju Kerru.  $B$  je Kerrova konstanta. Elektrooptični pojav se izkorišča v mnogih napravah, kvadratni zakon pa predvsem za kontroliranje optičnih snopov. Princip delovanja dobro ponazarja Kerrova celica.

Vsi polarizatorji so narejeni na principu, da se skozi različno razširjata dve ortogonalni lastni valovanji. Eno od teh se v polarizatorju lahko absorbira ali pa spremeni smer. Lastna vala sta običajno linearno polarizirana (linearni polarizator), poznamo pa tudi cirkularne polarizatorje. Ko na linearni polarizator pošljemo svetlobo, se ta razdeli na dve lastni valovanji, od katerih bo eno zadušeno, drugo pa prepuščeno. Prepuščeno električno poljsko jakost  $\mathcal{E}_p$  dobimo tako, da vpadno  $\mathcal{E}_0$  projiciramo na prepustno smer polarizatorja. Če na polarizator vpada linearno polarizirana svetloba, prepustna smer polarizatorja pa tvori kot  $\alpha$  s smerjo vpadne polarizacije, je amplituda prepuščenega vala enaka

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_0 \cos(\alpha) \quad (2)$$

Prepuščena moč je sorazmerna kvadratu polja.

V Kerrovi celici je elektrooptični material postavljen med dve vzporedni elektrodi, na kateri priključimo električno napetost in s tem dobimo električno polje  $E = U/d$ , kjer je  $d$  razdalja med elektrodama. V prej izotropnem materialu se spremenita  $n_{\parallel}$  in  $n_{\perp}$ . Snop polarizirane svetlobe vpada na celico v smeri, ki je pravokotna na  $\mathbf{E}$ , smer polarizacije



Slika 1: Ponazoritev orientacije pomembnih smeri v Kerrovi celici.

pa tudi leži v ravnini, pravokotni na smer razširjanja svetlobe in tvori kot  $45^\circ$  s poljem  $\mathbf{E}$ . Zaradi dvolomnosti, ki je posledica  $\mathbf{E}$ , se v materialu razširjata dva vala z različnima valovnima številoma  $k_{\parallel} = n_{\parallel}k_0$  in  $k_{\perp} = n_{\perp}k_0$ , kjer je valovno število v vakuumu  $k_0 = 2\pi/\lambda$ . Vpadna linearno polarizirana svetloba z amplitudo električnega polja  $\mathcal{E}_0$  se razdeli na dva, med seboj pravokotno polarizirana dela snopa  $\mathcal{E}_{\parallel}$  in  $\mathcal{E}_{\perp}$ , ki različno hitro potujeta skozi elektrooptični material. V zrak na drugi strani izstopita z različnima fazama in je zato prepuščena svetloba v splošnem eliptično polarizirana. To prepuščeno svetlobo analiziramo s polarizatorjem. Polarizator deluje tako, da električno poljsko jakost svetlobe projicira v izbrano smer. Če ga postavimo vzporedno s polarizacijo vpadne svetlobe, bo ta celica pri  $E = 0$  prepuščala vso vpadno svetlobo, ob povečevanju polja pa se bo prepustnost manjšala, Obratno pa velja, če je analizator polarizacije pravokoten na smer vpadne polarizacije.

Za izračun moči po prehodu skozi Kerrovo celico vektor vpadne polarizacije  $\mathcal{E}_0$  razdelimo na dve pravokotni komponenti, ki imata različni valovni števili. Valovanje, ki ga prepusti analizator  $\mathcal{E}_p$  zapišemo kot vsoto obeh delnih valovanj proeciranih na smer analizatorja

$$\mathcal{E}_p = \frac{\mathcal{E}_0}{2} \exp(ik_{\parallel}L) - \frac{\mathcal{E}_0}{2} \exp(ik_{\perp}L) = \frac{\mathcal{E}_0}{2} \exp(ik_{\parallel}L) [1 - \exp(i(k_{\perp} - k_{\parallel})L)]. \quad (3)$$

Tu je  $L$  dolžina poti svetlobe v keramiki. Vpeljimo  $\Delta k = k_{\parallel} - k_{\perp} = (n_{\parallel} - n_{\perp})k_0$  in  $\Delta\Phi = \Delta kL$ . Z detektorjem merimo moč svetlobe in nas zato zanima kvadrat absolutne vrednosti polja  $\mathcal{E}_p$ , ki jo izrazimo s fazno razliko  $\Delta\Phi$ .

$$|\mathcal{E}_p|^2 = \frac{\mathcal{E}_0^2}{4} [1 - \exp(i\Delta\Phi)][1 - \exp(-i\Delta\Phi)] = \frac{\mathcal{E}_0^2}{4} (1 - \cos(\Delta\Phi)). \quad (4)$$

