

34. МЕЂУНАРОДНА ОЛИМПИЈАДА ИЗ ФИЗИКЕ

ТАЈПЕХ, ТАЈВАН

Експериментални задаци

Среда, 6. август, 2003. године

Расположиво време: 5 сати

Прочитајте прво следеће:

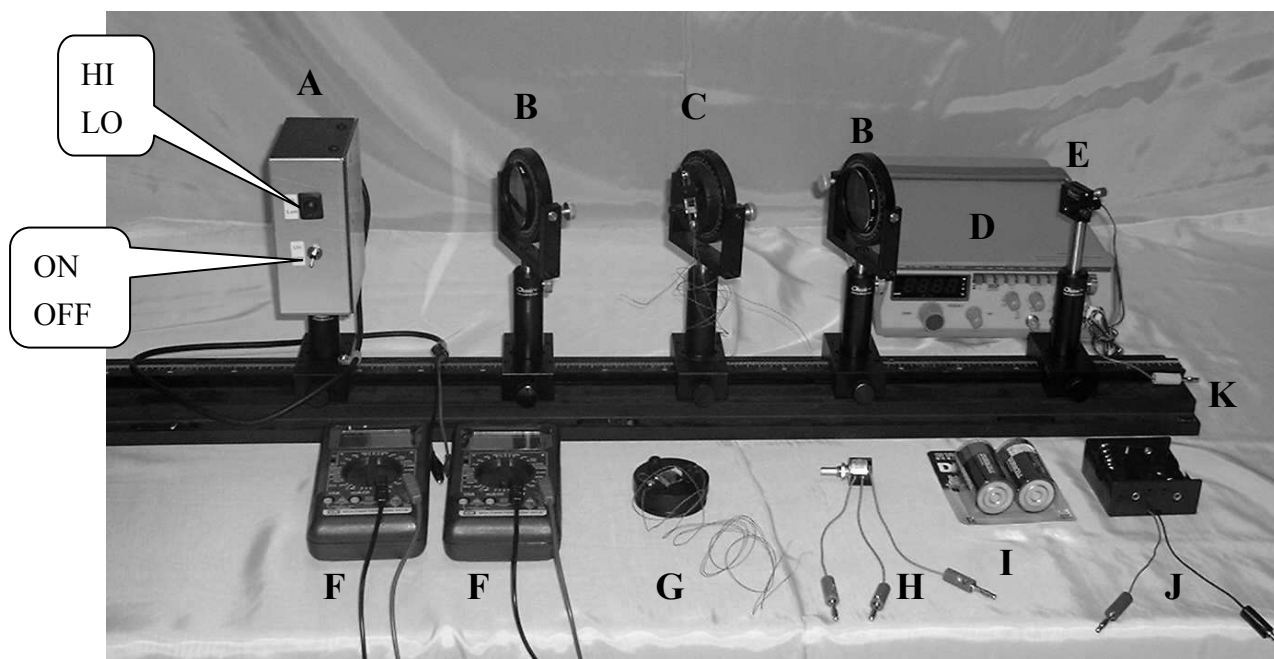
1. Користите само оловку коју сте добили.
2. Пишите само на предњој страни папира који сте добили.
3. У вашим одговорима користите што је могуће мање текста; изражавајте се првенствено једначинама, бројевима и сликама. Уколико је тражени резултат нумеричка вредност, подвуците ваш резултат таласастом линијом.
4. Ваше резултате и све остало што желите да вам се оцењује, запишите на папирима за рад.
5. Изузетно је важно да у табелу на врху стране за рад упишете своју земљу (*Country*) и свој број (*Student No.*). Такође, упишите број задатка (*Question No.*; нпр. *A-(1)*), растући број стране [*Page No.*; нпр. *1, 2, 3, ..., 10*] и укупан број употребљених страна које желите да вам буду оцењени (*Total No. of pages*; нпр. *10*). Ако користите папире за забелешке, које не желите да вам се оцењују, прецртајте те странице великим X преко целе стране и те папире немојте нумерисати.
6. Када завршите, сложите све папире у *одговарајућем редоследу* (за свако питање ставите најпре папире за рад, потом листове за успутан рад, па листове које не желите да вам се оцењују, затим неискоришћене листове и на крају текстове задатака). Ставите папире које сте *сложили* у коверту и оставите на вашем столу. Није дозвољено изношење било каквих листова из просторије.
7. *Грешке* на графицима треба *уцртати само у делу А задатка*.
8. **Пажња: Не гледајте директно у ласерски сноп. Можете оштетити вид!**

Апаратура и додатни материјал

1. Расположена апаратура и додатни материјал дати су у следећој табели:

