

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETO
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETO
FIZIKOS KATEDRA**

VALDAS BUSILAS

AKINIŲ LĘŠIŲ SU POLIARIZACINE DANGA TYRIMAS

**Bakalauro studijų programos “Optometrija”
BAKALAURO DARBAS**

Vadovas
dr. Žilvinas Norgėla

Šiauliai, 2011

TURINYS

ĮVADAS	3
1. LĘŠIŲ SU POLIARIZACINE DANGA PRITAIKYMAS	4
1.1 Akiniai nuo saulės padengti poliarizacine danga	4
1.2 Saulės akinių lęšių klasės	7
2. AKINIŲ LĘŠIŲ MEDŽIAGOS, BEI GAMYBA.....	10
2.1 Mineraliniai – stiklo lęšiai	10
2.2 Organiniai – plastikai lęšiai	12
2.2.1 Reaktoplastikai	12
2.2.2 Termoplastikai	13
2.3 Lęšių gamybos procesai.....	13
3. ŠVIESOS POLIARIZACIJA	14
3.1 Šviesos poliarizacijos rūšys	14
3.2 Šviesos poliarizacijos laipsnis	16
3.3 Lęšių su poliarizacine danga bandymo metodai	18
4. POLIARIZUOTOS ŠVIESOS GAVIMAS.....	20
4.1 Šviesos poliarizacija atspindint ir lūžtant skaidrių dielektrikų riboje	20
4.2 Dvejopas šviesos lūžimas	25
4.3 Dichroizmas.....	30
5. LĘŠIO SU POLIARIZACINE DANGA TYRIMAS.....	33
IŠVADOS.....	43
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	44

ANOTACIJA

Darbe tiriamas lęšis su poliarizacine danga, kuris sumažina atspindžius ir apsaugo akis nuo saulės ultravioletinių spindulių. Atlikta literatūros analizė, siekiant susipažinti su lęšiais padengtais poliarizacine danga, jų medžiagų savybėmis, gamyba.

Darbas sudarytas iš penkių dalių. Pirmoje darbo dalyje nagrinėjamas poliarizacinių lęšių pritaikymas aplinkoje, bei jų poveikis akims.

Sekančioje darbo dalyje apžvelgiamos lęšių medžiagų savybės jų gamyba ir medžiagomis naudojamomis gamyboje. Trečioje darbo dalyje aprašomas šviesos poliarizacijos reiškiny. Ketvirtoje darbo dalyje analizuojami poliarizuotos šviesos gavimo būdai. Penktoje dalyje aprašytas eksperimentas, kuriame tiriamas lęšio su poliarizacine danga, veikimas. Eksperimento metu ištirta atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo, kuri parodo lęšio su poliarizacine danga galimybę nuslopinti šviesos atspindžius nuo įvairių paviršių. Eksperimente panaudotas lęšis tik iš dalies nuslopina šviesos atspindžius, todėl galime teigti, kad tiriamasis lęšis ne visiškai poliarizuoja šviesą.

Darbo apimtis 43 psl.

ANNOTATION

In this work analyzed to polarized lens coating, which reduces reflections and protects the eyes from dangerous the sun ultraviolet radiation. There was done literary analysis, pursuing to familiarize lenses with polarized coating, their material properties, manufacturing.

The work consists of five parts. The first part deals with polarized lenses adaptation in the environment, and their effects on the eyes.

The next part of the work there is overviewed properties of lens materials and production. The third part there is described effect of light polarization. The fourth part there is analyzed the optical receiving. In the fifth part there is investigated experiment in which the polarized lens coating was influence of light rays. During the experiment, was investigated dip angle dependence of the reflectance, which there is indicated to polarized lens coating to inhibit light reflections. Lens was used in experiments only partially suppress light reflections therefore we can say that the investigation is not fully polarized lens.

Project extent 43 pg.

IVADAS

Šiuo metu esant pavojingiems saulės spinduliams, yra naudojami akiniai nuo saulės, taip pat korekciniai akiniai su lęšiais kurie padengti poliarizacine danga. Ši danga padeda nuslopinti atspindžius. Dažniausiai ji būna dengiama saulės akiniams, tačiau galima užsakyti ir korekcinius akinius su šia danga. Akiniai nuo saulės nešiojami tik tada, kai reikia apsisaugoti nuo ryškios saulės šviesos, atsižvelgiant į tai, kad akis nuo ultravioletinių spindulių ir atspindžių reikia saugoti visais metų laikais, vertėtų poliarizacinius akinius nešioti pastoviai saulei šviečiant, norint apsisaugoti nuo žalingų saulės spindulių bei atspindžių. Sumažinti atspindžiai nuo įvairių paviršių (vandens, stiklo, lakuoto paviršiaus) pagerina akies savijautą bei išryškina vaizdus. Natūralią dienos šviesa sudaro elektromagnetinės bangos, kurios yra skersinės, t.y. elektrinio lauko stiprumas E statmenas elektromagnetinės bangos sklidimo kryptčiai v . Kai šviesa atspindi nuo horizontalaus paviršiaus – kelio ar vandens – ji pasidaro poliarizuota horizontalioje plokštumoje. Horizontaliai poliarizuota šviesa sukuria atspindžius, kurie trukdo matymui ir dažnai sukuria pavojingas situacijas keliuose, todėl lęšis su poliarizuota danga yra statomas taip, kad pagrindinio pjūvio plokštuma būtų statmena atspindintiems paviršiams, taip įstatyti lęšiai į akinių rėmelius praleidžia tik vertikaliai poliarizuotą šviesą, sukurdami vaizdą be atspindžių ir natūraliu kontrastu. Slopindami horizontalius atspindžius, poliarizaciniai akiniai mus apsaugo nuo akinimo.

Šiame darbe aptarsime poliarizacijos reiškinius. Bandymo metu tirsime lęšį su poliarizacine danga. Iš gautų rezultatų aptarsime lęšio privalumą apsauganti akis nuo saulės ultravioletinių spindulių, taip pat atspindžių, kuriuos sukelia įvairūs atspindintys paviršiai.

Tyrimo tikslas: išsiaiškinti lęšių su poliarizacine danga, veikimo principus.

Darbo uždaviniai:

- išsiaiškinti šviesos poliarizacijos reiškinius,
- išsiaiškinti poliarizacinės dangos veikimo principą,
- ištirti lęšio su poliarizacine danga efektyvumą, matuojant šviesos atspindžio nuo įvairių paviršių, intensyvumą.

Tyrimo objektas: lęšis padengtas poliarizacine danga.

Tyrimo metodai: literatūros analizė, eksperimentas.

1. LĘŠIŲ PRITAIKYMAS SU POLIARIZACINE DANGA

1.1 Akiniai nuo saulės padengti poliarizacine danga

Kai saulės šviesa atsispindi nuo horizontalių paviršių tokių kaip: šlapias arba apledėjęs asfaltas, sniegas, vanduo, metalas, stiklas, pajūrio smėlis ji sukelia akinantį spindėjimą, kuris dažnai sukelia didelių problemų (skauda ir ašaroja akys, skauda galva, labai pablogėja matomumas, kuris yra gyvybiškai svarbus vairuojant automobilį). Vaizdai be akinių ir su POLAROID akiniais pateikiami 1.1 paveiksle.



Su poliarizuotais akinių lęšiais

Be poliarizuotų akinių lęšių

1.1 Vaizdai be akinių ir su poliarizuotais akiniais

Saulės šviesa daro aplinkai ne tik teigiamą poveikį, bet ir skleidžia pavojingus UV spindulius, kurie gali sukelti vėžį [1].

Paprasti akiniai nuo saulės (ir brangūs ir pigūs) paprasčiausiai pritemdo saulės šviesą ir atspindžius kartu pritemdydami ir visą vaizdą. POLAROID akiniai sugeria/blokuoja spindesius

(„optinį triukšmą”) ne tik neužtemdydami bendro vaizdo, bet dar ir paryškindami jį [1]. Vaizdas iš automobilio per įprastinius akinius ir pro poliarizuotus akinius nuo saulės pateikiami 1.2 paveiksle.



Įprasti akiniai nuo saulės



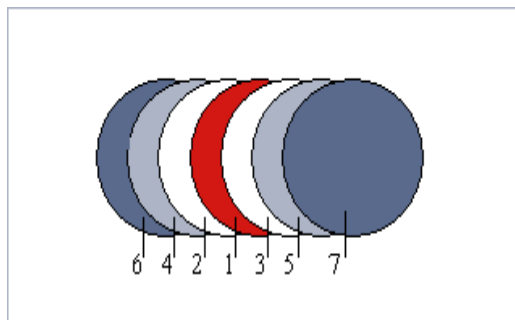
Poliarizuoti akiniai nuo saulės

1.2 pav. Vaizdas iš automobilio per įprastinius akinius ir pro poliarizuotus akinius nuo saulės

Polaroid akinuose nuo saulės naudojami UV spindulių apsaugos filtrai yra vieni efektyviausių iš dabar gaminamų rinkoje. Jie beveik 100 procentų apsaugo nuo UVA, UVB ir UVC spindulių. Ant daugelio šiuo metu parduodamų akinių galima rasti užrašą, kad jie apsaugo nuo ultravioletinių spindulių ir tai nėra netiesa, bet tik nedaugelio garsiausių firmų, tokių kaip Polaroid, akiniai turi patikimą apsaugą nuo visų rūšių ultravioletinių spindulių [2].