Odvisnost moči prepuščene svetlobe izrazimo kot

$$P = \frac{P_1}{2} (1 - \cos(\Delta\Phi)) = P_1 \sin^2(\Delta\Phi/2), \quad (5)$$

ki je v primeru fazne razlike zaradi Kerrovega efekta (1) enaka

$$P = P_1 \sin^2(\Phi_0/2 + \pi BLE^2). \quad (6)$$

## 2 Potrebščine

- He-Ne plinski laser (HNLS008L-EC),  $\lambda = 632,8$  nm, linearno polariziran v vertikalni smeri,
- svetlobni modulator s PLZT keramiko, izvor visoke napetosti 0 – 1000 V, voltmeter (multimeter),
- fotodioda vezana na namizni multimeter (SigLent SDM 3065X),
- polarizatorji (polaroidni filtri) pritrjeni na vrtljivih nosilcih,
- dvolomna celica iz tekočega kristala v nosilcu, ki omogoča vrtenje, kotomer,
- prenosnik št. 5 s programom ElOpt, napisanim v LabView-u.

## 3 Naloga

1. Izmerite kotno odvisnost prepustnosti polarizatorja za linearno polarizirano svetlobo.
2. Izmerite prepustnost dveh pravokotno postavljenih polarizatorjev, ko mednju postavite še tretji polarizator in ga vrtite.
3. Določite Kerrovo konstanto PLZT keramike.
4. Analizirajte polarizacijo svetlobe po prehodu skozi dvolomno snov in določite debelino tekočerkristalne celice.

## 4 Obdelava meritev

Datum izvedbe: 16. 5. 2024

### 4.1 Prepustnost polarizatorja

Za vrtenje enega polarizatorja za drugim velja zveza

$$I(\varphi) \propto \sin^2(\phi), \quad (7)$$

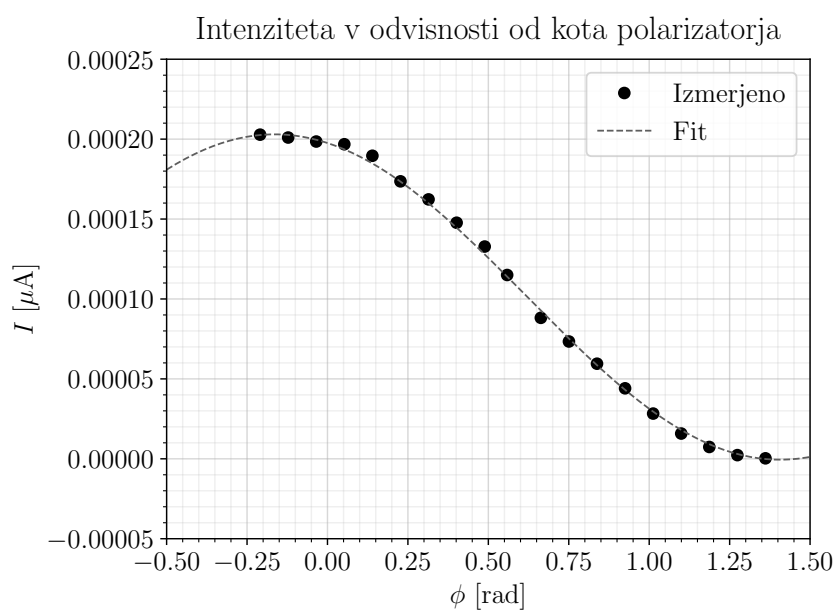
kar lahko fitamo na izmerjene podatke. Dobimo sliko 2

### 4.2 Vmesni polarizator

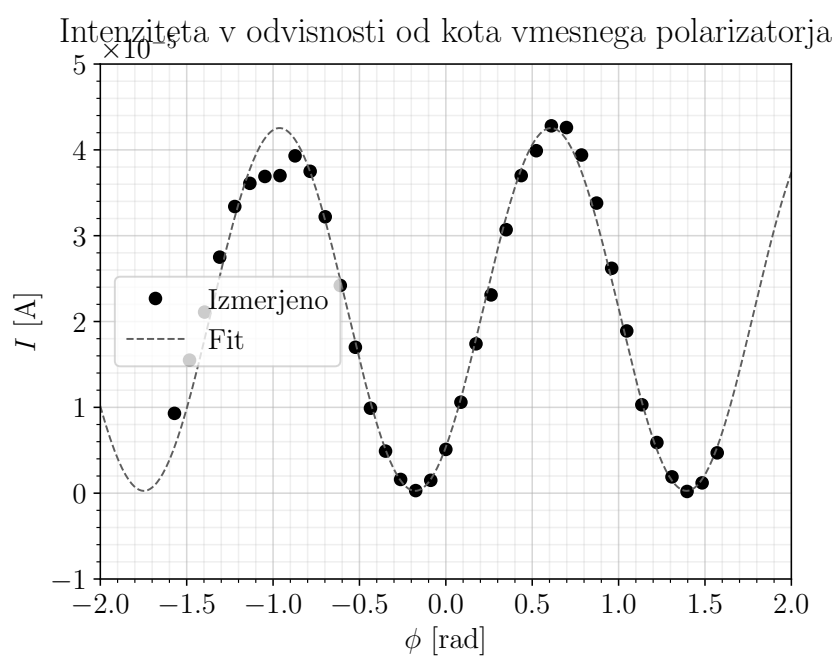
V tem primeru opišemo prepuščeno moč z enačbo

