



## Fizikalni praktikum IV

### Poročilo

# Vaja: Elektrooptični pojav

Simon Bukovšek

Datum vaje: 13. marec 2023

Datum oddaje poročila: 20. marec 2023

## 1 Teoretični uvod

Polarizator je optična priprava, ki prepušča samo elektromagnetno valovanje polarizirano v določeni smeri. Določeni materiali, ki so optično aktivni (sestavljene iz nesimetričnih – kiralnih – molekul), lahko obrnejo kot polarizirane svetlobe. Taki materiali imajo različne lomne količnike za različne smeri polarizacije – temu pojavu se reče dvolomnost. Če združimo dve linearno polarizirani valovanji v pravokotnih smereh z neko fazo, dobimo krožno ali eliptično polarizirano valovanje. Naprava za merjenje rotacije kota polarizirane svetlobe v snovi se imenuje analizator in je sestavljena iz dveh polarizatorjev, enega pred in drugega za vzorcem. Pri določenih materialnih se razlika med lomnim količnikom za navpično in vodoravno polarizirano valovanje spreminja z zunanjim električnim poljem. Temu pojavu rečemo Kerrov pojav. Velja

$$n_{\parallel} - n_{\perp} = B\lambda E^2,$$

kjer je  $E$  jakost električnega polja,  $\lambda$  valovna dolžina valovanja in  $B$  Kerrova konstanta. Posledica tega je, da tak material rotira svetlobo pod različnimi koti, odvisno od zunanjega polja – to je elektrooptični pojav.

## 2 Pripomočki

- 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.

### 3 Meritve

Najprej smo merili odvisnost prepuščene svetlobe laserja skozi en sam polarizator v odvisnosti od kota med  $-90^\circ$  in  $90^\circ$ . Nato smo postavili zadnji polarizator na kot z najmanjšo prepustnostjo in vmes postavili še en polarizator. Spet smo merili skupno prepustnost svetlobe v odvisnosti od kota vmesnega polarizatorja. Namesto vmesnega polarizatorja smo dali Kerrovo celico, na kateri smo sprminjali napetost in merili prepuščeno svetlobo skozi zadnji polarizator. Za tem smo Kerrovo celico zamenjali za steklo s tekočimi kristali in merili odvisnost prepuščene svetlobe od kota zadnjega polarizatorja. Nazadnje smo spreminjali kot stekelca glede na pot žarka in spet gledali moč svetlobe, ki je prišla skozi zadnji polarizator.

### 4 Podatki in analiza

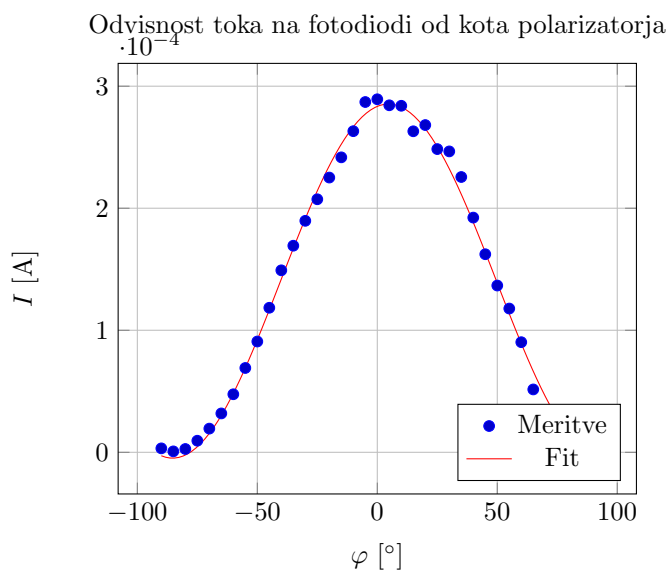
Ko vrtimo en polarizator glede na drugega, pričakujemo naslednjo zveza za prepuščeno moč svetlobe:

$$I(\varphi) = I_0 + I_1 \sin^2(\varphi + \delta),$$

kjer so  $I_1$ ,  $I_0$  in  $\delta$  konstante,  $\varphi$  pa je kot med polarizatorjema.  $\delta$  opisuje začetni kot med polarizatorjema. Na meritve smo fitali zgornjo zvezo in dobili naslednje podatke:

$$I_0 = 2.85 \cdot 10^{-4} \text{ A}, \quad I_1 = -2.9 \cdot 10^{-4} \text{ A}, \quad \delta = -4.7^\circ.$$

Ustreznost fita je razvidna na spodnjem grafu. Namesto moči smo risali tok na fotodiodi, ki je z močjo sorazmeren.