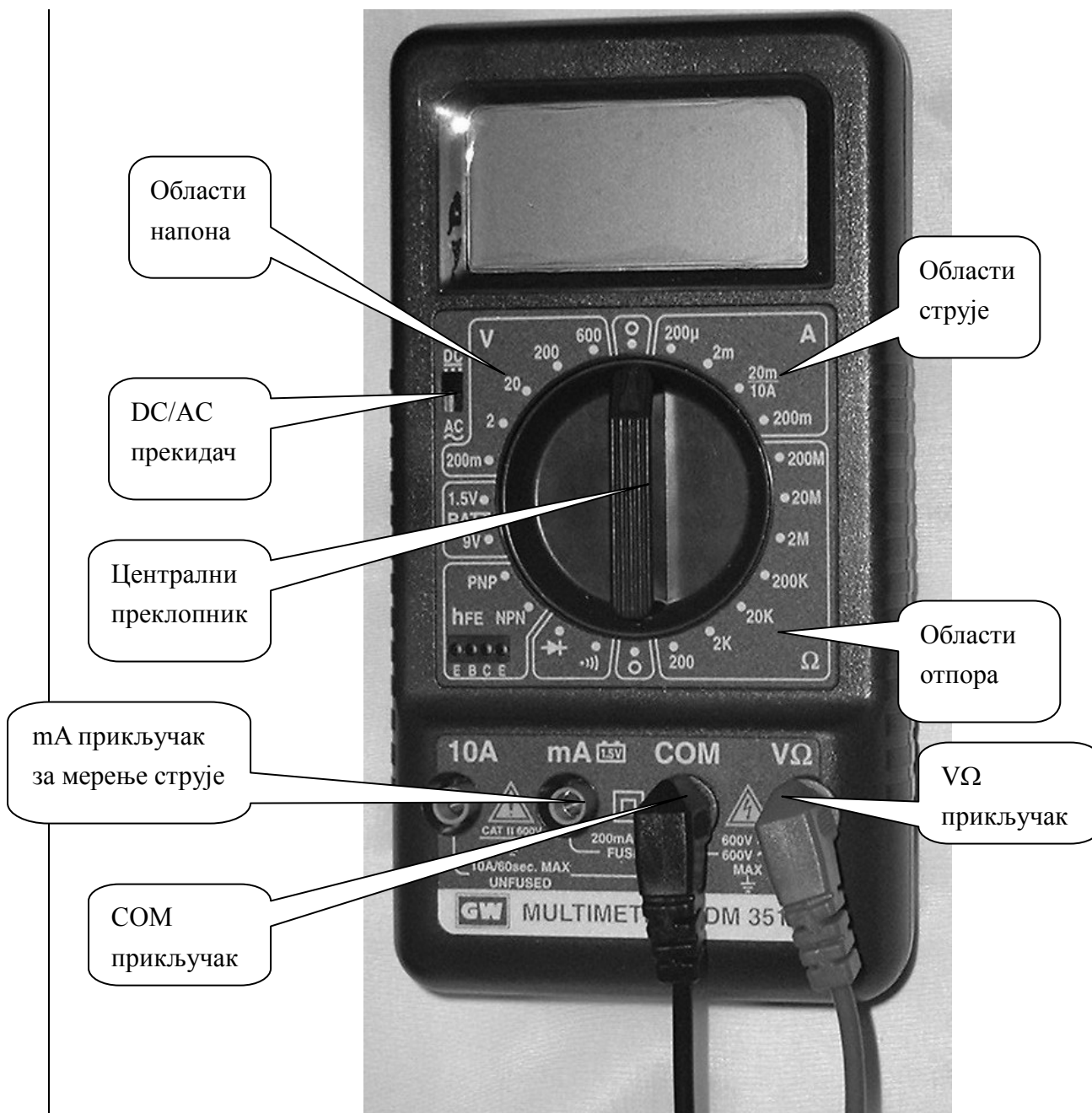
	Апаратура и додатни материјал	Комада		Апаратура и додатни материјал	Комада
A	Фотодетектор (ФД)	1	I	Батерије	2
B	Поларизатор/анализатор са ротирајућим постољем	2	J	Кутија за батерије	1
C	90° TN-LC ћелија (са жутиим жицама) са ротирајућим LC постољем	1	K	Оптичка клупа	1
D	Генератор функција	1	L	Делимично провидан папир	2
E	Ласерска диода (ЛД)	1	M	Лењир	1
F	Мултиметри	2	N	Бела трака* (за означавање апаратуре)	1
G	Паралелно поравната LC- ћелија (са наранџастим жицама)	1	O	Маказе	1
H	Променљиви отпорник	1	P	Милиметарска хартија	10

* Немојте ништа директно да обележавате на апаратури. Када је потребно да нешто означите, залепите на део апаратуре комад беле траке и онда пишете по њему.



