

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК 2 ДВОЈНО ПРЕЛАМАЈУЋА СВОЈСТВА ЛИСКУНА

У овом експерименту се офређују двојнопреламајућа својства лискуна (материјал који се користи у оптичким компонентама).

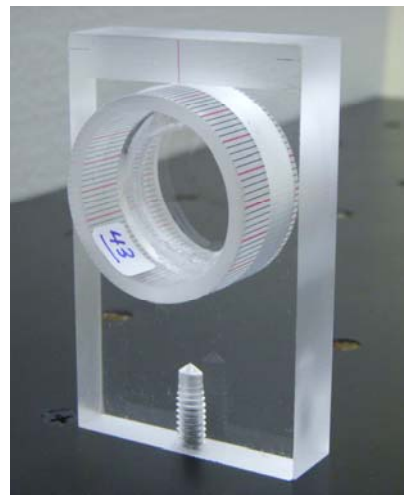
### ПРИБОР

Поред делова 1), 2) и 3) треба да користите и:

- 14) Два поларизатора постављена у оквир који може да клиза кроз процеп држача од плексигласа (ОЗНАКА Ј). Погледај фотографију.
- 15) Танак комад лискуна причвршћен у пластичном цилиндру. Овај цилиндар на себи има угловну поделу без бројева (ОЗНАКА К). Погледај фотографију
- 16) Део за детекцију светлости. Фотодетектор у пластичној кутији, каблови за повезивање и постоље од сунђерастог материјала. Мултимер за мерење напона на фотодетектору (ОЗНАКА L). Погледај фотографију.
- 17) Калкулатор.
- 18) Бели картони, бела самолепива трака, бели самолепиви папир, маказе, сет троуглова.
- 19) Оловке, папир, милиметарски папир.



Поларизатор у свом оквиру који стоји у процепу држача од плексигласа (ОЗНАКА Ј).



Цилиндар са угловном поделом без бројева, у којем се налази танак комад лискуна, постављен у држач од плексигласа (ОЗНАКА К).

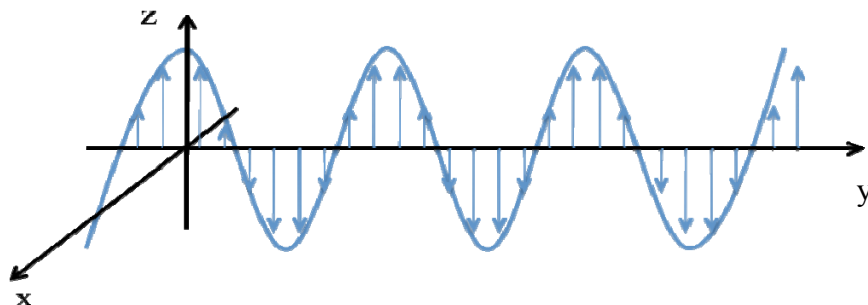


Пластична кутија у којој се налази фотодетектор, каблови за повезивање и постоље од сунђерастог материјала. Мултимер за мерење напона на фотодетектору (ОЗНАКА L). Повежи као што је приказано.

## ОПИС ФЕНОМЕНА

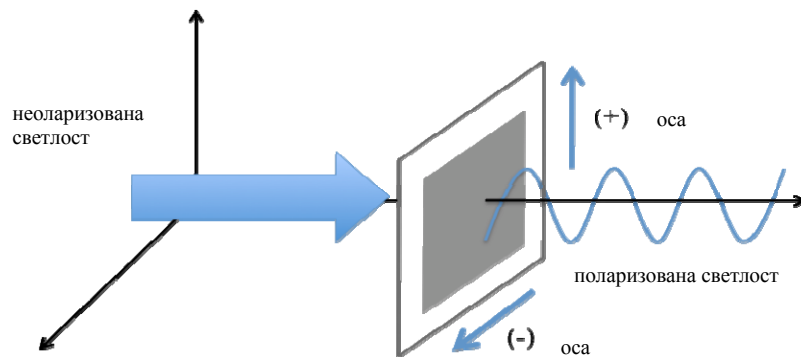
Светлост је попречни електромагнетни талас. Вектор електричног поља овог таласа осцилује у равни која је нормална на правац простирања таласа.