Nato smo prejšnji polarizator postavili na kot z najmanjšo prepustnostjo in med polariziran laser ter polarizator vstavili nov polarizator. S tem smo dosegli, da je vseeno lahko prišlo nekaj svetlobe skozi sistem. Največje prepustnost je pričakovana takrat, ko je kot vmesnega polarizatorja ravno na polovici ( $45^\circ$ ) med pravokotno postavljenima prvim in zadnjim polarizatorjem. Prepuščeno svetlobo opisuje zveza:

$$I(\varphi) = I_0 + I_1 \sin^2(2\varphi + \Delta).$$

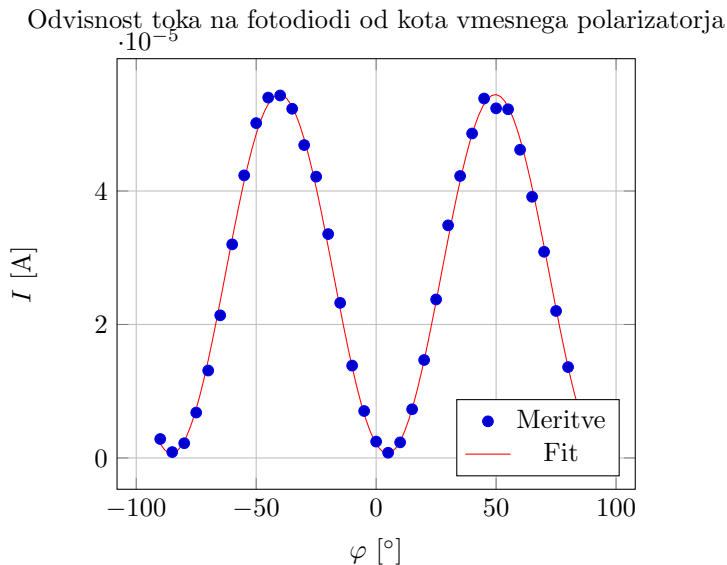
Iz izmerjenih podatkov smo dobili naslednje vrednosti:

$$I_0 = 6.82 \cdot 10^{-7} \text{ A}, \quad I_1 = 5.38 \cdot 10^{-5} \text{ A}, \quad \delta = -9.4^\circ.$$

Podatki in najboljše prilegajoča krivulja sta prikazana na spodnjem grafu.

Nato smo med začetni in končni polarizator (še vedno pravokotno obrnjena) vstavili Kerrovo celico in na njej spreminjali napetost. Zveza med napetostjo na Kerrovi celici in prepuščeno svetlobo podaja zveza

$$I(U) = I_0 \sin^2(\pi BLU^2/d^2 + \Delta\Phi/2).$$



Člen  $\Delta\Phi/2$  je notri zato, ker ima Kerrova celica lahko že brez napetosti nekaj dvolomnosti. Vrednosti  $L$  in  $d$  pa sta  $L = 1.5 \text{ mm}$  in  $d = 1.4 \text{ mm}$ . Optimalni parametri prilagajanja krivulje podatkom so

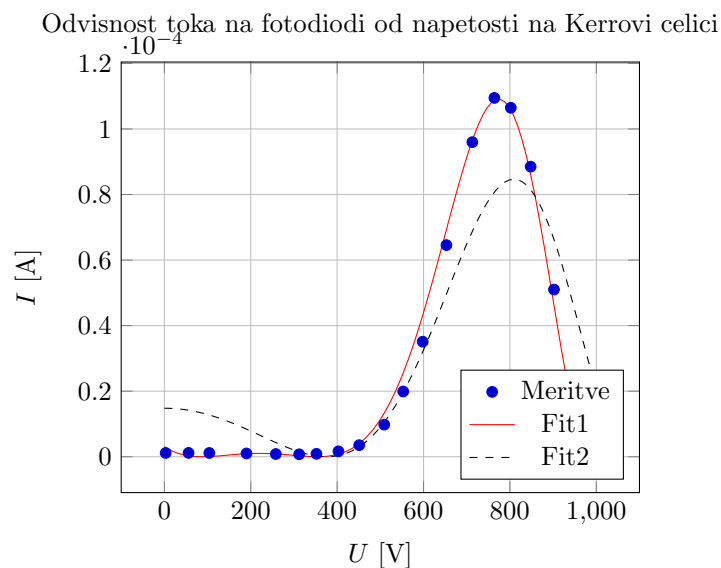
$$I_0 = 8.5 \cdot 10^{-5} \text{ A}, \quad \pi BL/d^2 = 3.06 \cdot 10^{-6} \text{ V}^{-2}, \quad \Delta\Phi_0 = -49^\circ.$$