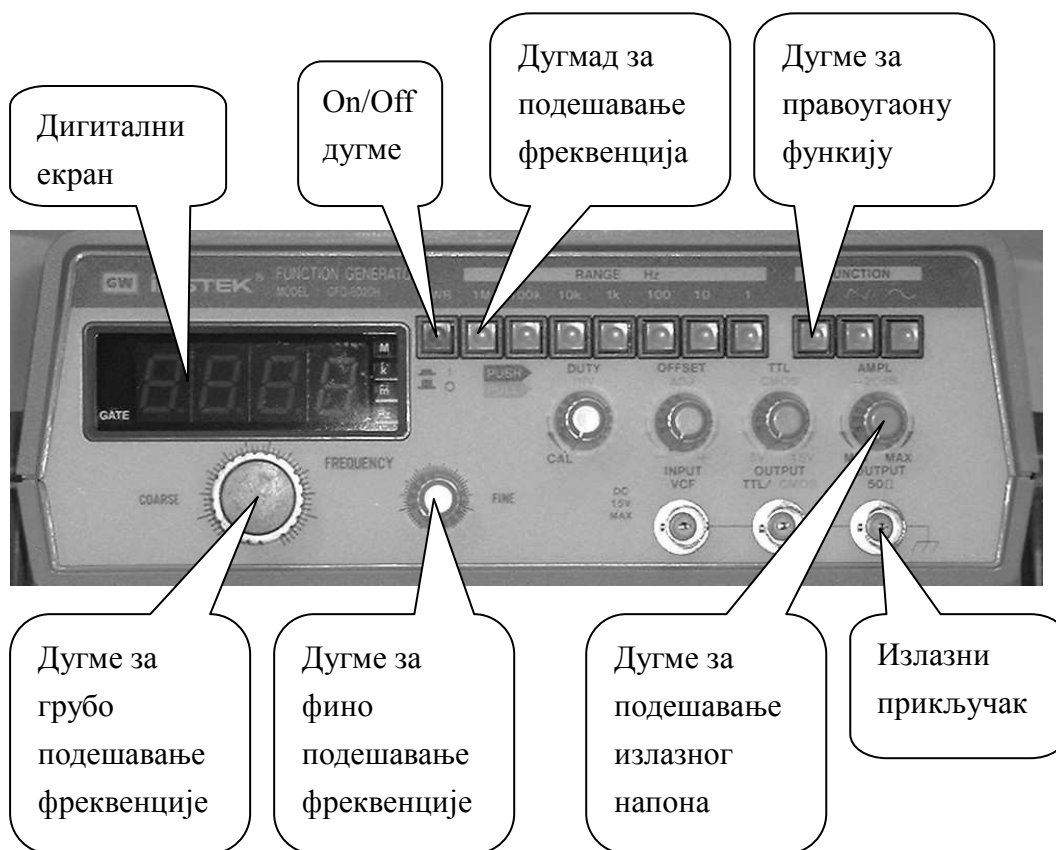
2. Упутство за употребу мултиметра:

- “DC/AC” прекидач служи за избор једносмерног (DC) или наизменичног (AC) мерења.
- Користите “V Ω ” и “COM” прикључке за мерење напона и отпора.
- Користите “mA” и “COM” прикључке за мерење малих струја. На екрану се тада читава струја у милиамперима.
- Користите централни преклопник за избор величине коју мерите и опсега мерења. “V” означава мерење напона, “A” одговара мерењу струје, а “ Ω ” мерењу отпора.



3. Упутство за употребу генератора функција:

- Притиском на On/Off дугме уређај се укључује, односно искључује.
- Одаберите област фреквенција помоћу одговарајућег дугмета.
- Фреквенција ће бити приказана на дигиталном екрану.
- Користе дугмад за грубо и фино подешавање фреквенције да бисте добили жељену фреквенцију.
- Одаберите генерисање правоугаоне функције притиском на прво дугме са леве стране у групи FUNCTION.
- Користите дугме за промену амплитуде да бисте променили излазни напон.



Део А

Оптичке особине ласерске диоде

I Увод

1. Ласерска диода

Извор светлости у овом експерименту је ласерска диода таласне дужине 650 nm. Када је струја ласерске диоде (ЛД) већа од струје прага, ласерска диода може да емитује монохроматску, делимично поларизовану и кохерентну светлост. Уколико је струја у ласерској диоди мања од струје прага, интензитет емитоване светлости је врло мален. Изнад струје прага, интензитет светлости брзо расте са струјом и веза између интензитета светлости и струје је линеарна. Ако струја даље расте, коефицијент пропорционалности између интензитета светлости и струје се смањује, пошто долази до загревања диоде. Због тога је оптимална област струја за ласерску диоду у линеарној области, где је интензитет светлости сразмеран са струјом. У принципу, струја прага I_{th} се дефинише као тачка пресека екстраполиране (продужене) линије из линеарне области и струјне осе.