Daugelis akinių nuo saulės gamintojų tenkinasi įvairiais Tolimųjų Rytų produktais. Visi Polaroid akiniai nuo saulės atitinka Europos akinių nuo saulės standartą EN 1836 taip pat ir visus kitus oficialiai publikuotus Akinių nuo Saulės Standartus. Polaroid akiniai nuo saulės atitinka EEB Direktyvą 89/686 (asmens apsaugos priemonės) [3].

Akiniai nuo saulės su poliarizuotais lęšiais gaminami iš daugiasluoksnio laminato. Poliarizuoto lęšio konstrukcija pateikiama 1.3 paveiksle.



1.3 pav. Poliarizuoto lęšio konstrukcija, 1 – labai veiksmingas poliarizuojantis filtras; 2 + 3 – UV filtrai 100 proc. blokuojantys pavojingus UV spindulius iki 400 nm.; 4 + 5 – papildomi sluoksniai saugumui ir stabilumui užtikrinti; 6 + 7 – unikalūs sluoksniai prieš braižymąsi.

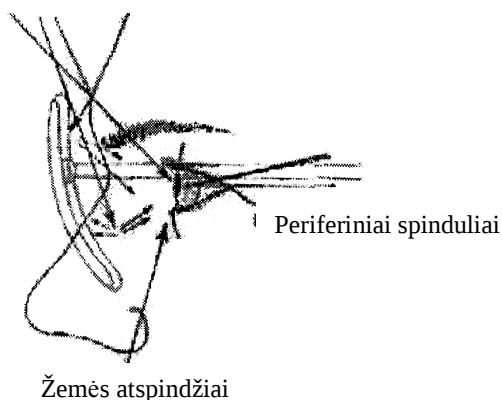
Pažymėtina tai, kad poliarizuojantis filtras gaminamas, ištempiant polivinilinę plėvelę, impregnuotą jodu. Taip molekulės išsidėsto pagal tempimo kryptį, po to ji suspaudžiama tarp dviejų lęšių – plastikinių ar mineralinių.

Poliarizuoti akiniai nuo saulės skirti:

- 1) vairuotojams, kad apakinti spindesių nei sekunde neprarastų situacijos kelyje kontrolės (susidarius ypač kritiškai situacijai vairuotojas be apsauginių akinių gali prarasti iki 80 proc. vaizdo kontrolės);
- 2) žvejams, kad geriau matytų plūdę ant raibuliuojančio vandens;
- 3) žiemos ir visų lauko sporto šakų mėgėjams;
- 4) alpinistams ir lakūnams;
- 5) vaikams, nes jie ilgai būna lauke, o jų akys ypač jautrios UV poveikiui ir netgi turi vadinamąjį UV spindulių sugėrimo „langą“.
- 6) praktiškai visiems kas daug laiko praleidžia lauke šviečiant saulei [4].

Tačiau jokie akiniai nuo saulės neteikia akims pilnutinės apsaugos nuo UV spinduliavimo, nes šviesa patenka ir pro akinių rėmelių šonus, pasiekdama rageną, lęšiuką ir junginę. Ypač tada kai akiniai nuo saulės yra netinkamai parinkti. Be to, spinduliai gali patekti į akis atsispindėję nuo vidinio lęšių paviršiaus. UV spindulių patekimas į akį nešiojant akinius pateikiamas 1.4 paveiksle.

Viršutiniai spinduliai



1.4 pav. UV spindulių patekimas į akį nešiojant akinius („overhead skylight“ (angl.) – spinduliai iš viršaus, „periferal rays“ (angl.) – periferiniai spinduliai, „ground reflections“ (angl.) – atspindžiai nuo žemės)

UV spindulių patekimo į akis tikimybė priklauso nuo rėmelių formos ir dydžio. Blogos formos rėmeliai leidžia UV spinduliams pasiekti akį iš viršaus, apačios ir iš šoninės periferijos.

Nedidelio modelio akiniai mažiau apsaugo nuo UV spindulių nei dideli ar apgaubiantys veidą akiniai. Nešiojant saulės akinius tamsiais stiklais, bet su nepakankama šonine apsauga, dėl išsiplėtusio vizydzio į akį patenka atspindėti nuo akinių iš vidaus ar susidarę dėl periferinio šviesos fokusavimo šviesos spinduliai. Be to, nešiojant saulės akinius, sumažėja išmoktas atmetimo refleksas ir prisimerkimas, taigi, iš tikrųjų UV spindulių kiekis akiai padidėja [5].

1.2 Saulės akinių lęšių klasės

Kaip buvo minėta, pats saulės akinių tamsumas nuo UV spindulių žalingo poveikio dar neapsaugo. Reikalingi akiniai, kuriuose nurodyta, kad jie sulaiko UV spindulius. Tai nurodoma akinių pase [6].

Pažymėtina tai, kad akiniai tarptautiniu susitarimu pagal tai, kaip praleidžia saulės spindulius, skirstomi į penkias apsaugos grupes:

1. *Nulinė apsaugos klasė*, tai akiniai su skaidriais arba įvairiaspalviais akinių lęšiais, nešiojami kaip aksesuaras arba bižuterijos detalė. Jie neapsaugo nuo saulės UV spindulių.

2. *Pirma apsaugos klasė*. Tai klubiniai akiniai nuo saulės, nupieštas debesėlis ir saulė. Jie beveik skaidrūs arba spalvoti, šviesiai dūminiai, „veidrodiniai“, padengti antirefleksine danga arba nuspalvinti (tonuoti) iki 20 – 30 procentų. Šiai klasei priskiriami akiniai su pereinamuoju tonavimu

nuo tamsaus viršuje iki skaidraus apačioje. Nors Švedijos firmos „Prestiz“ akiniai nuo saulės yra skaidrūs, jie turi visišką apsaugą nuo UVA ir UVB spindulių, kurie žalingiausi akims ir išretėjus atmosferos ozono sluoksniui pasiekia žemės paviršių ir akis net ir pro debesis. Jie pagaminti iš specialaus optinio plastiko ar stiklo, absorbuojančio UV spindulius. Akys puikiai apsaugotos tik nuo žalingiausių saulės spindulių ir dirbtinos šviesos šaltinių spindulių poveikio, todėl, nors akiniai skaidrūs, jums nereikės markstyti net ir gana ryškioje saulės šviesoje, pavyzdžiui, mieste, kur šešėliai kaitaliojasi su saulės atokaita. Be to, šie akiniai puikiai saugo nuo nepalankių oro sąlygų, pašalina ryškius atspindžius, pavyzdžiui, neonines šviesas ar lazerius klubuose. Tai vairuojant ir dirbant kompiuteriu tinkamiausi akiniai.

3. *Antra apsaugos klasė.* Jai priskiriami geri kokybiški saulės akinių lęšiai visiškai apsaugantys nuo žalingo tiesioginio saulės spindulių poveikio ir praleidžiantys tik 40 – 50 procentų ryškių saulės spindulių, jie pažymėti saulute. Tai gana tamsūs akiniai, skirti dėvėti saulės atokaitoje. Reikalavimai šių akinių filtrams kur kas didesni, daugelis iš jų be patamsinimo turi papildomas dangas, pavyzdžiui, poliarizuojančias, antirefleksines ar šalinančias tam tikrą saulės spindulių spektrą, jiems priskiriami saulėje tamsėjantys – fotochrominiai akinių lęšiai. Svarbiausia, kad žiūrint pro juos išlieka natūralios aplinkos spalvos. Šie lęšiai tonuoti iki 60 procentų. Gali būti korekciniai akiniai su tonuotais akinių lęšiais su dioptrijomis. Optikoje, pageidaujant, galima tamsinti akinių lęšius pageidaujama spalva ir intensyvumu. Su korekciniais saulės akiniais puikiai matoma. Ir dar verta žinoti, kad akinių lęšius galima ne tik tamsinti, bet ir pašviesinti arba pakeisti jų spalvą. Šie akiniai puikiai saugo nuo žalingo saulės spindulių poveikio visą vasarą, tinka vairuotui, kai šviečia saulė, yra sniego.

4. *Trečia saugos klasė.* Filtrus turintys akiniai skirti specialiems žmonių poreikiams, akinių pase nupiešta saulutė ir kalnai, jie skirti keliaujantiems į pietų kraštus, vandenynais, būnant ant vandens ar slidinėjant snieguotose kalnuose, kur didesnis saulės intensyvumas nuo vandens ar sniego paviršių. Tinka nešioti žmonėms, kurie turi ypač jautrias saulės šviesai akis ar gydymo tikslu, po akių operacijų, kai pažeidžiama natūrali apsauga nuo UV spindulių.

