

# Elektrooptični pojav

Miha Pompe

Maj 2021

## 1 Teorija

Zunanje električno polje običajno vpliva na strukturo snovi. V kristalih se denimo spremeni oblika osnovne celice, v tekočinah pride do spremembe gostote in/ali orientacijskega urejanja molekul (podolgovate molekule se poravnajo v smeri polja), pogosto pa se spremeni tudi oblika posameznih molekul. Vse te spremembe se odražajo tudi na optičnih lastnostih snovi. Mi se bomo tukaj zanimali za vpliv statičnih polj in temu rečemo 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 variiramo zunanje električno polje jakosti  $E$ . Spreminjata se lomna količnika za svetlobo polarizirano vzporedno s smerjo polja  $n_{vz}$  in pravokotno glede na smer polja  $n_{pr}$ , in sicer oba v odvisnosti od kvadrata  $E$ . Pogosto nas ne zanima absolutna sprememba  $n_{vz}$  in  $n_{pr}$  ampak le razlika, ki jo zapišemo kot

$$n_{vz} - n_{pr} = B\lambda E^2 \quad (1)$$

kjer je  $B$  Kerrova konstanta.

Elektrooptični pojav je osnova za številne naprave s katerimi kontroliramo optične curke s pomočjo zunanjega električnega polja tja do frekvenc v GHz področju. Te naprave so modulatorji, atenuatorji in preklopniki, optične leče z električno nastavljivo goriščno razdaljo ter različni elementi za spreminjanje polarizacije svetlobe. Uporabljamo jih v laserjih, v sistemih optičnih komunikacij, pri optičnem obdelovanju in zapisovanju informacij ter v različnih drugih optičnih sistemih. Princip delovanja teh naprav dobro ponazarja Kerrova celica.

Vsi polarizatorji so narejeni na principu, da se skozi njih 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  $E_p$  dobimo tako, da vpadno  $E_0$  projiciramo na prepustno smer polarizatorja. Če na polarizator vпада linearno polarizirana svetloba, prepustna smer polarizatorja pa tvori kot  $\alpha$  s smerjo vpadne polarizacije, je amplituda prepuščenega vala enaka

$$E_p = E_0 \cos \alpha \quad (2)$$

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. Snop polarizirane svetlobe vпада na celico v smeri, ki je pravokotna na  $E$ , smer polarizacije pa tudi leži v ravnini, pravokotni na smer razširjanja svetlobe in tvori kot  $45^\circ$  s poljem  $E$ . Zaradi dvolomnosti, ki je posledica  $E$ , se v materialu razširjata dva vala z različnima valovnima številoma  $k_{vz} = n_{vz}k_0$  in  $k_{pr} = n_{pr}k_0$ , kjer je valovno število v vakuumu  $k_0 = 2\pi/\lambda$ . V zrak na drugi strani izstopita snopa z različnima fazama in je zato prepuščena svetloba v splošnem eliptično polarizirana.

Izračunajmo moč polariziranega svetlobnega snopa po prehodu skozi Kerrovo celico. Prepuščeno valovanje  $E_p$  zapišemo kot vsoto obeh delnih valovanj projiciranih na smer analizatorja, to je

$$E_p = \frac{E_0}{2} e^{ik_{vz}L} - \frac{E_0}{2} e^{ik_{pr}L} = \frac{E_0}{2} e^{ik_{vz}L} (1 - e^{i(k_{pr}-k_{vz})L}) \quad (3)$$

$E_0$  je amplituda vpadnega vala,  $L$  pa dolžina poti svetlobe v keramiki. Vpeljemo dva nova simbola,  $\Delta k = k_{vz} - k_{pr} = (n_{vz} - n_{pr})k_0$  in  $\Delta\phi = \Delta k L$ . Z detektorjem merimo moč svetlobe in nas zato zanima kvadrat absolutne vrednosti polja  $E_p$ , ki jo izrazimo s fazno razliko  $\Delta\phi$ .