Упозорење: Никад директно не гледајте у ласерски сноп. Можете постати слепци!!!

2. Фотодетектор

Фотодетектор који се користи у овом експерименту састоји се од фотодиоде и струјног појачавача. Када се улазни напон доведе на фотодиоду, упадна светлост генерише фотострују. У условима константне температуре и монохроматске упадне светлости, фотоструја је сразмерна са интензитетом светлости. С друге стране, струјни појачавач се користи за преношење фотострује на излазни напон. Постоје два режима у нашем фотодетектору – велико и мало појачање. У овом експерименту користићемо само мало појачање (*ознака LO на преклопнику на фотодетектору*). Међутим, због ограничења саме диоде, излазни напон иде у засићење (сатурацију) на око 8 V ако је интензитет светлости довољно велик и фотодиода више не функционише исправно. Према томе, погодна област рада фотодетектора је у оном опсегу у којем је излазни напон пропорционалан са интензитетом светлости. Ако је интензитет светлости исувише велик, фотодиода долази у засићење (сатурацију) и читавање на фотодетектору *не може* више да се користи за одређивање интензитета упадне светлости.

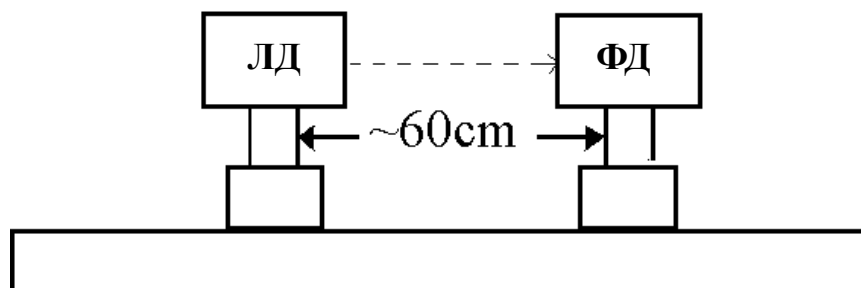
II Експерименти и упутства

Карактеристике фотодиоде и фотодетектор

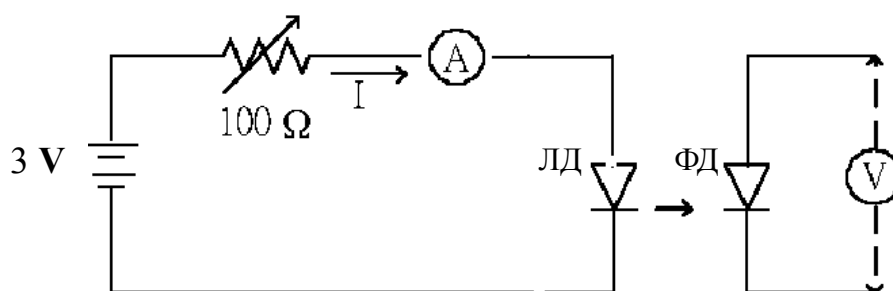
Да бисте били сигурни да ће експеримент исправно функционисати, морате исправно да поравнате светлосне зраке између различитих делова експерименталног уређаја. Дакле, извор светлости и детектор треба да буду постављени у истој линији. Део А је посвећен управо овим питањима, као и одређивању степена поларизације.

1. Поставите ласерску диоду и фотодетектор у хоризонталну линију на оптичкој клупи, као што је приказано на слици А1. Спојите променљиви отпорник, скуп батерија, амперметар, волтметар, ласерску диоду и фотодетектор као на слици А2. Подесите променљиви отпорник тако да струја која пролази кроз ЛД буде око 25 mA. Ласерска диода емитује одговарајућу ласерску светлост. Изаберите ниско појачање на фотодетектору (LO). Поравнајте ласерску диоду и фотодетектор тако да ласерска светлост улази у малу рупу на детектору. Очитајте вредност напона на фотодетектору када она достигне максималну вредност.

Упозорење: Не дозволите да црни и црвени крај батерије дођу у контакт да бисте избегли кратак спој.



Слика А1: Оптичко подешавање (ЛД: ласерска диода; ФД: фотодетектор)



Слика А2: Еквивалентно коло повезивања ласерске диоде

2. Употребите излазни напон на фотодетектору да бисте приказали интензитет ласерске светлости J . Подесите променљиви отпорник тако да I струја на ласерској диоди варира од нуле до максималне вредности и измерите како J расте у функцији од I . Водите рачуна да у мерењу користите одговарајуће струјно појачање.