$$I(\varphi) \propto \sin^2(2\phi), \quad (8)$$

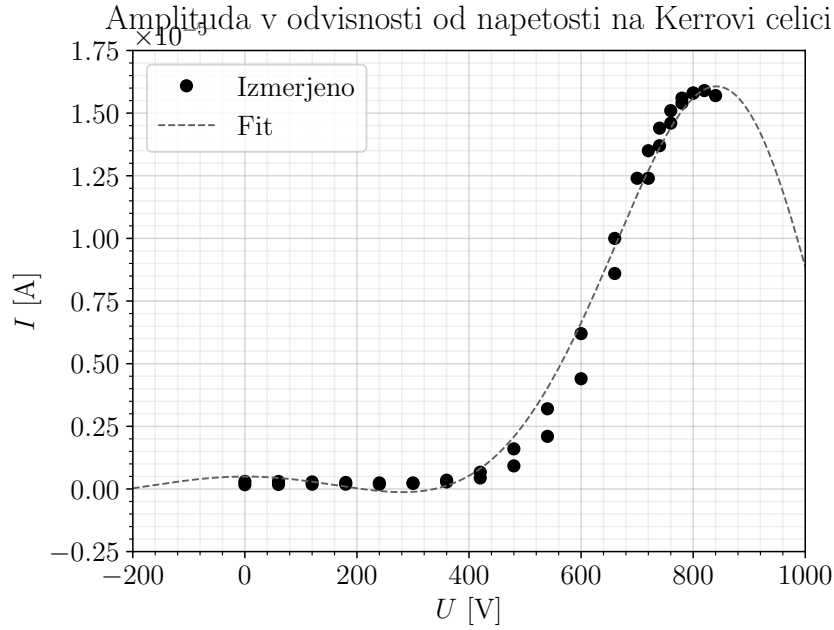
kar sem ponovno fital na izmerjene podatke. Vidimo, da največjo prepustnost pričakujemo, ko bo kot vmesnega polarizatorja enak  $\frac{\pi}{4}$ .



Slika 2: Odvisnost toka od zavrtenosti analizatorja. Tok je sorazmeren s celotno prepuščeno močjo, nas pa predvsem zanima oblika.



Slika 3: Odvisnost toka od zavrtenosti analizatorja, postavljenega med dva pravokotna polarizatorja.



Slika 4: Odvisnost toka na senzorju v od napetosti na Kerrovi celici, postavljeneo med dva pravokotna polarizatorja.

### 4.3 Kerrova celica

Ta del poteka podobno kot prejšnji, kjer med dva med sabo pravokotna polarizatorja postavimo Kerrovo celico in na njej spreminjamo napetost. Zvezo nam poda enačba 6, kjer upoštevamo  $E = \frac{U}{d}$ . Fit je prikazan na sliki 4, iz njega pa določimo Kerrovo konstanto, kjer upoštevamo podatke  $d = 1,4$  mm in  $L = 1,5$  mm.

$$B = (1,04 \pm 0.03) \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{V}^2}$$