Ако се правац осциловања вектора електричног поља не мења у времену каже се да је талас линеарно поларизован. Погледај слику 2.1.



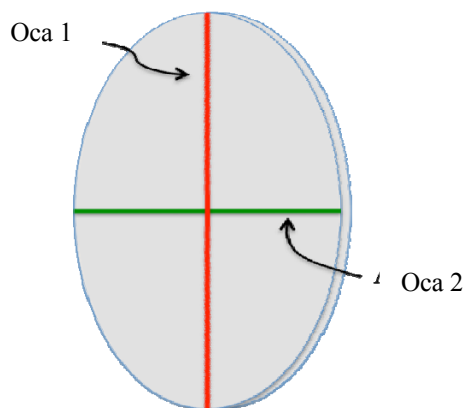
Слика 2.1 Талас који се простира дуж  $y$  правца и који је поларизован дуж  $z$  правца.

Поларизујући филм (или просто поларизатор) је материјал који је анизотропан, односно има карактеристичну осу паралелну својој површини. Светлосни талс који прође кроз поларизатор ће бити поларизован дуж ове осе. Означимо ову осу са (+), а осу нормалну на ову са (-).



**Слика 2.2** Неполаризована светлост пада нормално на поларизатор. Пропуштена светлост је поларизована дуж (+) осе поларизатора.

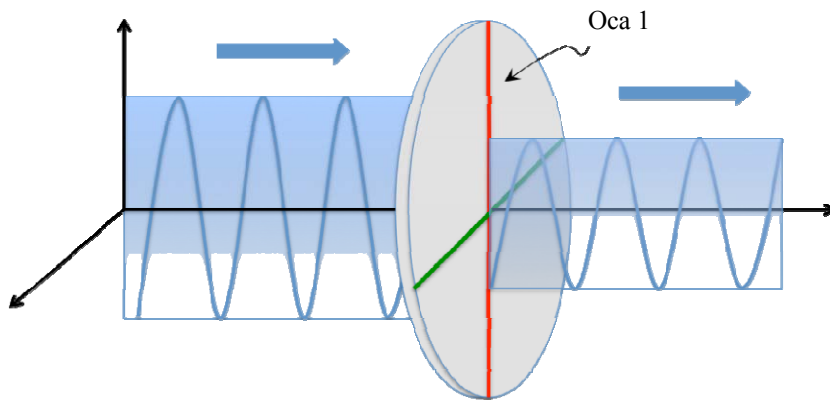
Обични провидни материјали (као што је прозорско стакло) пропуштају светлост тако да је поларизација пропуштеног таласа иста као и поларизација упадног. Ово се дешава зато што код таквих материјала не постоји анизотропија, односно немају никакву карактеристичну осу. Многи кристали, укључујући лискун, ипак имају карактеристичне осе тако да ће светлост која пролази кроз њих променити стање поларизације у односу на почетно. За талас који се простире нормално на његову површину, лискун има две карактеристичне осе, које ћемо назвати Оса 1 и Оса 2. Ово доводи до појаве феномена који се зове двојно преламање.



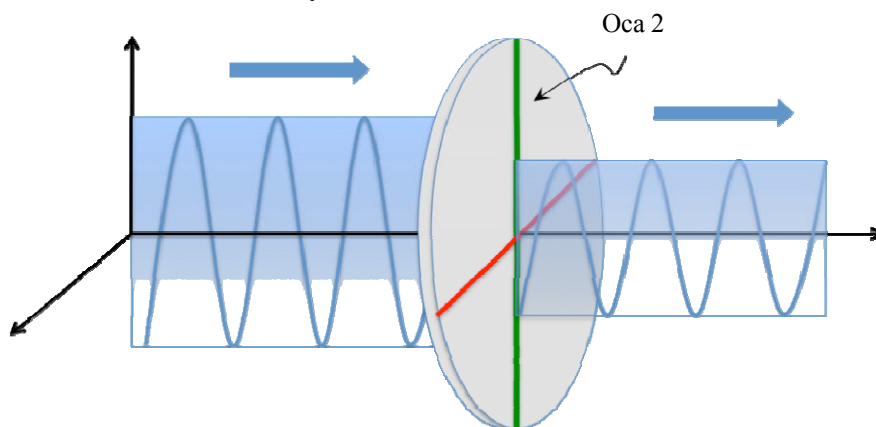
**Слика 2.3** Танак лист лискуна са своје две узајамно нормалне осе, карактеристичне осе; Оса 1 (црвена) и Оса 2 (зелена).