$$|E_p|^2 = \frac{E_0^2}{4} (1 - \cos\phi) \quad (4)$$

Odvisnost moči prepuščene svetlobe izrazimo kot

$$P = P_1 \sin^2(\Delta\phi/2) \quad (5)$$

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

$$P = P_1 \sin^2(\phi_0/2 + \pi B L E^2) \quad (6)$$

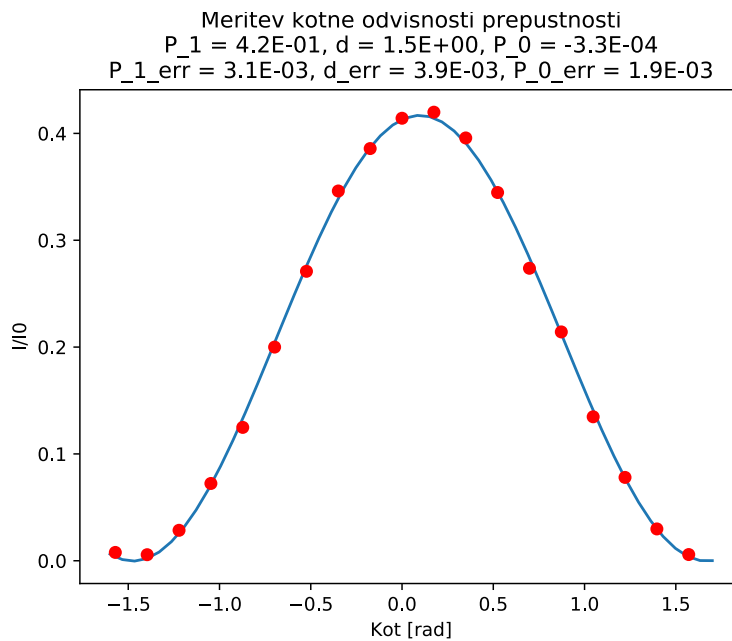
## 2 Rezultati in analiza

Prvi del meritev je bilo merjenje prepustnosti svetlobe skozi en polarizator v odvisnosti od kota zasuka. Pričakujemo, da bo prepustnost v odvisnosti od kota zasuka zadostovala kvadratu enačbe (2). Na graf merite sem nanese naslednjo funkcijo:

$$P_p = P_1 \sin^2(\alpha + \delta) + P_0 \quad (7)$$

Meritve se zelo dobro prilegajo modelu. Na ordinatni osi je navedena količina  $I/I_0$  ki je sorazmerna s prepustnostjo, tu je  $I_0 = 705A$ ,  $I$  pa izmerki. Opazimo lahko, da je razlika med maksimumom in minimumom  $90^\circ$ .

Drugi del meritev je podoben prvemu, le da imamo tu dva polariza-

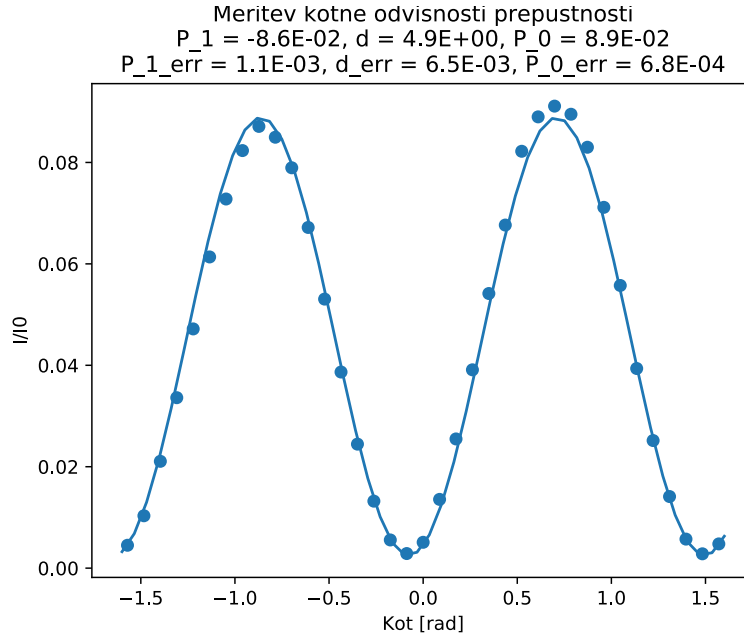


Graf 1: Graf prikazuje odvisnost prepustnosti od kota zasuka. Na graf je prilagojena enačba (7). Vrednosti prilagoditvenih konstant so navedene na grafu s pripadajočimi napakami.

torja. Merimo pa prepustnost v odvisnosti od zasuka drugega polarizatorja. Pričakujemo podobno odvisnost kot jo podaja enačbe (7), le da je tu frekvenca nihanja dvakrat večja.