### 4.4 Tekoči kristali

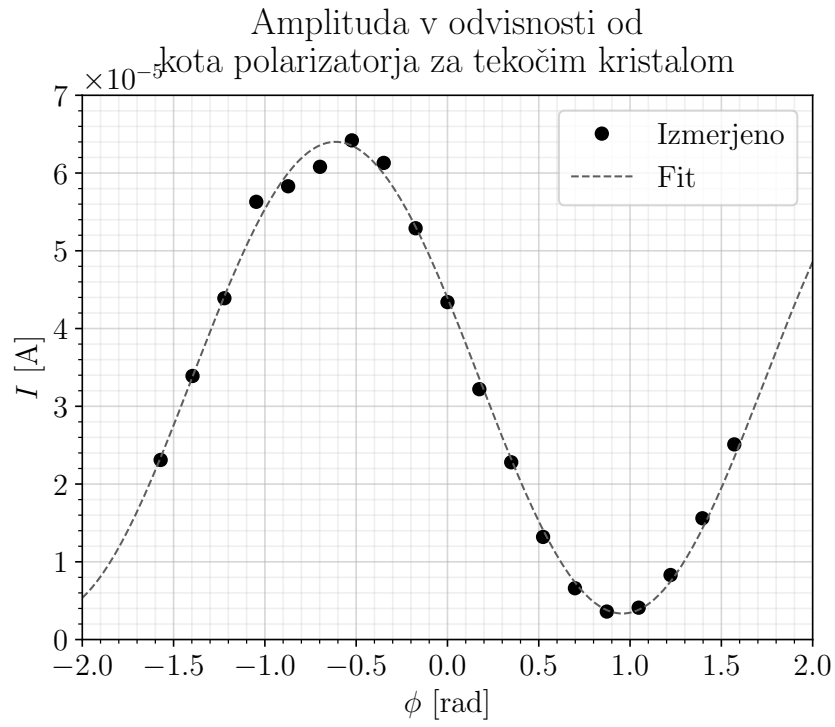
S pomočjo polarizatorja lahko določimo lastni osi tekočih kristalov. Te razberemo iz fita, prikazanega na sliki 5. Pričakujemo enako odvisnost kot pri 1. delu vaje. Tako dobimo lastni osi v smereh  $(-54,9 \pm 0,7)^\circ$  in  $(35,1 \pm 0,7)^\circ$ .

Za konec smo morali določiti še debelino ploščice tekočih kristalov iz zveze

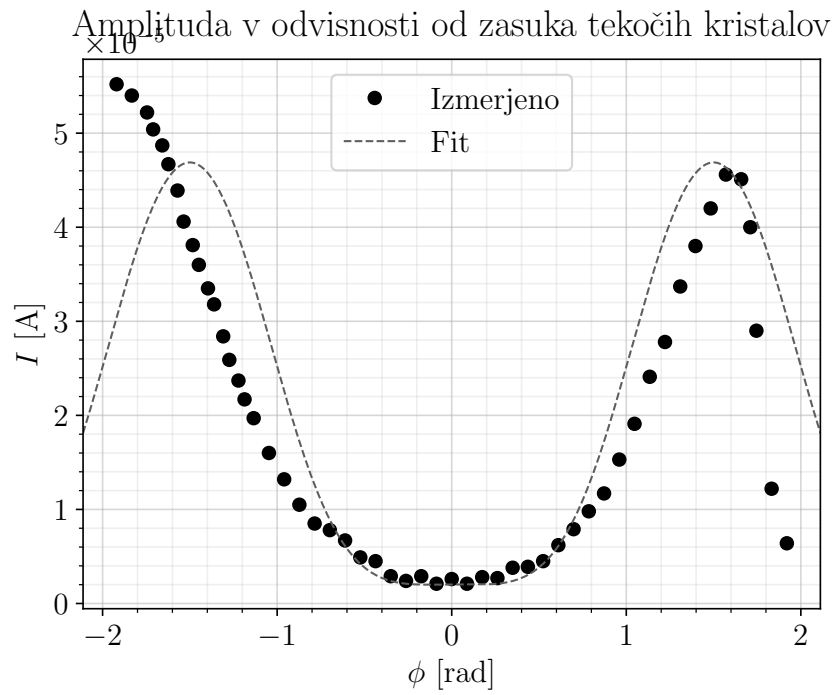
$$I \propto \sin^2 \left( \frac{\pi d}{\lambda} \left[ \sqrt{n_{\perp}^2 - \sin^2(\varphi)} - \sqrt{n_{\parallel}^2 - \sin^2(\varphi)} \right] \right), \quad (9)$$

kjer je  $n_{\perp} = 1,706$  in  $n_{\parallel} = 1,532$ . Tako pridemo iz fita na sliki 6 do vrednosti za debelino celice:

$$d = (3,6 \pm 0,2) \mu\text{m}$$



Slika 5: Odvisnost toka na senzorju od kota polarizatorja za tekočimi kristali.



## 5 Zaključek

Pri vaji nisem naletel na večje probleme. Vsi fiti, poleg tistega na grafu 6 se dobro ujemajo z izmerjenimi podatki.

Razloga za odstopanje med fitom in podatki na grafu 6 nisem odkril, lahko pa da gre za kakšen manjkajoč parameter v modelski funkciji, na katerega nisem pomislil in ki ni upoštevan v teoriji. Glede na izrazito nižji vrh na desni strani kot na levi, bi bilo lahko za odstopanje krivo tudi zamikanje laserja med potekom meritev.