5. *Ketvirta klasė.* Filtrus turintys akiniai skirti specialiems žmonių poreikiams, akinių pase nupiešta saulutė, kalnai ir perbrauktas automobilis, jie skirti tiems, kurie daug laiko praleidžia ryškioje saulės šviesoje ant vandens paviršiaus, skraidant ore ar būnant snieguotose kalnuose, kur didesnis saulės intensyvumas ir jis sustiprėja atsispindėjęs nuo vandens ar sniego paviršių. Su šiais akiniais galima dirbti suvirinimo darbus. Akinių lęšiai tamsinti iki 90 procentų, jie sudaro labai tamsų filtrą ir iškreipia natūralias spalvas, todėl netinkami vairuojant, nes didelis pritamsinimas trukdo orientuotis staiga patekus į šešėlį.

Ant akinių dažniausiai rašomas ultravioletinių spindulių ilgis. Užrašas UV 400 reiškia, kad akiniai užtikrina visišką akių apsaugą nuo žalingo ultravioletinio spindulių poveikio.

Kartais sakoma, kad nešiojant tamsius akinius prasiplečia akies vyzdys ir į akį patenka daugiau ultravioletinių spindulių. Įrodyta, kad dėvint saulės akinius vyzdys praplatėja labai mažai, todėl šio praplatėjimo žala nėra tokia didelė, kokia yra saulės akinių apsauginio poveikio nauda.

Kai kurie kontaktiniai lęšiai yra su UV apsauga, tačiau jie apsaugo tik nedidelę akies dalį, todėl dėvint kontaktinius lęšius su UV apsauga vis vien rekomenduojama nešioti akinius nuo saulės [7].

2. AKINIŲ LĘŠIŲ MEDŽIAGOS, BEI GAMYBA

Lęšiai yra skirstomi į dvi pagrindines kategorijas: mineraliniai – stikliniai lęšiai ir organiniai – plastikiniai lęšiai.

2.1 Mineraliniai – stiklo lęšiai

Mineralinis stiklas – medžiaga gaunama lydant neorganines medžiagas.

Tradicinė, skaidri, labai gerai praleidžianti matomą šviesą medžiaga. Kietame būvyje poliruojant pasiekiamas skaidrumas. Trapi, kietą izotopinę amorfinę (nekristalinę) medžiaga, kaitinant palaipsniui apie 1500° C temperatūroje virsta skysta mase. Struktūra nehomogeninė – nėra aiškiai fiksuoto temperatūros, kurioje medžiaga iš kietos virsta skysta mase. Kietėjant nesikristalizuoja. Lėtai kietėjant stiklas lengvai formuojamas formose gaminant lęšių ruošinius.

Pagrindinė stiklo sudėtinė medžiaga – silicio oksidas (SiO_2), kuri sudaro iki 80% (yra smėlio su 99% silicio oksido). Kitos sudėtinės dalys yra medžiagų oksidai. Standartiniame stikle (1,5 indekso) daugiau natrio, kalcio oksidų. 1,5; 1,6 indekso fotochrominių lęšių sudėtyje daugiau boro oksidų.

Siekiant padidinti skaidraus stiklo indeksą didinamas titano, lantano oksidų kiekis. Apie 1975m. pagamintas 1,7 indekso, turintis daugiau titano lęšiai, kurių Abės skaičius 41. Po 15 metų pagaminti lęšiai su Lantanu 1,8 indekso ir 34 Abbe. 1995m. su Niobiu – 1,9/30. Iš aukšto indekso stiklo pagaminti daug plonesni lęšiai, tačiau didėja medžiagos tankumas – lęšio svoris [8].

Kalcio, cinko, fosforo, aliuminio, bario, švino oksidai didina stiprumą. Seleno, kobalto ir magnio oksidai, stibio oksidai ir fluoridai naikina spalvą. Natrio, amonio sulfatai, natrio chloridai, kalio natrio salietra skaidrina. Alavas, stibis, aliuminis, magnis suteikia atspalvių. Nikelis ir kobaltas – violetinę spalvą, kobaltas ir varis – mėlyną, chromas – žalią, geležis, kadmio – geltoną, auksas, varis, selenas – raudoną [9].

Stiklo gerosios savybės: skaidrus, kietas, atsparus subraižymams, geros optinės savybės. Bespalvis stiklas labai gerai praleidžia matomus spindulius. 1cm storio stiklo plokštelės pralaidumo faktorius, šviesos spinduliams krintant statmenai į paviršių (atmetama atspindžiai) yra:

Bangos ilgis mm.	396	415	425	500
Pralaidumas %	98,6	98,5	99,3	99,3

Stiklo blogosios savybės: trapus, sunkus, dažomas tik keičiant medžiagų sudėtį, spalva priklauso nuo lęšio storio, praleidžia UV spindulius nuo 340 nm [9].

2.2 Organiniai – plastikai lęšiai

Jie skirstomi į dvi grupes:

1. Kietasis reaktoplastikas plastikas, sudarytas iš organinių polimerų, kietėjančių į nelydžiu ir netirpią medžiagą, kurios negalima pakartotinai suformuoti kaitinant.
2. Kietasis termoplastikas plastikas, sudarytas iš organinių polimerų, kuriuos galima pakartotinai suminkštinti kaitinant ir sukietinti aušinant. Suminkštintos būsenos jie gali būti pakartotinai suformuoti į lęšius arba lęšių ruošinius [10].

2.2.1 Reaktoplastikai

CR – 39 Columbia Resin – 39- Diethylen glycol, JAV oro pajėgų Columbia Corporation – Pittsburg Plate Glass Company cheminėje laboratorijoje 39 tyrimų serijos metu gauta skaidri medžiaga, puikiomis savybėmis labai tinkanti oftalmologiniams lęšiams. 1955 – 1960m. Amerikiečių firmos LOS – Lentilles Ophtalmiques Speciales – jau gamino lęšius iš šios medžiagos. Vėliau ši firma, - viena iš Essiloro įmonės įkūrėjų, CR – 39 pavadino ORMA, kuri ir šiuo metu naudojama lęšių gamybai. Visi lęšių gamintojai naudoja ją iki šiol, dėl nesudėtingos gamybos ir gerų charakteristikų.

Pradiniame būvyje medžiaga skysta – manometras. Sumaišius su katalizatoriais ir kaitinant vyksta polimerizacijos procesas – cheminė reakcija kurios metu susikuria nauja molekulinė struktūra – polimeras – kieta medžiaga.

CR – 39 savybės – netirpstanti, nesilydanti, atspari tirpikliams, būriškai stabili skaidri, atspari smūgiams, ne trapi. Lengvai dažoma, dengiama dangomis. Visos savybės prilygsta stiklui: $n - 1,5 \text{ g/cm}^3$, Abbe – 58. Dvigubai lengvesnis, jo tankis $1,32 \text{ g/cm}^3$.

Plastikų minusas – medžiagos palyginti minkštos, todėl lengviau braižosi [10].

2.2.2 Termoplastikai

Medžiaga sukurta 1995m. Optiniams lęšiams taikoma tik šiame amžiuje. Tai labai atspari smūgiams medžiaga naudojama apsauginiams akiniams, skydams, kompaktiniams diskams...

Chemiškai tai linijinis amorfinės struktūros polimeras, karbonato CO₃ junginys su senoliu C₆H₅OH. Polikarbonato gerosios savybės: atsparus smūgiams, jo tankis mažesnis palyginus su CR – 39, kurio $n = 1,59$ g/cm³, o polikarbonato $n = 1,2$ g/cm³, nepraleidžia UV, minkštėja prie 140° C, Abės skaičius 30, kuris pakankamas optinėms savybėms, dengiamos dangos.

Blogosios savybės – medžiaga palyginus su reaktoplastikais yra minkšta, todėl greitai braižosi [11].

2.3 Lęšių gamybos procesai

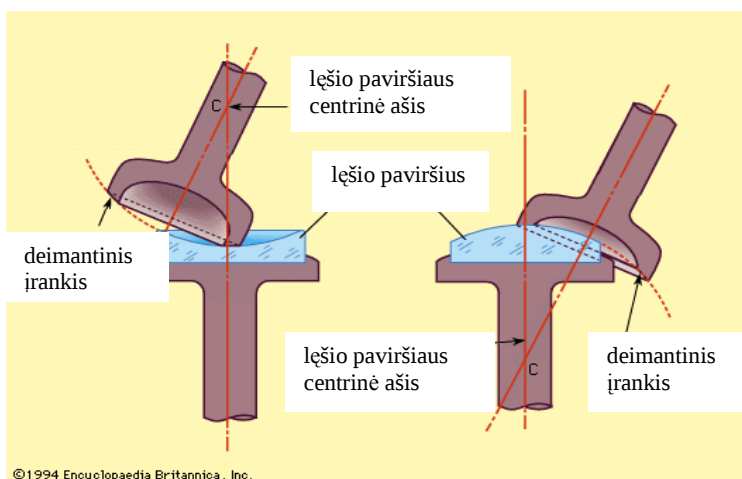
1. Mechaninis apdorojimas. Užduotų paviršių kreivių suformavimas ir apdirbimas mechaniniu būdu. Frezavimas, šlifavimas, poliravimas. Gamybai pateikiami lęšių ruošiniai (neapdoroti abu paviršiai) ar pusgaminiai (vienas paviršius pilnai apdorotas).