Задатак А-(1) (1.5 бод)

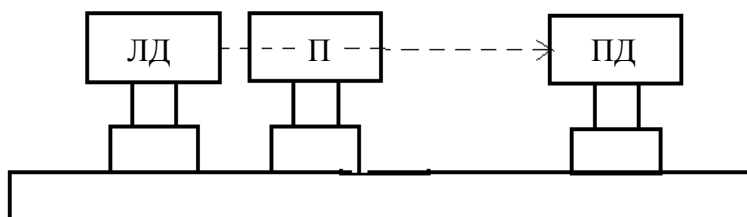
Измерите, упишите у табелу и нацртајте криву J у функцији од I .

Задатак А-(2) (3.5 бода)

Процените максималну струју I_m и њену грешку у линеарној области криве $J(I)$. Користећи стрелице (\downarrow) означите линеарну област на овом графику и одредите струју прага I_{th} као и њену грешку.

3. Изаберите да струја на ласерској диоди буде $I_{th} + 2(I_m - I_{th})/3$ да бисте били сигурни да се фотодетектор налази у линеарној области.
4. **Припрема за експеримент у делу Б:** Поставите поларизатор на оптичку клупу у близини ласерске диоде, као што је приказано на слици А3. Ласерски сноп *мора* да пролази кроз средишњи део поларизатора. Поставите поларизатор тако да упадни ласерски сноп буде нормалан на раван поларизатора.

Мала помоћ: Можете поставити парче делимично провидног папира као пробни екран да бисте проверили да ли се упадни и рефлектовани светлосни зраци подударају.



Слика А3: Поравнање поларизатора (П: поларизатор)

5. Не мењајући струју кроз ласерску диоду, поставите и други поларизатор на оптичку клупу на исправан начин (подесите да су извор, детектор и поларизатори у истој равни и да су равни оба поларизатора нормалне на светлосни сноп).

Део Б

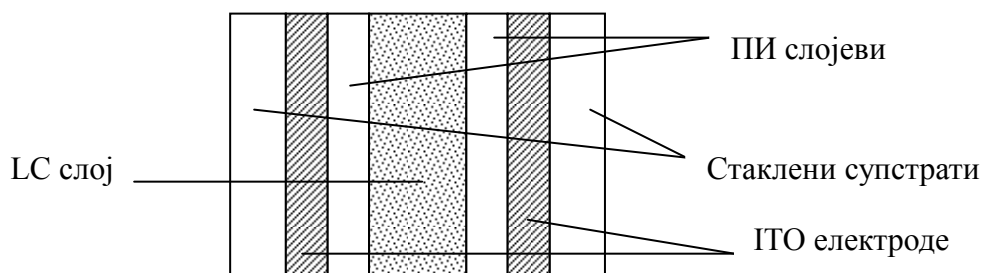
Оптичке особине нематичких течних кристала: Електро-оптичка прекидачка карактеристика 90° TN-LC ћелије

I Увод

1. Течни кристали

Течни кристали (LC) налазе се у стању које је између чврстог кристала и аморфне течности. Нематички LC су органски материјали који се састоје од дугачких молекула облика игле. Применом спољашњег електричног поља сви молекули могу лако да се оријентишу у истом смеру и тај смер може да се контролише након тога променом примењеног електричног поља. Хомогеност и добра дефинисаност оријентације LC молекула је неопходна у већини уређаја који користе LC. Структура LC ћелије која се користи у овом експерименту приказана је на слици Б1. Утрљавање полиимидног (ПИ) слоја даје добру оријентацију LC молекулима на површини плочице LC, а помоћу молекуларних интеракција цела LC плочица поприма хомогену оријентацију молекула. Локална оријентација LC молекула у некој тачки назива се LC-правац у тој тачки.