Kot pa je s spodnjega grafa razvidno, ta fit (Fit2) ni najboljši. Popravek modela je lahko v tem, da je efektivna napetost na celici nekoliko drugačna od izmerjene napetosti:

$$I(U) = I_0 \sin^2(\pi BL(U - U_0)^2/d^2 + \Delta\Phi/2).$$

Če poskusimo naitati to krivuljo dobimo mnogo lepši fit (v vsakem primeru bi morali dobiti lepši fit, saj imamo en parameter več) – Fit2 na spodnjem grafu. Optimalni parametri so:

$$I_0 = 1.09 \cdot 10^{-4} \text{ A}, \quad U_0 = 220 \text{ V}, \quad \pi BL/d^2 = 5.45 \cdot 10^{-6} \text{ V}^{-2}, \quad \Delta\Phi_0 = -371^\circ.$$



Vrednost Kerrovega koeficienta je

$$B = \frac{d^2}{\pi L} \cdot 3.06 \cdot 10^{-6} \text{ V}^{-2} = 1.27 \cdot 10^{-9} \text{ m V}^{-2},$$

če upoštevamo drugi fit. Če pa upoštvamo prvi zamaknjen fit, pa dobimo vrednost

$$B = 2.27 \cdot 10^{-9} \text{ m V}^{-2}.$$

Nato smo zamenjali Kerrovo celico za ploščico tekočih kristalov, ki so dvolomni že brez električnega polja. Zaradi dvaolmnosti iz vpadnega linearno polariziranega žarka ustvarjajo eliptično polariziran žarek, katerega kot in eliptičnost se lahko meri z enim preničnim polarizatorjem. Prepustnost v odvisnosti od kota sledi sinusni odvisnosti:

$$I(\varphi) = I_0 + I_1 \sin^2(\delta + \varphi).$$

Na meritev smo fitali to krivuljo in dobili naslednje parametre:

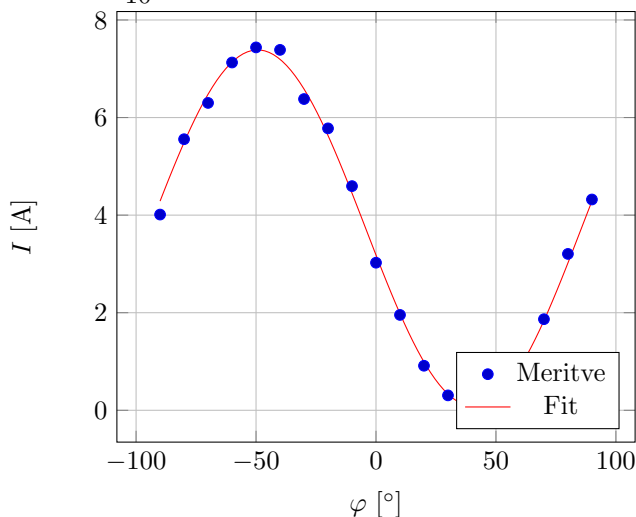
$$I_0 = 8.31 \cdot 10^{-7} \text{ A}, \quad I_1 = 7.3 \cdot 10^{-5} \text{ A}, \quad \delta = -40.7^\circ.$$

Smeri lastnih osi sta  $-40.7^\circ$  in  $49.3^\circ$ , ekscentričnost elipse pa je

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{I_0^2}{(I_0 + I_1)^2}} = 0.99994,$$

kar pomeni, da je valovanje skoraj popolnoma linearno polarizirano.

Odvisnost toka na fotodiodi od kota polarizatorja za tekočim kristalom



Nazadnje smo opazovali še kot rotacije polarizirane svetlobe pri različnih kotih ploščice tekočih kristalov glede na vpadni kot žarka. Zvezo za prepustnost svetlobe skozi zadnji (fiksni) polarizator je nekoliko bolj zapletena:

$$I(\varphi) = I_0 + I_1 \sin^2 \left( \frac{\pi d}{\lambda} \left( \sqrt{n_{\perp}^2 - \sin^2(\varphi/2)} - \sqrt{n_{\parallel}^2 - \sin^2(\varphi/2)} \right) \right),$$

kjer je  $\varphi$  dvojni kot med normalo ploščice in žarkom,  $n_{\perp} = 1.532$  in  $n_{\parallel} = 1.706$ . Najbolši parametri so

$$I_0 = 6.9 \cdot 10^{-5} \text{ A}, \quad I_1 = -4.45 \cdot 10^{-4} \text{ A}, \quad \pi d/\lambda = 15.8.$$

Debelina tekočega kristala je

$$d = \frac{\lambda}{\pi} \cdot 15.8 = 3.18 \mu\text{m}.$$

Odpisnost toka na fotiododi od kota tekočih kristalov