2. Liejimas formose. Skysta reaktoplastiko mase užpildomos liejimo formos, kurių paviršių kreiviai atitinka užduotus lęšio galiai. Išimtas iš formos lęšis turi pilnai apdorotus paviršius.

3. Presavimas. Lęšių iš termoplastinių medžiagų gamyba aukšto slėgio formose.

Mechaninis ruošinių apdorojimas.

Frezavimas. Lęšio paviršiaus medžiagos sluoksnio nuėmimas ir paviršiaus kreivio suformavimas. Naudojamas cilindro formos instrumentas žiedo formos darbiniu paviršiumi, padengtu deimantiniais grūdeliais. Galima apdoroti tiek plastikinius, tiek stiklinius lęšius [12].



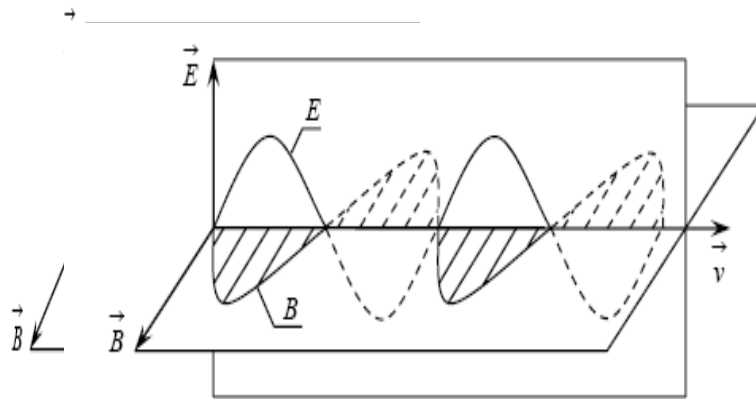
2.1 pav. Lęšių pusgaminų ruošimas frezavimo būdu.

3. ŠVIESOS POLIARIZACIJA

3.1 Šviesos poliarizacijos rūšys

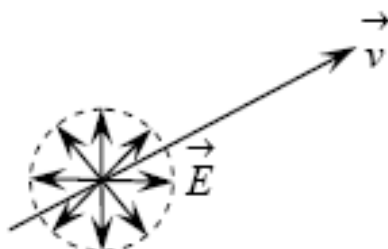
Šviesa sudaro elektromagnetinės bangos, kurios yra skersinės, t.y. elektrinio lauko stiprumas $\mathbf{E}$ (arba magnetinio lauko $\mathbf{H}$) statmeni elektromagnetinės bangos sklidimo kryptčiai $\mathbf{v}$. Tai išplaukia iš Maksvelo lygčių.

$\mathbf{E}$ vektorius svyruoja $\mathbf{E}$ ir $\mathbf{v}$ plokštumoje ir ši plokštuma vadinama poliarizacijos plokštuma. Elektromagnetinės bangos plokštumose veikiančios jėgos ir jų vektoriai pateikiami 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Elektromagnetinės bangos plokštumos ir jose veikiantys vektoriai $\mathbf{E}$ – elektrinio lauko stiprumas; $\mathbf{B}$ – magnetinė indukcija; $\mathbf{v}$ – elektromagnetinės bangos sklidimo krypttis.

Šviesą sudaro ne viena elektromagnetinė banga, o jų pluoštas. Paprastai natūralioje šviesoje, kurioje elektromagnetinės bangos sklinda ta pačia kryptimi, $\mathbf{E}$ vektorius svyruoja visomis kryptimis, statmenomis sklidimo kryptčiai $\mathbf{v}$. $\mathbf{E}$ vektorius svyravimas visomis kryptimis, statmenomis sklidimo kryptčiai $\mathbf{v}$, pateikiamas 3.2 paveiksle [13].

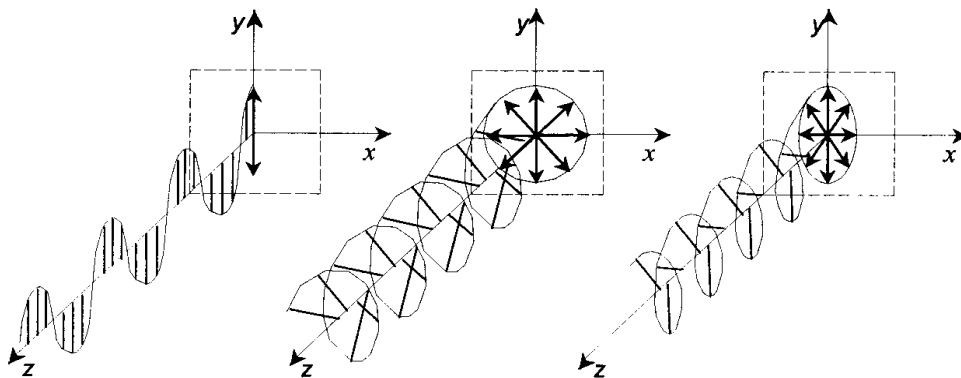


3.2 pav. Natūralios šviesos E vektoriaus svyravimas visomis kryptimis, statmenomis sklaidimo kryptims v

Elektromagnetinės bangos poliarizacija – tai ašinės simetrijos pažeidimas (bangos sklaidimo krypties atžvilgiu) skersinėje bangoje, kuris pasireiškia tuo, kad elektrinio lauko stiprumo E (arba magnetinio lauko H) pokytis įvairiomis kryptimis plokštumoje, statmenoje sklaidimo kryptims, yra skirtingas.

Šviesa, kurios vektorių E amplitudės visomis kryptimis yra vienodos, vadinama *natūraliąja*. Kitaip tariant, jei vektoriaus E dedamosios nesusietos faze (nekoherentinės) ir skirtingų elementariųjų mikrospondulių skleidžiamose bangose virpesiai yra skirtingų vienodai tikimų orientacijų, šviesa *natūralioji* (arba *nepoliarizuotoji*) [13].

Jei vektoriaus projekcijos į plokštumą, statmeną sklaidimo kryptims, galas juda tiese, turėsime *tiesiai poliarizuotą* bangą. *Apskritai poliarizuotoje* bangoje tam tikros fazės vektorius E (kartu ir H) bėgančioje bangoje brėžia erdvinės apskritas spirales, o statmenoje plokštumoje – apskritimą. Kai bėgančioje bangoje brėžiamos erdvinės elipsinės spirales, o sklaidimo kryptims statmenoje plokštumoje elipsę – turėsime *elipsiškai poliarizuotą* bangą. Tiesiai, apskritai ir elipsiškai poliarizuotoji banga pateikiama 3.3 paveiksle [14].

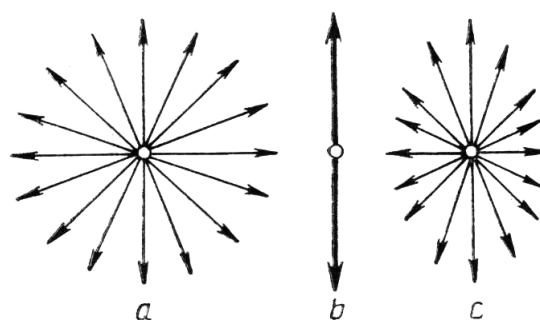


3.3 pav. Tiesiai, apskritai ir elipsiškai poliarizuotoji banga. (a) – tiesiai poliarizuotoji banga, (b) – apskritai poliarizuotoji banga, (c) – elipsiškai poliarizuotoji banga.

3.2 Šviesos poliarizacijos laipsnis

Jei nagrinėjamame šviesos pluošte vyrauja kurios nors krypties svyravimai, tai tokia šviesa yra vadinama *iš dalies* poliarizuota.

Jei nagrinėjamame šviesos pluošte E vektorius svyruoja tik vienoje plokštumoje šviesa yra *pilnai* arba *tiesiškai* poliarizuota. Šviesos poliarizuotumo laipsnis vaizduojamas E vektorių projekcijomis, kai sklidimo kryptis yra statmena brėžiniui. Šviesos poliarizuotumo laipsnis pavaizduotas E vektorių projekcijomis pateikiamas 3.4 paveiksle [14].