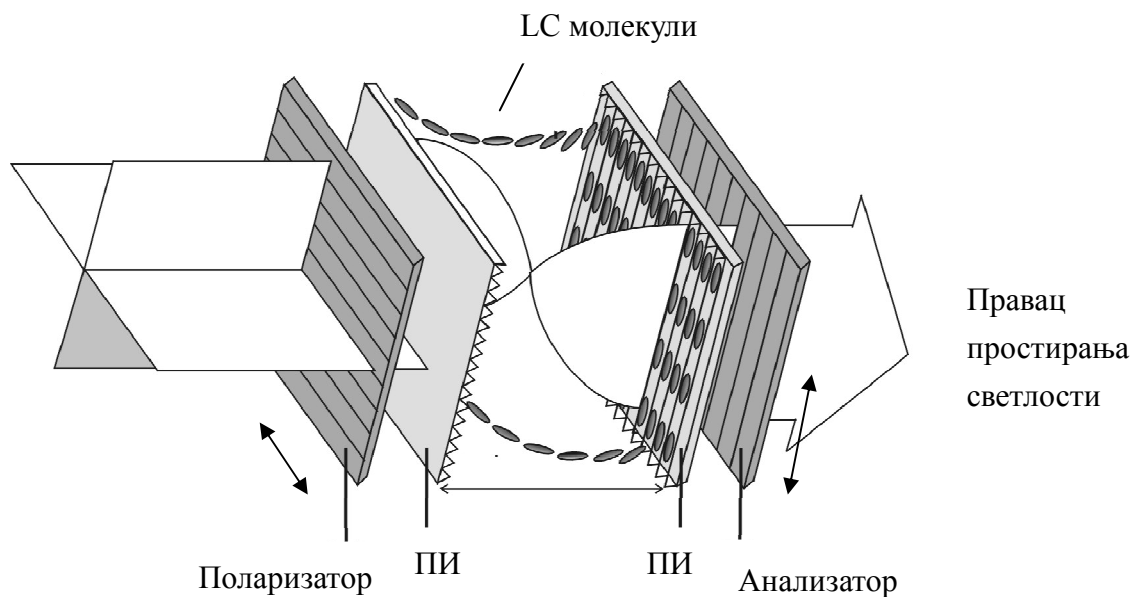
LC-ћелија има особину двојног преламања светлости, са два главна индекса преламања. Када се правац простирања светлости поклапа са LC-правцем, све поларизационе компоненте светлости имају брзину интензитета $v_0 = c/n_0$, где је n_0 обичан индекс преламања. Овај правац простирања светлости (LC-правац) зове се оптичка оса LC-ћелије. Када се светлост простире у правцу нормалном на LC-правац, односно нормалном на оптичку осу, у општем случају постоје две брзине којом светлост може да се креће: уколико је светлост поларизована нормално на оптичку осу, брзина простирања има интензитет $v_0 = c/n_0$, а ако је светлост поларизована паралелно оптичкој оси, брзина простирања има интензитет $v_e = c/n_e$, где се n_e зове посебни индекс преламања. Оптичка анизотропија Δn дефинише се као разлика посебног и обичног индекса преламања $\Delta n \equiv n_e - n_0$.



Слика Б1: Структура LC-ћелије

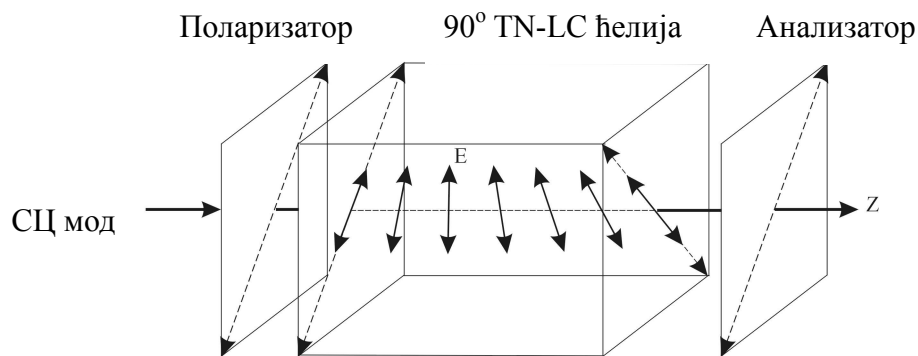
2. 90° укрштена нематичка LC-ћелија

У 90° укрштеној нематичкој ћелији (90° TN-LC ћелији) приказаној на слици Б2, LC-правац задње површине ћелије (уз анализатор) је заротиран за 90° у односу на предњу површину (уз поларизатор). LC-правац предње површине ћелије (уз поларизатор) паралелан је трансмисионој оси поларизатора (поларизатор пропушта светлост која осцилује по овој оси). Упадна неполаризована светлост се поларизује помоћу поларизатора уз предњу површину ћелије.



Слика Б2: 90° TN-LC ћелија

Када линеарно поларизована светлост пролази кроз 90° TN-LC ћелију, њена поларизација прати увртање локалних LC-праваца (поларизована светлост види само индекс преламања n_e , пошто је поларизована паралелно са оптичком осом), тако да излазни зрак светлости остаје линеарно поларизован, сем што је оса поларизације заротирана за 90° (то се зове поларизациони ротациони ефекат, а изазван је постојањем n_e ; слично, постоји и поларизациони ротациони ефекат изазван постојањем n_o). Према томе, да бисмо добили стандардно црни (СЦ) излазни мод користећи 90° TN-LC ћелију, трансмисиону осу анализатора треба поставити тако да буде паралелна са трансмисионом осом поларизатора (слика Б3). Међутим, када електрични напон V примењен дуж LC-ћелије постане већи од критичне вредности V_c , LC-правци молекула теже да се поравнају у правцу спољашњег ротације осе поларизације од стране LC-ћелије се постепено губи и светлост почиње да се појављује на излазу (анализатору). Електро-оптичка прекидачка карактеристика ћелије γ је дефинисана са $(V_{90}-V_{10})/V_{10}$, где су V_{10} and V_{90} примењени напони при којима излазни сигнал достиже редом 10% и 90% од максималне вредности интензитета светлости.