$$P_p = P_1 \sin^2(2\alpha + \delta) + P_0 \quad (8)$$

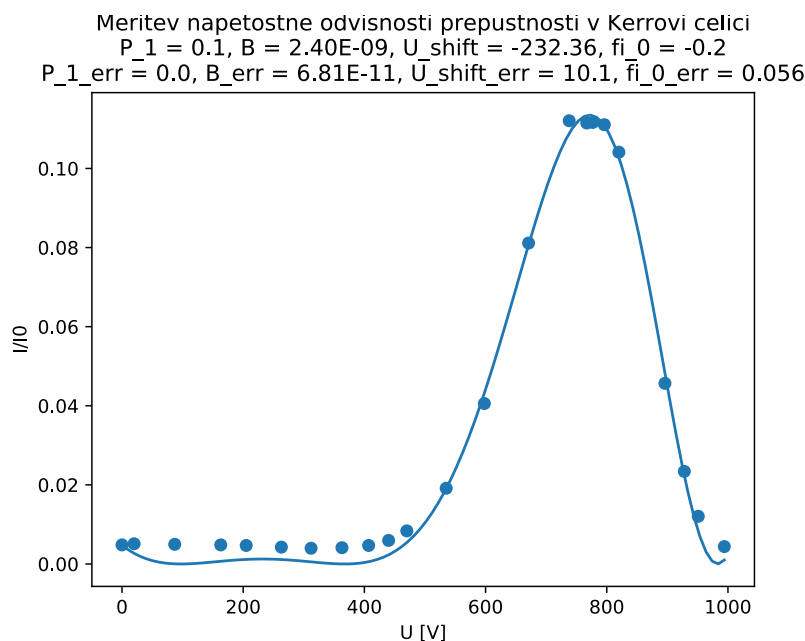
Meritve se modelu zelo dobro prilegajo.



Graf 2: Odvisnost prepustnosti od zasuka drugega polarizatorja. Na graf je prilagojena enačba (8). Vrednosti prilagoditvenih konstant so navedene na grafu s pripadajočimi napakami.

V tretjem delu smo meritve izvajali s Kerrovo celico, ki ima razmak med elektrodama  $d = 1.4$  mm in dolžino poti žarka v keramiki  $L = 1.5$  mm. Kerrova celica je pritrjena tako, da je njena os nagnjena za  $45^\circ$  glede na vertikalo. Na Kerrovo celico smo nato priključili napetost in merili prepustnost v odvisnosti od napetosti. Na graf smo nato prilagodili funkcijo (6). S tem lahko določimo Kerrovo konstanto, ki meri  $K = 2,4 \cdot 10^{-9} m/V^2 \pm 6,8 \cdot 10^{-11} m/V^2$ . Podatka o Kerrovi konstanti PLTZ keramike nisem našel, sem pa našel, da je Kerrova konstanta tipično reda med  $10^{-9}$  in  $10^{-12} m/V^2$ , kar se sklada z našimi meritvami.

V četrtem delu smo meritve izvajali z vzorcem tekočega kristala. Tekoči kristali so vmesna faza med tekočinami in trdnimi snovmi. Sestavljeni so iz podolgovatih molekul, ki se zaradi medsebojnih sil orientacijsko poravnajo druga z drugo in material postane dvolomen. Ko skozi kristal posvetimo s polarizirano svetlobo je prepuščena svetloba v splošnem eliptično polarizirana. Lastne osi elipse so določene s smerjo vhodne polarizacije in tako oklepajo kot  $45^\circ$  z lastnimi smermi vzorca. V smereh lastnih osi elipse ima prepuščena moč ekstrem. Razmerje med maksimalno in minimalno intenziteto je odvisno od fazne zakasnitve  $\Delta\phi$  delnih žarkov v vzorcu. Če se



Graf 3: Graf meritve prepustnosti v odvisnosti od napetosti na Kerrovi celici. Na graf je prilagojena krivulja (6).

delna žarka zakasnita za  $\Delta\phi = 90^\circ$ , sta lastni osi elipse enako dolgi in je izhodna polarizacija cirkularna, linearno polarizacijo pa dobimo, če je zakasnitev celoštevilski mnogokratnik  $\pi$ .

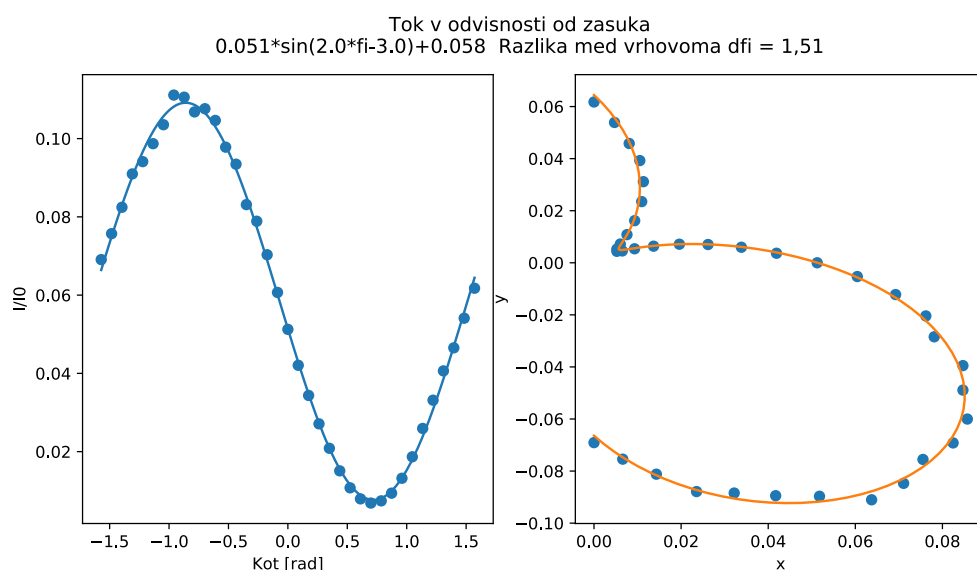
Prvi del poskusa izvedemo tako, da vrtimo zadnji polarizator in tako lahko pokažemo, da je svetloba pri izstopu eliptično polarizirana. Naklon glavne lastne osi lahko iz grafa 4 določimo, da je  $\Delta\phi = 80^\circ \pm 5^\circ$ .