3.4 pav. Šviesos poliarizuotumo laipsnis pavaizduotas E vektorių projekcijomis a – tiesiai poliarizuotoji; b – apskritai poliarizuotoji; c – elipsiškai poliarizuotoji.

Remiantis standartais [ISO 13666:1998/DAmD 1], poliarizacijos laipsnis apibūdinamas:

$$P = \frac{\tau_{p \max} - \tau_{p \min}}{\tau_{p \max} + \tau_{p \min}}. \quad (3.1)$$

P-poliarizacijos laipsnis, parodantis poliarizuoto lęšio efektyvumą.

$\tau_{p \max}$ - didžiausias šviesos pralaidumo faktoriaus vertė, kai į lęšį krinta pilnai poliarizuota šviesa.

$\tau_{p \min}$ - mažiausias šviesos pralaidumo faktoriaus vertė, kai į lęšį krinta pilnai poliarizuota šviesa.

Poliarizacijos laipsnis (efektyvumas) gali būti įvertinamas matuojant šviesos pralaidumą kai natūrali šviesa praeina pro du vienodus poliaroidus.

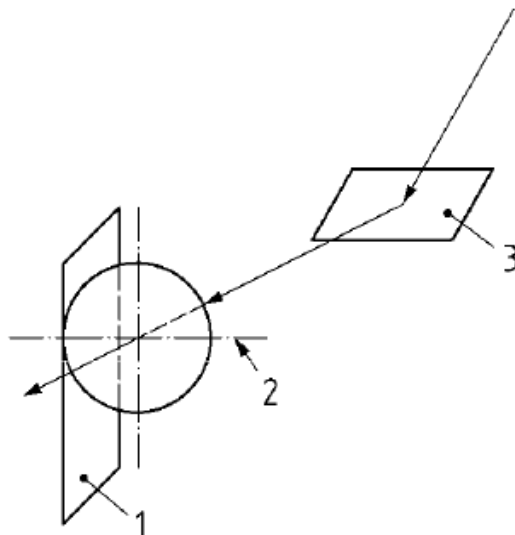
$$P = \sqrt{\frac{h(0) - h\left(\frac{\pi}{2}\right)}{h(0) + h\left(\frac{\pi}{2}\right)}}, \quad (3.2)$$

$h(0) = 0.5(\tau_{p \max}^2 + \tau_{p \min}^2)$ yra pralaidumo koeficientas, kai poliarizatorių ašys orientuotos lygiagrečiai.

$h\left(\frac{\pi}{2}\right) = (\tau_{p \max} \cdot \tau_{p \min})$ yra pralaidumo koeficientas, kai poliarizatorių ašys statmenos viena kitai.

Kai tarp poliarizatorių ašių kampas θ , bendras pralaidumas $h(\theta)$ išreiškiamas formule:

$$h(\theta) = h(0)\cos^2 \theta + h\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin^2 \theta \quad [14]. \quad (3.3)$$



3.5 pav. Poliarizacinių lęšių terminai: 1) poliarizacijos plokštuma; 2) horizontali kryptis, nurodanti lęšio padėtį akinių rėmeliuose; 3) horizontalaus atspindimasis paviršius [15].

Dienos šviesa praktiškai yra natūralioji, nors atskirų dangaus plotų šviesa visuomet yra šiek tiek poliarizuota. Stipriai poliarizuotą šviesą spinduliuoja liuminescuojantys skysčiai ir kietieji kūnai, ypač žadinant poliarizuota šviesa.

Šviesos poliarizacijos pobūdis turi esminės įtakos šviesos sąveikai su medžiaga. Optiškai izotropinėse medžiagose, o kartais ir metaluose, nuo šviesos poliarizacijos priklauso šviesos sklaidimo greitis ir kryptis (dvejopas spindulių lūžis), o taip pat sugertis (dichroizmas). Sklindant šviesai medžiagoje poliarizacijos pobūdis gali keistis: pakinta virpesių plokštuma (atsispindint, lūžtant, optiškai aktyviose terpėse); tiesiai poliarizuota šviesa gali tapti elipsiškai poliarizuota (visiškojo vidaus atspindžio atveju; atsispindint nuo sugeriančių paviršių, pvz., metalų).

Terpės sklaidoma šviesa taip pat keičia savo poliarizaciją. Sklindant terpėse poliarizuotai šviesai išsklaidytoji visuomet tam tikru laipsniu depoliarizuojasi [13].

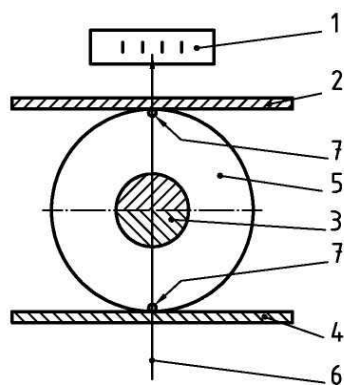
3.3 Lęšių su poliarizacine danga bandymo metodai

Lęšių su poliarizacine danga praleidimo faktoriaus vertė turi būti nustatyta, veikiant ne poliarizuotą šviesą, arba turi būti apskaičiuota kaip praleidimo faktoriaus verčių, gautų dviem viena kitai statmenoms filtro poliarizacijos plokštumos padėtimis, vidutinė vertė [16]. Lygiagrečiai ir statmenai poliarizacijos plokštumai gautų šviesos praleidimo faktoriaus verčių santykis yra nustatomas naudojant spinduliuotę, poliarizuotą lygiagrečiai ir statmenai poliarizacijos plokštumai. Turi būti matuojama spektrofotometru, kurio šviesos kelyje statomas žinomos poliarizacijos

plokštumos poliarizuojanti terpė. Prieš bandinio matavimą spektrofotometro pluoštas turėtų būti 100% tiesiškai poliarizuotas, įstatant tinkamą poliarizuojančią terpę ir kalibruojant 100%.

Poliarizacijos plokštumai nustatyti šviesos kelyje turi būti naudojamas poliarizatorius, kurio poliarizacijos plokštuma žinoma pagal metodus [16].

Perskirto lauko poliarizatorius, nupjautas $+3^\circ$ ir -3° kampais iš abiejų horizontalios plokštumos pusių, kurio viršutinė ir apatinė pusės yra suklijuojamos ir įstatomos tarp dviejų stiklo strypų. Poliarizatorių galima pasukti svirtimi, turinčią atitinkamą rodyklę. Rodyklė juda skersai skalės, sukalibruotos laipsniais į kairę arba dešinę nuo nulio. Perskirti laukai turi būti apšviesti iš užpakalinės pusės išsklaidytos šviesos šaltiniu (3.6 paveikslas).



3.6 pav. Aparatūros poliarizacijos plokštumai nustatyti principinė schema: 1) skalė; 2) viršutinis registratoriaus strypas; 3) perskirto lauko poliarizatorius; 4) apatinis registratoriaus strypas; 5) akinių lęšis su poliarizacine danga; 6) perskirto lauko sukimo svirtis; 7) poliarizacijos plokštumos žymės.

Įdėjus akinių lęšį kuris padengtas poliarizuota danga į aparatą yra nustatoma vertikali poliarizacijos plokštumos žymės padėtis, t.y. priekiniu paviršiumi į perskirto lauko poliarizatorių ant horizontalaus registratoriaus strypo, ir vertikalios padėties reguliavimo priemonėmis pasiekama, kad laukus skirianti linija atsidurtų akinių lęšio su poliarizacine danga centre. Sukdami svirtį į vieną arba į kitą pusę tol, kol, žiūrint pro lęšį, viršutinė ir apatinė perskirto lauko poliarizatoriaus pusės bus vienodai apšviestos. Užrašoma rodyklės padėtis, rodanti lęšio poliarizacijos ašies nuokrypą laipsniais (plius arba minus) nuo pažymėtos krypties [16].

4. POLIARIZUOTOS ŠVIESOS GAVIMAS

Natūraliąją šviesą galima pakeisti į poliarizuotąją, taikant dvejopą spindulių lūžį kristaluose.

Poliarizuotoji šviesa gali atsirasti dėl įvairių priežasčių, pvz., dėl ašinės simetrijos pažeidimo spinduliuojančiame šaltinyje; sklindant šviesai anizotropinėje terpėje; atspindint bei lūžtant šviesai dviejų terpių sandūroje, dėl terpės dichroizmo. Šviesa poliarizuojama optinėmis sistemomis, vadinamomis poliarizatoriais.

4.1 Šviesos poliarizacija atspindint ir lūžtant skaidrių dielektrikų riboje

Detaliau panagrinėkime šviesos poliarizaciją atspindint ir lūžtant skaidrių dielektrikų riboje.

