

Elektrooptični pojav

Sara Lisjak Tavčar

Fizikalni praaktikum 4: 2/12

1 Uvod

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.

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 λ 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

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

To je kvadratni elektrooptični pojav, sorazmernostno konstanto B imenujemo 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. Kvadratni elektrooptični pojav pa je pomemben predvsem v

napravah, s katerimi kontroliramo optične snope s pomočjo visokofrekvenčnih zunanjih polj, med drugim tudi s pomočjo drugih optičnih snopov.

Princip delovanja teh naprav dobro ponazarja Kerrova celica, kakršno bomo uporabljali tudi v tej vaji. Preden se lotimo podrobnosti bomo ponovili, kako polariziramo svetlobo. 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 E_p dobimo tako, da vpadno E_0 projiciramo na prepustno smer polarizatorja. Če na polarizator vpadne linearno polarizirana svetloba, prepustna smer polarizatorja pa tvori kot α s smerjo vpadne polarizacije, je amplituda prepuščenega vala enaka

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

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 in n . Snop polarizirane svetlobe vpadne 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° s poljem E . Zaradi dvolomnosti, ki je posledica E , se v materialu razširjata dva vala z različnima valovnima številkama $k = n k_0$ in $k = n k_0$, kjer je valovno število v vakuumu $k_0 = 2\pi/\lambda$. Vpadna linearno polarizirana svetloba z amplitudo električnega polja E_0 se razdeli na dva, med seboj pravokotno polarizirana dela snopa E_{\parallel} in 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.

Izračunajmo moč polariziranega svetlobnega snopa po prehodu skozi Kerrovo celico. Vektor vpadne polarizacije E_0 najprej razdelimo na dve pravokotni komponenti, ki označujeta oba lastna vala. Delne odboje svetlobe na meji zrak-sredstvo zanemarimo. Obe lastni valovanji imata enaki amplitudi in različno veliki valovni števili. Po prehodu skozi keramiko svetlobo pošljemo skozi analizator, ki je postavljen pravokotno na smer vpadne polarizacije. Prepuščeno valovanje E_p zapišemo kot vsoto obeh delnih valovanj projiciranih na smer analizatorja, to je

$$E_p = \frac{E_0}{2} \exp(ik_{\parallel} L) - \frac{E_0}{2} \exp(ik_{\perp} L) = \frac{E_0}{2} \exp(ik_{\parallel} L) [1 - \exp(i(k_{\perp} - k_{\parallel})L)]$$

E_0 je amplituda vpadnega vala, L pa dolžina poti svetlobe v keramiki. Minus pred drugim členom dobimo zaradi projekcije na pravokotno postavljeni analizator. Vpeljemo dva nova simbola, $k = k_0 \sin \theta = (n - n_0)k_0 \sin \theta = kL$. Z detektorjem merimo moč svetlobe in nas zato zanima kvadrat absolutne vrednosti polja E_p , ki jo izrazimo s fazno razliko $\Delta\Psi$.

$$|E_p|^2 = \frac{E_0^2}{4} [1 - \exp(i\Delta\Psi)][1 - \exp(-i\Delta\Psi)] = \frac{E_0^2}{2} (1 - \cos(\Delta\Psi))$$

Razlika v fazi $\Delta\Psi = \Delta k L = 0$ pomeni nič prepuščene svetlobe, faza 180° pa 100% prepustnost. Odvisnost moči prepuščene svetlobe izrazimo kot

$$P = \frac{P_1}{2} (1 - \cos(\Delta\Psi)) = P_1 \sin^2(\Psi_0/2 + \pi B L E^2).$$

2 Naloga

1. Izmerite kotno odvisnost prepustnosti polarizatorja za linearno polarizirano svetlobo.
2. Izmerite prepustnost dveh pravokotno postavljenih polarizatorjev, ko med nju 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.

Opomba: Zaradi okvare instrumenta 4. dela vaje nisem izvedla.

3 Meritve in Rezultati

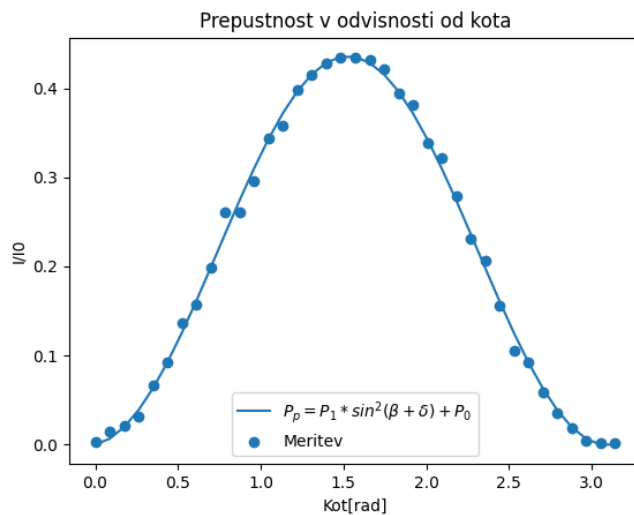
3.1 1.del

Nastavimo laser tako, da gre skozi polarizator in zadane v sredino detektorja. Merimo kotno odvisnost prepustnosti linearnega polarizatorja. Dobljene vrednosti narišemo na graf, na kaerega tudi fittamo krivuljo:

$$P_p = P_1 \sin^2(\beta + \delta) + P_0$$

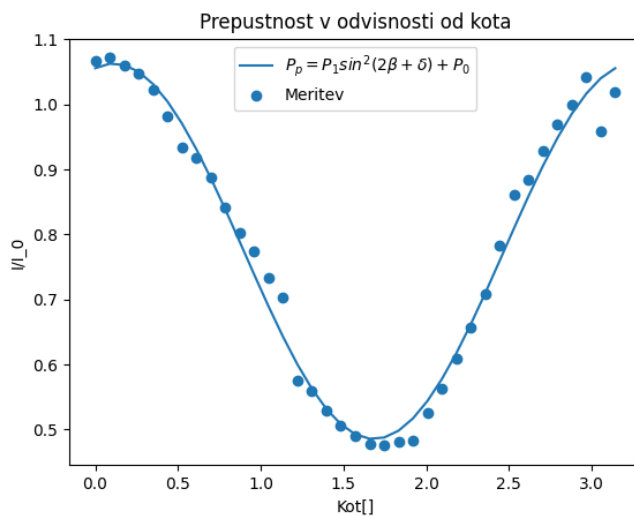
Prepustnost izrazimo kot I/I_0 .

Meritve	
Kot[°]	I[A]
180	1.49976e-06
175	1.7092e-06
170	3.49265e-06
165	1.36348e-05
160	2.63012e-05
155	4.24933e-05
150	6.76994e-05
145	7.65658e-05
140	0.000113493
135	0.000150189
130	0.00016847
125	0.000203571
120	0.000234522
115	0.000247078
110	0.000277938
105	0.000287468
100	0.000307611
95	0.000315042
90	0.000317123
85	0.000316787
80	0.000311681
75	0.000302943
70	0.00029022
65	0.000261502
60	0.000250911
55	0.000215875
50	0.000190076
45	0.000190076
40	0.000144813
35	0.000115161
30	9.95702e-05
25	6.71605e-05
20	4.87965e-05
15	2.3575e-05
10	1.5273e-05
5	1.10844e-05
0	2.33602e-06



3.2 2.del

Tokrat uporabimo dva polarizatorja, prvega orientiramo tako, da ima minimalno prepustnost, prisotnost drugega pa celotno prepustnost dodatno poveča. Postopek in prikaz meritev je identičen kot v prvem delu. (Tokrat meritev ne bom prikazala v tabeli).



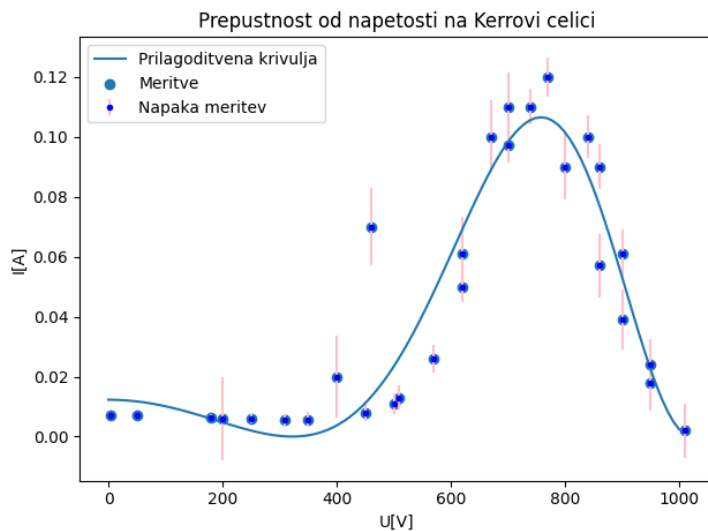
3.3 3.del

Tokrat uporabimo (gledano iz smeri detektor - laser) polarizator, Kerrovo celico in še en polarizator. Z visokonapetostnim izvirom spremljamo napetost na celici - meritve pa izvedemo na intervalu med minimalno im maksimalno:

$$U_{min} = 35[mV], U_{max} = 350[mV]$$

Cilj je izmeriti odvisnost prepuščene moči od kvadrata napetosti. Nato moramo še narediti graf moči od napetosti in nanj fittat krivuljo:

$$P_p = P_1 \sin^2(\pi BLU^2/D^2 + \Phi_0/2)$$



Meritve so v mV in na večjem intervalu, saj se v prvotno izmerjenem območju zaradi majhnih razlik v tokovih ni dalo razbrati primerne oblike krivulje

Kerrova konstanta, dobljena iz prilagoditvenega parametra:

$$B = 1.39 * 10^{-9}$$