Drugi del meritev smo izvedli s prekržanima polarizatorjema, spreminjali pa smo kot okoli navpične osi. Pričakujemo obnašanje, ki ga podaja naslednja enačba

$$P_p = P_1 \sin^2 \left( \frac{\pi d}{\lambda} \left( \sqrt{n_{pr}^2 - \sin^2 \alpha} - \sqrt{n_{vz}^2 - \sin^2 \alpha} \right) \right) + P_0 \quad (9)$$

kjer poznamo lomna količnika in valovno dolžino, iščemo pa debelino vzorca. Izmerjena dolžina vzorca je  $d = 16,37 \pm 4,0 \mu\text{m}$ . Velika napaka je posledica numerične metode, ki ni dovolj natančno prilagodila grafa meritvam.

Napake meritev so posledica omejene natančnosti merilne opreme. Pri

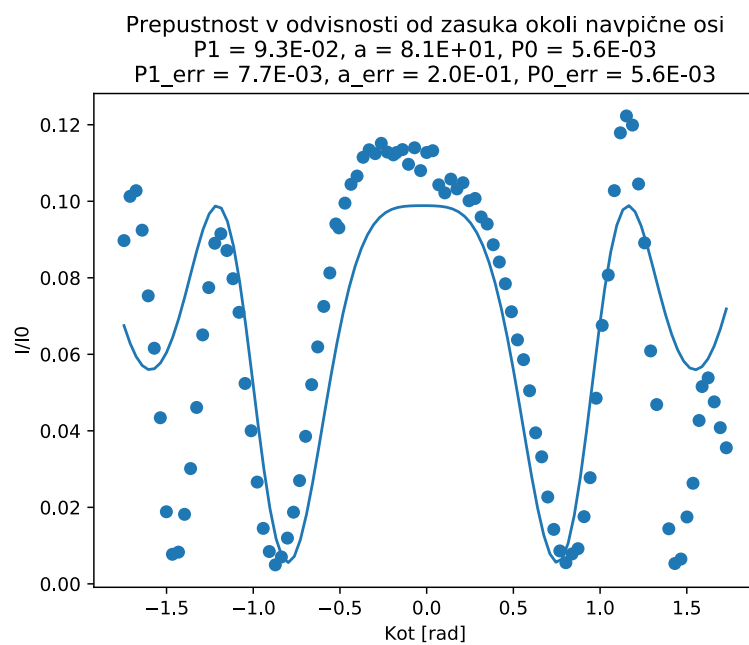


Graf 4: Levi graf prikazuje prepustnost v odvisnosti od zasuka drugega polarizatorja. Levi graf prikazuje enake meritve a v polarnem koordinatnem sistemu, kjer je radij enak prepustnosti. Kot pričakovano sledi krivulja sinusoide.

meritvah toka je le-ta nihal preden se je ustalil na končno vrednost. Na meritev lahko delno vpliva tudi sprememba osvetljenosti v prostoru.

### 3 Diskusija

Pri vaji smo preverili delovanje polarizatorjev in interakcije svetlobe z večimi polarizatorji. To znanje smo nato prenesli na Kerrovo celico pri kateri smo optične lastnosti keramike spreminjali z napetostjo in iz tega določili Kerrovo konstanto. Pri zadnjem delu vaje smo opazovali eliptično polarizirano svetlobo, ki je prehaja skozi tekoč kristal in izmerili debelino tekočega kristala.



Graf 5: Graf prepustnosti v odvisnosti od zasuka okoli navpične osi. Na graf je prilagojena funkcija (9). Tu je  $a = \pi d / \lambda$ , od koder lahko dobimo, da je  $d = 16,3 \mu m \pm 4,0 \mu m$ .