Šviesos atspindys yra reiškinys, kai krentant šviesos bangai į dviejų terpių sandūrą atsiranda banga, sklindanti nuo terpių skiriamosios ribos į pirmąją terpę. Šviesos atspindys priklauso nuo sandūros pobūdžio. Jei skiriamosios paviršiaus nelygumai daug mažesni už bangos ilgį, tai vyksta veidrodinis šviesos atspindys. Jei nelygumų matmenys artimi bangos ilgiui – difuzinis šviesos atspindys. Paprasčiausias yra šviesos atspindys nuo begalinės plokščios dviejų vienalyčių terpių sandūros (Frenelio atspindys). Atspindėjusiosios šviesos sklaidimo kryptis nepriklauso nuo terpių savybių. Atspindėjęs spindulys yra kritimo plokštumoje. Kritimo kampas lygus atspindžio kampui. Atspindėjusiosios bangos amplitudė ir fazė priklauso nuo terpių savybių, bangos poliarizacijos ir kritimo kampo [17].

Tiriant šviesos atspindžio ir lūžio dėsningumus svarbu išnagrinėti elektromagnetinių bangų perėjimo dviejų terpių sandūrą sąlygas.

Panagrinėsime dvi nelaidžias skirtingos dielektrinės skvarbos ε_1 ir ε_2 terpes (magnetinė skvarba $\mu_1 = \mu_2 = 1$). Į plokščią dviejų terpių sandūrą iš pirmosios terpės kampu φ krenta banga $\mathbf{EH}$ (4.1 pav.), kuri iš dalies atspindi ($\mathbf{E}_1\mathbf{H}_1$) tuo pačiu kampu φ ir dalis pereina į antrąją terpę ($\mathbf{E}_2\mathbf{H}_2$) lūždama kampu ψ . Vektoriai $\mathbf{S}$, $\mathbf{S}_1$ ir $\mathbf{S}_2$ nusako atitinkamų bangų energijos sklaidimo kryptis. Jie statmeni bangos frontui bei vektoriams $\mathbf{E}$ ir $\mathbf{H}$. Taigi pirmojoje terpėje yra dvi bangos – krentančioji

ir atspindėjusioji, kurios sklinda tuo pačiu faziniu greičiu $v_1 = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_1}}$, o antrojoje – viena lūžusioji,

sklindanti faziniu greičiu $v_2 = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_2}}$ [16].

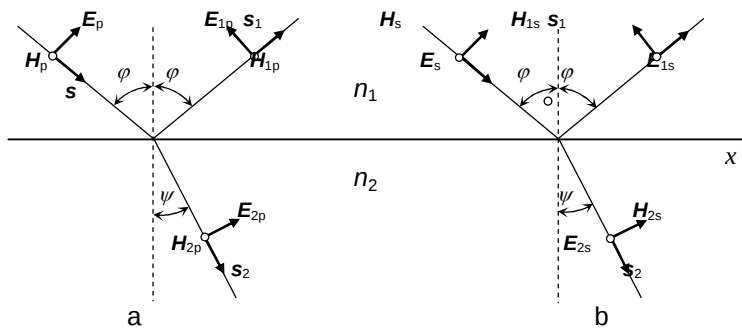
Dviejų terpių sandūroje elektromagnetinio lauko lygtims, t. y. Maksvelo (*Maxwell*) lygtims galioja kraštinės sąlygos. Viena jų nusako tangentinių $\mathbf{E}$ ir $\mathbf{H}$ dedamųjų lygybę abiejose sandūros pusėse bet kuriuo laiko momentu:

$$(\mathbf{E}_t)_1 = (\mathbf{E}_t)_2; \quad (\mathbf{H}_t)_1 = (\mathbf{H}_t)_2.$$

Galima tarti, kad natūraliąją (nepoliarizuotąją) šviesą galima išreikšti kaip sumą dviejų plokščių bangų, tiesiai poliarizuotų tarpusavyje statmenose plokštumose ir sklindančių viena kryptimi tuo pačiu faziniu greičiu.

Bet kurį vektorių galima išskaidyti į kelias dedamąsias. Vieną elektrinio vektoriaus dedamoji yra bangos kritimo plokštumoje (4.1 a pav.), ji žymima indeksu p, o kita – jai statmenoje plokštumoje (4.1 b pav.), žymima indeksu s. Magnetinis vektorius $\mathbf{H}$ yra statmenas $\mathbf{E}$ ir $\mathbf{S}$ (paveiksle $\mathbf{H}$ statmenas brėžinio plokštumai).

Užrašome kraštines sąlygas atitinkamoms vektorių $\mathbf{E}$ ir $\mathbf{H}$ amplitudžių projekcijas į x ašį amplitudėms atsižvelgdami į pradinę virpesių fazę [13].



4.1 pav. Šviesos atspindys ir lūžis dielektrikų sandūroje

$$E_p \cos \varphi - E_{1p} \cos \varphi = E_{2p} \cos \psi,$$

$$H_p + H_{1p} = H_{2p}.$$

Kadangi $H_p = \sqrt{\epsilon_1} E_p = n_1 E_p$; $H_{1p} = n_1 E_{1p}$; $H_{2p} = n_2 E_{2p}$ ir $n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \psi$, tai

$$\left. \begin{aligned} E_p - E_{1p} &= E_{2p} \frac{\cos \psi}{\cos \varphi}, \\ E_p + E_{1p} &= E_{2p} \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}. \end{aligned} \right\}$$

Iš pastarosios lygčių sistemos galima išreikšti atsispindėjusios šviesos elektrinio vektoriaus lygiagrečiąją dedamąją:

dalindami vieną lygtį iš kitos gauname

$$\frac{E_p - E_{1p}}{E_p + E_{1p}} = \frac{\sin \psi \cos \psi}{\sin \varphi \cos \varphi} = \frac{\sin 2\psi}{\sin 2\varphi},$$

$$E_{1p} = E_p \frac{\sin 2\varphi - \sin 2\psi}{\sin 2\varphi + \sin 2\psi} = E_p \frac{2 \sin(\varphi - \psi) \cos(\varphi + \psi)}{2 \sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)} = E_p \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}(\varphi + \psi)}. \quad (4.1)$$

Sudedant lygtis gauname:

$$2 E_p = E_{2p} \left(\frac{\cos \psi}{\cos \varphi} + \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} \right) = E_{2p} \cdot \frac{1}{2} \frac{\sin 2\psi + \sin 2\varphi}{\sin \psi \sin \varphi},$$

ir lūžusios šviesos elektrinio vektoriaus lygiagrečioji dedamoji:

$$E_{2p} = E_p \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)}. \quad (4.2)$$

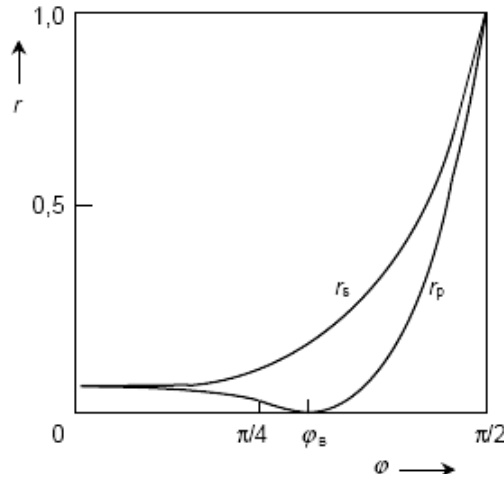
Statmenųjų dedamųjų amplitudžių projekcijoms kraštinės sąlygos užrašomos taip:

$$\left. \begin{aligned} E_s + E_{1s} &= E_{2s}; \\ H_s \cos \varphi - H_{1s} \cos \varphi &= H_{2s} \cos \psi. \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

Atlikus reikiamus matematinius veiksmus gaunamos atsispindėjusios ir lūžusios šviesos elektrinio vektoriaus dedamųjų išraiškos:

$$E_{1s} = -E_s \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)}, \quad E_{2s} = E_s \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi)}. \quad (4.4)$$

Išraiškos (4.1), (4.2), (4.3) ir (4.4) yra *Frenelio formulės*. Jos nusako ir atsispindėjusios, ir lūžusios plokščiosios bangos amplitudes ir fazes, kai į nejudamą plokščių dviejų vienalyčių terpių sandūrą krenta monochromatinė plokščioji banga [13].



4.2 pav. Atspindžių r_p ir r_s priklausomybė nuo kritimo kampo.