Слика Б3: СЦ излазни мод 90° TN-LC ћелије

II Експерименти и упутства

Подесите СЦ излазни мод помоћу дате 90° TN-LC ћелије између поларизатора и анализатора чије сте трансмисионе осе поставили тако да буду паралелне, а затим примените правоугаони сигнал фреквенције 100 Hz (користећи генератор функција) на ИТО електроде (слика Б1), мењајући примењени наизменични напон (V_{eff}) од 0 до 7.2 V.

У близини значајних тачака у којима се мења извод функције или долази до неке нагле промене, мерите са мањим кораком напона.

Задатак В-(1) (5.0 бодова)

Измерите, упишите у табелу и нацртајте електро-оптичку прекидачку криву (излазни интензитет светлости J изражен као напон на излазу фотодетектора у функцији од V_{eff}) за СЦ излазни мод 90° TN-LC ћелије. Нађите прекидачку карактеристику ове криве γ , где је γ дефинисано са $\gamma = (V_{90} - V_{10})/V_{10}$.

Задатак В-(2) (2.5 бода)

Одредите критичну вредност ефективног напона V_c за СЦ излазни мод дате 90° TN-LC ћелије. Покажите на додатном графику како сте одредили вредност напона V_c .

Мала помоћ: Када спољашњи напон достигне критичну вредност, интензитет светлости расте врло брзо и нагло.

Део Ц

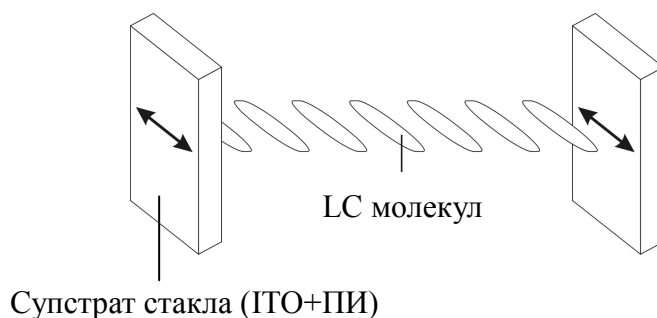
Оптичке особине нематичких течних кристала:

Електро-оптичка прекидачка карактеристика паралелно поравнате LC-ћелије

I Увод

Хомогена паралелно поравната LC-ћелија

За паралелно поравнату LC-ћелију сви LC-правци у близини предњег и задњег супстрата су међусобно паралелни, као што је и приказано на слици Ц1. Када линеарно поларизована светлост падне на паралелно поравнату LC-ћелију, при чему је правац поларизације светлости паралелан са LC-правцем, добија се чиста фазна модулација светлости, пошто се светлост тада понаша као посебан зрак (са индексом преламања n_e).



Слика Ц1: Хомогена паралелно поравната LC-ћелија

Са друге стране, ако линеарно поларизована светлост упадне нормално на паралелно поравнату LC-ћелију, али са осом поларизације под углом од $\theta = 45^\circ$ у односу на LC-правац (слика Ц2), тада се јавља фазна ретардација због тога што су брзине простирања обичног и посебног зрака различите у LC средини. У оваквој конфигурацији ($\theta = 45^\circ$), када су два поларизатора паралелна, нормализована компонента коефицијента пропуштене светлости кроз паралелно поравнату LC-ћелију дата је са

$$T_{\parallel} = \cos^2 \frac{\delta}{2}.$$

Фазна ретрдација δ може да се изрази као

$$\delta = 2\pi d \Delta n(V, \lambda) / \lambda,$$

где је d дебљина LC-слоја, λ је таласна дужина коришћене светлости у ваздуху, V је ефективна вредност коришћеног наизменичног напона, а Δn , функција од λ и V , је раније дефинисана оптичка анизотропија (види део Б). Приметите да за $V = 0$ оптичка анизотропија $\Delta n = n_e - n_o$ има максималну вредност, као и δ . Такође, када се V повећава, Δn се смањује.