Анализирајмо сада два једноставна случаја како би смо илустровали двојно преламање. Претпоставимо да је талас **поларизован у вертикалном правцу** пада нормално на површину танке плочице од лискуна.

**Случај 1)** Оса 1 или Оса 2 је паралелна са правцем поларизације упадног таласа. Пропуштени талас пролази без промене своје поларизације. Али, простирање кроз сам лискун зависи од индекса преламања који може бити  $n_1$  или  $n_2$  у зависности од међусобног односа оса материјала и правца поларизације. Видети слике 2.4 и 2.5.

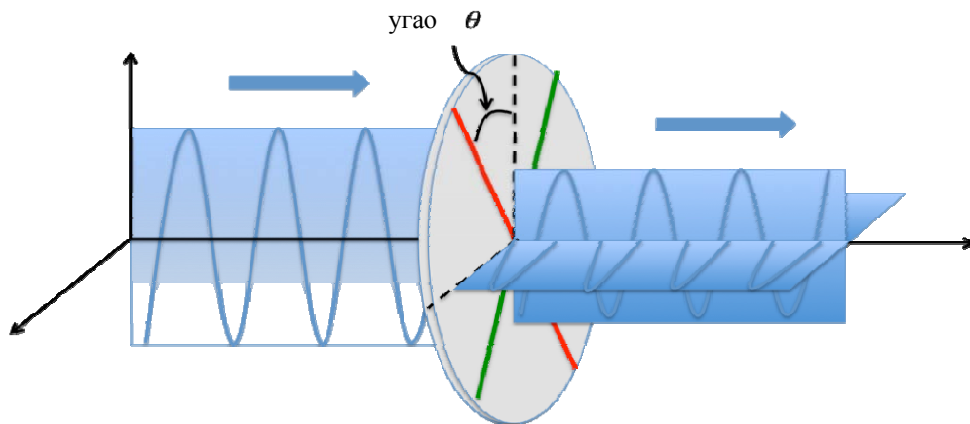


**Слика 2.4** Оса 1 је паралелна са правцем поларизације упадног светлосног таласа. Индекс преламања је  $n_1$ .



**Слика 2.5** Оса 2 је паралелна са правцем поларизације упадног светлосног таласа. Индекс преламања је  $n_2$ .

**Случај 2)** Оса 1 заклапа угао  $\theta$  са правцем поларизације упадног светлосног таласа. Пропуштена светлост сада има много компликованије стање поларизације од линеарне поларизације. Овакав талас, се може представити као суперпозиција два таласа различитих фаза. Једног који има правац поларизације паралелан са правцем поларизације упадног таласа (тј. „вертикалан“), и другог који има правац поларизације нормалан на правац поларизације упадног таласа (тј. „хоризонталан“).



Слика 2.6 Оса 1 заклапа угао  $\theta$  са правцем поларизације упадног таласа

Означимо са  $I_p$  интензитет пропуштеног таласа чији је правац поларизације паралелан правцу поларизације упадног таласа. Са  $I_o$  означимо интензитет пропуштеног таласа чија чији је правац поларизације нормалан на правац поларизације упадног таласа. Ови интензитети зависе од угла  $\theta$ , таласне дужине светлости  $\lambda$ , дебљине  $L$  танке лискунске плоче и од апсолутне вредности разлике индекса преламања  $|n_1 - n_2|$ . Ова задња величина карактерише двојно преламање материјала. Циљ овог задатка је мерење ове величине. Заједно са поларизаторима двојнопреламајући материјали се користе за контролу стања поларизације светлости.

Напомињемо да фотодетектор мери интензитет светлости која пада на њега, независно од њене поларизације.