Atsispindėjusios šviesos intensyvumą nusako *atspindžio faktorius* $r = I_1/I = (E_1/E)^2$, t. y. atsispindėjusios šviesos intensyvumo, kuris proporcingas amplitudės kvadratui, ir krentančiosios šviesos intensyvumo dalmuo. Naudojant Frenelio formules gaunamos tokios atspindžio faktorių išraiškos:

$$r_p = \frac{E_{1p}^2}{E_p^2} = \frac{\operatorname{tg}^2(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\varphi + \psi)} \quad \text{ir} \quad r_s = \frac{E_{1s}^2}{E_s^2} = \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)}. \quad (4.5)$$

Kadangi $E = E_p + E_s$ ir $I = E_p^2 + E_s^2 = I_p + I_s$, krentant natūraliajai šviesai suminis atspindžio faktorius išreiškiamas taip:

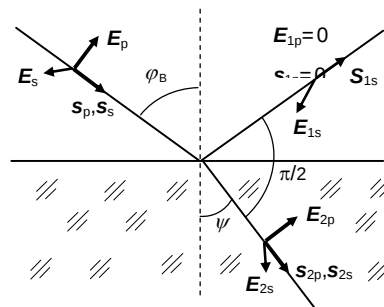
$$\begin{aligned} r = \frac{I_1}{I} &= \frac{I_{1p} + I_{1s}}{I_p + I_s} = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{1p}^2}{E_p^2} + \frac{E_{1s}^2}{E_s^2} \right) = \frac{r_p + r_s}{2} = \\ &= \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{2 \sin^2(\varphi + \psi)} \left[1 + \frac{\cos^2(\varphi + \psi)}{\cos^2(\varphi - \psi)} \right]. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Iš Frenelio formulių išplaukia, kad keičiant kritimo kampą φ atsispindėjusios šviesos dedamosios E_{1p} ir E_{1s} kinta skirtingai. Pirmiausia išplaukia, kad jei $\varphi + \psi = \pi/2$, tai $r_p = 0$, nes $\operatorname{tg}(\varphi + \psi) = \infty$. Šiuo atveju $r_s \neq 0$. Vadinasi, esant tam tikram šviesos kritimo kampui, nuo skiriamosios dviejų dielektrinių terpių ribos atsispindi tik tokios poliarizacijos banga, kurios elektrinis vektorius virpa statmenai kritimo plokštumai, o banga, kurios elektrinis vektorius virpa kritimo plokštumoje,

neatsispindi. Jei kritimo kampas toks, kad $\varphi + \psi = \pi/2$, atsispindėjusi šviesa yra tiesiai poliarizuota, elektrinis vektorius virpa plokštumoje, statmenoje kritimo plokštumai. Kai $\varphi + \psi = \pi/2$, tada $\sin \psi = \cos \varphi$ ir

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi_B. \quad (4.7)$$

Sąryšis (4.7) tarp dielektrikų lūžio rodiklių ir tokio natūraliosios (nepoliarizuotosios) šviesos bangos kritimo kampo, kuriam esant atsispindėjusi nuo dielektriko paviršiaus šviesa yra visiškai poliarizuota išreiškia *Briusterio* (Brewster) *dėsni*, o tas kritimo kampas – *Briusterio kampas*. Kai natūralioji šviesa krenta į dviejų dielektrikų sandūrą Briusterio kampu, atsispindėjusioje bangoje lieka tik ta dedamoji, kurios elektrinis vektorius virpa plokštumoje, statmenoje kritimo plokštumai (4.3 pav.).



4.3 pav. Šviesos kritimas
Briusterio kampu

Tai reiškia šios bangos visišką poliarizaciją. Visiška atsispindėjusios bangos poliarizacija būna tada, kai lūžusios ir atsispindėjusios bangų normalės tarp savęs statmenos ($\varphi_B + \psi = 90^\circ$).

Krentant šviesai ne Briusterio kampu, atsispindėjusioji banga iš dalies poliarizuojasi. Atsispindėjusioje šviesoje vyraujantys virpesiai yra statmeni kritimo plokštumai, nes

$$|E_{1s}| > |E_{1p}|.$$

Kai kritimo kampas $\varphi = 0$ (statmenasis kritimas), tai iš Frenelio formulių išplaukia, kad bangos poliarizacija nepakinta, abi bangos dedamosios atsispindi vienodai. Tada atspindžio faktorius

$$r = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2. \quad (4.8)$$

Nesunkiai įrodoma, kad kai $\varphi \rightarrow \pi/2$ (šliaužiantysis kritimas), atspindžio faktoriai ir E_p , ir E_s atvejais artėja prie vieneto. Pvz., vandenyje labai gerai atspindi priešingas krantas arba gerokai nutolę daiktai, o žiūrint į vandenį statmenai, dugnas matosi gerai, veidas - labai silpnai [13].

4.2 Dvejopas šviesos lūžimas

Šviesos sklidimas anizotropinėje terpėje turi savitus ypatumus. Anizotropinei terpei būdinga skirtingos savybės priklausomai nuo krypties.

Optinė anizotropija – optinių savybių skirtumas įvairiomis kryptimis. Optinių savybių skirtumai įvairiomis kryptimis labiausiai išryškėja kristalinėse terpėse.

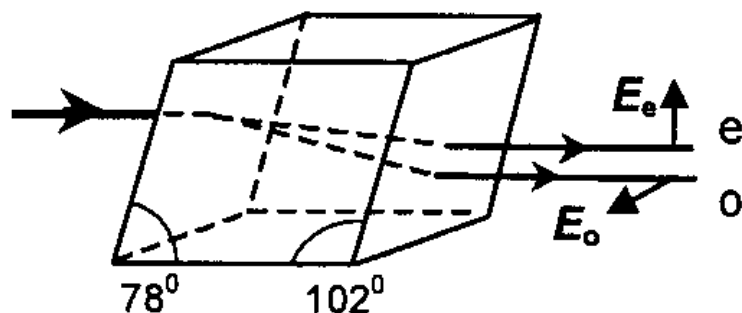
Terpės anizotropiją optiniu požiūriu lemia skirtinga terpės geba reaguoti į krintančiosios šviesos poveikį, priklausomai nuo jos sklidimo krypties. Reagavimas pasireiškia elektros krūvių poslinkiu veikiant šviesos bangos laukui. Optiškai anizotropinėse terpėse šis poslinkis priklauso nuo krypties, t. y. terpės dielektrinė skvarba (kartu ir lūžio rodiklis) skirtinga įvairioms šviesos bangos elektrinio vektoriaus kryptims. Kitaip tariant, terpės lūžio rodiklis (kartu ir šviesos greitis) priklauso nuo šviesos bangos sklidimo krypties ir jos poliarizacijos plokštumos orientacijos. Todėl anizotropinėje terpėje bangos paviršius, t. y. paviršius, iki kurio per tam tikrą laiką ateina šviesos trikdys, skiriasi nuo sferos, kuri būdinga izotropinei terpei, kurioje šviesos sklidimo greitis visomis kryptimis yra vienodas.

Optiškai anizotropinėmis aplinkomis sklindančios šviesos spindulys suskyla į du. Šis reiškinys vadinamas *dvejomu šviesos lūžimu*. Tokios savybės būdingos daugeliui kristalų (kvarcui, turmalinui, islandiškajam špatui ir kt.). Šviesos greitis juose priklauso ne tik nuo jos sklidimo krypties, bet ir nuo E vektoriaus orientacijos [13].

Dvejopas šviesos lūžis – šviesos spindulio dvejimasis jam sklindant anizotropinėje terpėje dėl lūžio rodiklio (kartu ir bangos greičio) priklausomybės nuo bangos poliarizacijos ir bangos vektoriaus orientacijos kristalografinių ašių atžvilgiu, t. y. nuo sklidimo krypties. Krintant šviesos bangai į anizotropinės terpės paviršių, terpėje atsiranda dvi lūžusios skirtingos poliarizacijos bangos, sklindančios skirtingomis kryptimis nevienodais greičiais.

Dvejopas spindulių lūžis pirmą kartą stebėtas 1670 m. pereinant šviesai kalcitą (Islandijos špatą). Dvejopo spindulių lūžio reiškiniu grindžiama įvairių rūšių šviesos poliarizatorių veikimas, gaminamos poliarizacinės prizmės bei poliaroidai [17].

Jei į pakankamai storą kalcito kristalą nukreipti siaurą šviesos pluoštelį, tai po lūžimo susidaro du šviesos pluošteliai net ir tada, kai pirminis pluoštelis į kristalo sienelę krinta statmenai. Šviesos sklaidimas per kalcitą pateikiamas 4.4 paveiksle.



4.4 pav. Šviesos sklaidimas per kalcitą

Lūžęs šviesos pluoštelis skyla į du: vienas yra kritusiojo tęsinys, o kitas nukrypsta ir jo lūžio kampas nelygus nuliui. Dėl šio reiškinio ir kitų nuokrypių nuo įprastųjų lūžio dėsnių pirmasis pluoštelis vadinamas *paprastuoju* (**o**), o antrasis – *nepaprastuoju* (**e**).

Priklausomai nuo anizotropinės terpės simetrijos joje yra kelios išskirtinės kryptys, palei kurias nepasireiškia dvejopas spindulių lūžis. Kryptys, išilgai kurių dvejopo šviesos lūžimo nebūna, vadinamos kristalo *optinėmis ašimis*. Jų gali būti viena arba kelios [14].

Per optinę ašį ir krintantį spindulį išvesta plokštuma vadinama *pagrindinio pjūvio plokštuma*.

Abu spinduliai yra poliarizuoti taip, kad jų E vektoriai svyruoja tarpusavyje statmenose plokštumose.