У општем случају, важи

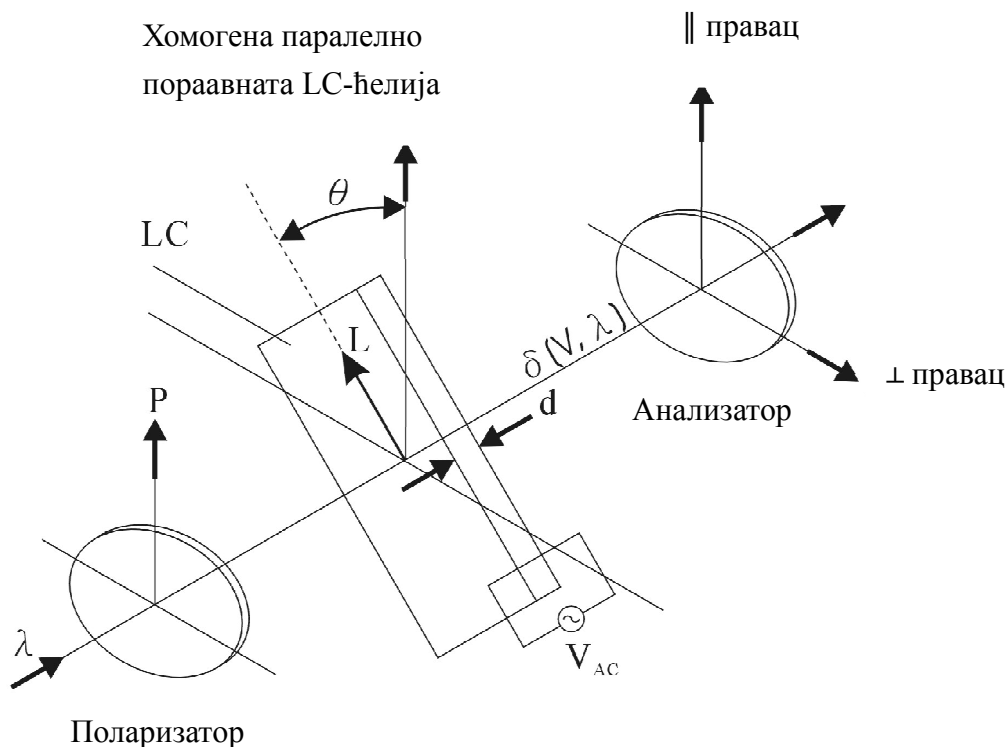
$$T_{\parallel} = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

$$T_{\perp} = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

где симболи \parallel и \perp означавају редом да је трансмисиона оса анализатора паралелна, односно нормална на трансмисиону осу поларизатора.

II Експерименти и упутства

1. Замените СЦ 90° TN-LC ћелију из дела Б на оптичкој клупи са паралелно поравнатом LC-ћелијом.
2. Поставите конфигурацију са $\theta = 45^\circ$ (описану у уводу) при $V = 0$, као што је приказано на слици Ц3, према следећем упутству: поставите трансмисиону осу анализатора тако да је нормална на трансмисиону осу поларизатора, а након тога ротирајте паралелно поравнату LC-ћелију све док интензитет пропуштене светлости не достигне максималну вредност (T_{\perp}). На овај начин је постављена $\theta = 45^\circ$ конфигурација. Одредите вредност T_{\perp} , а затим измерите интензитет пропуштене светлости (T_{\parallel}) исте LC-ћелије након што трансмисиону осу анализатора поставите паралелно са трансмисионом осом поларизатора (такође при напону $V = 0$).



Слика Ц3: Дијаграм апаратуре (стрелица L је правац поравнања ћелије)

Задатак С-(1) (2.5 бода)

Претпоставите да је таласна дужина ласерске светлости 650 nm, да је дебљина LC слоја једнака 7.7 μm , и да је приближна вредност оптичке анизотропије $\Delta n \approx 0.25$. Из експерименталних података за T_{\perp} и T_{\parallel} добијених у претходној тачки, израчунајте тачну вредност фазне ретардације δ и тачну вредност оптичке анизотропије Δn за дату LC-ћелију при $V = 0$.

Слично претходном задатку, у $\theta = 45^\circ$ конфигурацији примените правоугаони напонски сигнал од 100 Hz користећи генератор функција на ИТО електроде, мењајте ефективну вредност наизменичног напона (V_{eff}) од 0 до 7 V и измерите електро-оптичку прекидачку криву (T_{\parallel}) након што поставите трансмисиону осу анализатора тако да је паралелна са трансмисионом осом поларизатора. (Мала помоћ: Мерење прекидачке криве T_{\perp} помаже у повећању тачности података за тражено мерење криве T_{\parallel} ; подаци из мерења криве T_{\perp} нису потребни за следеће задатке.)

**У близини значајних тачака у којима се мења извод функције или долази до неке нагле промене (посебно у опсегу од 0.5 до 4.0 V), мерите са мањим кораком напона.*

Задатак С-(2) (3.0 бода)

Измерите, упишите у табелу и нацртајте електро-оптичку прекидачку криву за T_{\parallel} дате паралелно поравнате LC-ћелије у $\theta = 45^\circ$ конфигурацији.

Задатак С-(3) (2.0 бода)

Из електро-оптичких података из претходног задатка одредите вредност спољашњег напона V_{π} .

Мала помоћ: V_{π} је примењени напон који обезбеђује да је фазна ретардација LC-ћелије једнака π (or 180°).

Присетите се да је Δn функција примењеног напона и да се са повећањем напона V вредност Δn смањује.

Интерполација је вероватно потребна да бисте одредили тачну вредност V_{π} .