Зависност  $I_p(\theta)$  и  $I_o(\theta)$  од угла  $\theta$  је компликована услед постојања ефеката који се овде не разматрају, као што је апсорпција упадне светлости у лискуну. Међутим, ипак се може добити приближан, али веома једноставан израз за нормиране интензитете  $\bar{I}_p(\theta)$  и  $\bar{I}_o(\theta)$  дефинисане са,

$$\bar{I}_p(\theta) = \frac{I_p(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.1)$$

и

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{I_o(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.2)$$

Може се показати да су нормирани интензитети (приближно) дати са,

$$\bar{I}_p(\theta) = 1 - \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.3)$$

и

$$\bar{I}_O(\theta) = \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.4)$$

Где је  $\Delta\phi$  фазна разлика пропуштених таласа са паралелном и нормалном поларизацијом. Ова величина је дата са,

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda}|n_1 - n_2| \quad (2.5)$$

Где су  $L$  дебљина танке плоче од лискуна,  $\lambda$  таласна дужина упадне светлости и  $|n_1 - n_2|$  величина која карактерише двојно преламање.

## ПОСТАВКА ЕКСПЕРИМЕНТА

**Задатак 2.1 Поставка експеримента за мерење интензита.** Поставите експеримент за мерење интензитета  $I_P$  and  $I_O$  пропуштеног таласа, у функцији угла  $\theta$  као што је приказано на Слици 2.6. Угао  $\theta$  може да се мери у односу на било коју од две оптичке осе. *Поставку експеримента скицирајте уцртавајући ОЗНАКЕ различитих компоненти на датој скици оптичког стола у листу за одговоре.* Користите усвојене ознаке (+) и (-) за правце оса поларизатора. Можете направити и додатни једноставни цртеж како бисте појаснили вашу поставку експеримента.

Задатак 2.1 а) Поставка за мерење  $I_P$  **(0.5 поена).**

Задатак 2.1 б) Поставка за мерење  $I_O$  **(0.5 поена).**

**Подешавање ласерског снопа.** Подесите ласерски снап тако да је паралелан оптичком столу и да пролази кроз центар цилиндричног држача лискуна. Можете користити беле картоне како бисте пратили куда иде ласерски снап. Прецизно подешавање се може постићи помоћу подесивог огледала.

**Фотодетектор и мултимер:** Фотодетектор даје одређени напон када се осветли светлошћу. Овај напон можете мерити помоћу мултимера. Напон на фотодетектору је линеарно сразмеран интензитету светлости која пада на фотодетектор. На тај начин, одредите интензитета мерећи напоне на фотодетектору.

Када ласерски снап не пада на детектор мултимер ће ипак показивати неку вредност која би требало да је мања од 1 mV. Овај напон одговара интензитету околне светлости у просторији која ипак долази до детектора. Када будете мерили тражене интензитета немојте *вршити корекције* због околне светлости јер је њен интензитет на детектору сувише мали.

**УПОЗОРЕЊЕ:**

Ласерски снап на излазу из диодног ласера је делимично линеарно поларизован, али није познато у ком правцу. Да би се добила поларизована светлост што већег интензитета, поставите поларизатор са својом (+) или (-) осом вертикално на такав начин да добијете максималан интензитет пропуштене светлости, у одсуству лискуна и другог поларизатора.

## МЕРЕЊЕ ИНТЕНЗИТЕТА

**Задатак 2.2 Скала за подешавање угла.** Цилиндрични држач лискуна има уобичајену угаону поделу за подешавање угла. Наћи вредност најмањег подеока на скали, у степенима. **(0.25 поена).**

**Налажење нулте вредности угла  $\theta$  (приближно) односно положаја једне од оптичких оса лискуна.**

Како би се олакшала анализа, веома је важно да одредите нулти угао. Предлажемо, да прво одредите положај једне од оптичких оса и назовете је Оса 1. Скоро је сигурно да се овај положај не поклапа ни са једном од линија на угаоној скали цилиндра. Зато, узмите најближу линију са угаоне поделе за приближни нулти угао. Означите са  $\bar{\theta}$  све углове мерене у односу на овај нулти угао. Касније ће се од вас тражити на одредите много прецизније положај за нулту вредност угла  $\theta$ .

**Задатак 2.3 Мерење  $I_p$  и  $I_o$ .** Измерити интензитете  $I_p$  и  $I_o$  за онолико углова  $\bar{\theta}$  колико сматрате да је неопходно. Приказати резултате мерења у Табели I. Покушати, да када једном подесите жељени угао  $\bar{\theta}$  за тај угао извршите мерења и интензитета  $I_p$  и  $I_o$ . **(3.0 поена).**

**Задатак 2.4. Одређивање тачнијег положаја за нулту вредност угла  $\theta$ .** Положај Осе 1 дефинише нулту вредност угла  $\theta$ . Као што је поменуто раније, скоро је сигурно да се овај положај не поклапа ни са једном линијом на угаоној подели на цилиндру са лискуном. Да бисте тачно нашли положај који одговара нултом углу, можете да користите графички или нумерички поступак: Уочите да се зависност у близини максимума или минимума интензитета може апроксимирати параболом:

$$I(\bar{\theta}) \approx a\bar{\theta}^2 + b\bar{\theta} + c$$

при чему је минимум или максимум параболе дат са:

$$\bar{\theta}_m = -\frac{b}{2a}.$$

Оба горе наведена начина дају мали угао  $\delta\bar{\theta}$  који представља поправку за тачније одређивање положаја за нулту вредност угла  $\theta$ . Ову вредност треба додати на све измерене вредности  $\bar{\theta}$  приказане у Табели I у задатку 2.3. На овај начин се добијају праве вредности за углове  $\theta$ , односно  $\theta = \bar{\theta} + \delta\bar{\theta}$ . Напиши вредност помераја  $\delta\bar{\theta}$  у степенима (1.0 поен).

## ОБРАДА ПОДАТАКА

**Задатак 2.5 Избор одговарајућих променљивих.** Изаберите једначину за  $\bar{I}_p(\theta)$  или  $\bar{I}_o(\theta)$  како би одредили фазну разлику  $\Delta\phi$ . На основу изабране једначине написати променљиве и функционалну зависност помоћу којих ћете одредити фазну разлику. (0.5 поена).

**Задатак 2.6 Обрада података и фазна разлика**

- У Табелу II написати израчунате вредности променљивих изабраних у претходном задатку. Водити рачуна да сте у рачуну узели кориговане вредности за углове  $\theta$ . Израчунајте и прикажите одговарајуће грешке. На милиметарском папиру нацртајте одговарајући график. (1.0 поен).
- Одредити параметре функционалне зависности помоћу којих се израчунава фазна разлика  $\Delta\phi$ . Прикажите резултате са грешком. Напишите сваку једначину или формулу коју сте користили у овој анализи. (1.75 поена).
- Израчунати фазну разлику  $\Delta\phi$  у радијанима, са грешком. Наћи вредност фазне разлике у интервалу  $[0, \pi]$  (0.5 points).

**Задатак 2.7 Израчунавање разлике индекса преламања  $|n_1 - n_2|$ .** Уочите да ако се дода  $2N\pi$  на фазну разлику  $\Delta\phi$ , где је  $N$  цео број, или ако се промени знак фазе, вредности интензитета остају непромењене. Међутим, апсолутна вредност разлике индекса преламања  $|n_1 - n_2|$  се мења. Онда, да би се искористила вредност  $\Delta\phi$  одређена у задатку 2.6, за коректно израчунавање разлике индекса преламања мора се узети у обзир следеће:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{ако је} \quad L < 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

или

$$2\pi - \Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{ако је} \quad L > 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$



Где је  $L$  дебљина плочице од лискуна написана на унутрашњој страни цилиндричног држача. Ова вредност је дата у микрометрима (1 микрометар =  $10^{-6}$  m). Узети да је  $1 \times 10^{-6}$  m грешка за  $L$ . За таласну дужину ласерског зрачења можете узети вредност коју сте нашли у Експерименталном задатку 1 или средњу вредност између  $620 \times 10^{-9}$  m и  $750 \times 10^{-9}$  m. Написати вредности за  $L$  и  $\lambda$ , као и за  $|n_1 - n_2|$  са одговарајућим грешкама. Прикажите и формуле помоћу којих сте израчунали грешке. **(1.0 поена)**.