Paprastojo (ordinarinio – **o**) spindulio E vektorius svyruoja plokštumoje, statmenoje pagrindinio pjūvio plokštumai.

Nepaprastojo (ekstraordinarinio – **e**) spindulio E vektorius svyruoja pagrindinio pjūvio plokštumoje.

Dvejopas šviesos lūžimas reiškia, kad krintanti šviesos banga anizotropinėje aplinkoje sužadina dvi bangas – paprastąją ir nepaprastąją. Abi šios bangos yra poliarizuotos ir sklinda skirtingais greičiais. Abiejų spindulių lūžimas priklauso nuo kampo tarp spindulio ir optinės ašies bei kritimo kampo.

Paprastojo spindulio atžvilgiu kalcito lūžio rodiklis n_o yra vienodas bet kokiam spindulio kritimui į kristalą, o nepaprastojo spindulio – n_e priklauso nuo jo krypties.

Plokštuma, kurioje yra optinė kristalo ašis ir šviesos bangos fronto sklidimo kryptis (spindulys), vadinama *vyriausiąja kristalo plokštuma*.

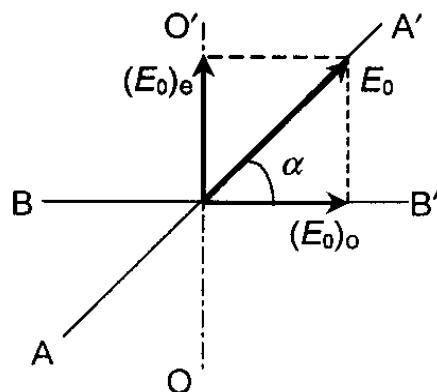
Paprastoji ir nepaprastoji bangos susikūrusios kalcite yra visiškai tiesiai poliarizuotos tarpusavyje statmenose plokštumose. Paprastosios bangos elektrinio vektoriaus virpesiai yra statmeni vyriausiajai plokštumai, o nepaprastosios – lygiagretūs.

Kai į kalcitą krinta natūralioji šviesa, tai paprastojo ir nepaprastojo spindulių intensyvumai yra vienodi. Tarkim, kad į kristalą krinta tiesiai poliarizuota šviesa. Bendruoju atveju iš kristalo išeis du tiesiai poliarizuoti nevienodo intensyvumo spinduliai. Paprastojo ir nepaprastojo spindulių vektorių padėtys kristale (spindulys krinta statmenai brėžinio plokštumai) pateikiamos 4.5 paveiksle [14].

Elektrinio vektoriaus amplitudės išreiškiamos taip:

$$(E_o)_o = E_o \cos \alpha,$$

$$(E_o)_e = E_o \sin \alpha.$$



4.5 pav. Paprastojo ir nepaprastojo spindulių vektorių padėtys kristale. OO' – kristalo optinė ašis, nepaprastosios bangos elektrinio vektoriaus virpesių linkmė; BB' – paprastosios bangos elektrinio vektoriaus virpesių linkmė; AA' – krintančiosios į kristalą plokščiosios bangos elektrinio vektoriaus virpesių linkmė.

Kadangi intensyvumas proporcingas amplitudės kvadratui, tai:

$$I_o = I \cos^2 \alpha,$$

$$I_e = I \sin^2 \alpha.$$

Iš čia išplaukia Malus (Malus) taisyklės:

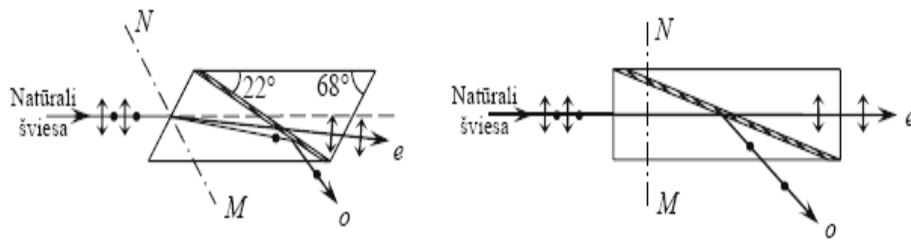
$$\frac{I_e}{I_o} = \cos^2 \alpha, \quad (4.9)$$

$$I_o + I_e = I.$$

Dvejopo šviesos lūžimo reiškinys naudojamas tiesiškai poliarizuotai šviesai gauti. Tam yra gaminamos Nikolio prizmės (nikoliai), kurios išpjaunamos iš islandiškojo špato ir suklijuojamos (jei norima gauti regimąją šviesą) Kanados balzamu.

Paprastoji banga krinta į balzamo sluoksnį kampu, didesniu už ribinį visiško vidaus atspindžio kampą, ir nuo jo atsispindi (pašalinama). Prizmę pereina nepaprastoji tiesiškai poliarizuota banga.

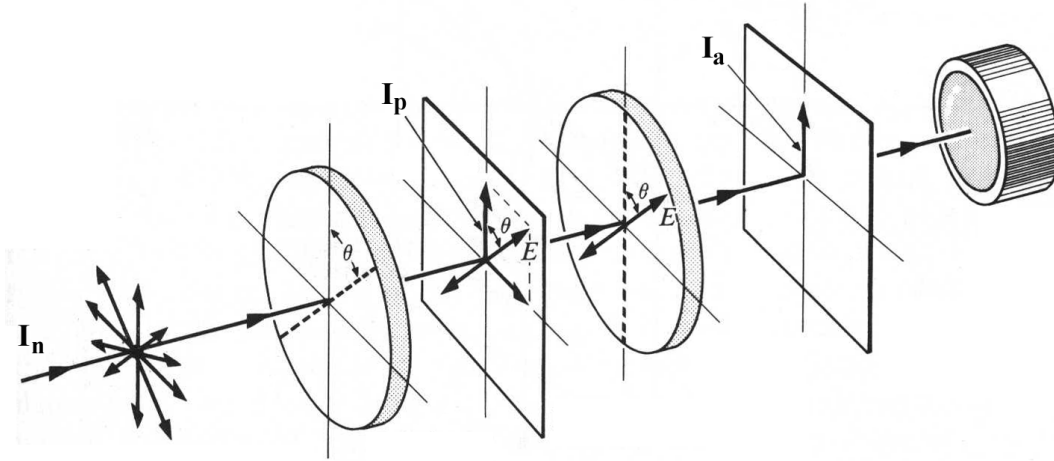
Paprastosios ir nepaprastosios bangos poliarizacija šviesai praeinant per Nikolio prizmę pateikiama 4.6 paveiksle.



4.6 pav. Paprastosios ir nepaprastosios bangos poliarizacija šviesai praeinant per Nikolio prizmę

Paprastosios bangos lūžio rodiklis islandiškajame špate $n = 1.648$, o nepaprastosios – $n = 1.486$. Šviesos lūžio Kanados balzame rodiklis lygus $n = 1.55$ [14].

Nikolio prizmė yra naudojama kaip poliarizatorius.



4.7 pav. Šviesos praėjimas per du nikelius I_n – nepoliarizuotos šviesos intensyvumas; I_p – poliarizuotos šviesos intensyvumas. I_a – pro analizatorių praėjusios šviesos intensyvumas.

Šviesos intensyvumo pasikeitimas, jai praėjus pro poliarizatorių ir analizatorių, pateikiamas 4.7 paveiksle. Pro poliarizatorių praėjusios šviesos intensyvumas sumažėja du kartus, t.y.:

$$I_p = \frac{1}{2} I_n, \quad (4.10)$$

kur I_p – poliarizuotos šviesos intensyvumas; I_n – nepoliarizuotos šviesos intensyvumas.

Šios, tiesiškai poliarizuotos šviesos kelyje pastatykime antrą tokią pat plokštelę, vadinamą analizatoriumi. Tuomet, keičiant kampą tarp poliarizacijos plokštumos ir analizatoriaus optinės ašies, pro analizatorių praėjusios šviesos intensyvumas kinta pagal Malio dėsnį:

$$I_a = I_p \cos^2 \theta, \quad (4.11)$$

kur I_a – pro analizatorių praėjusios šviesos intensyvumas; I_p – poliarizuotos šviesos intensyvumas [14].

4.3 Dichroizmas

Dichroizmas yra skirtinga šviesos sugertis priklausomai nuo jos poliarizacijos (sugerties anizotropija). Kadangi sugertis priklauso taip pat nuo bangos ilgio, dichroinių medžiagų nuspalvinimas priklauso nuo stebėjimo krypties.

Dichroizmas skirstomas į šiuos tipus: tiesinis dichroizmas – skirtinga šviesos sugertis dviejų bangų, kurios tiesiai poliarizuotos tarpusavyje statmenose kryptyse; apskritas dichroizmas – skirtinga sugertis šviesos su kairine ir dešinine apskrita poliarizacija; bendruoju atveju – elipsinis dichroizmas – skirtinga sugertis šviesos su kairine ir dešinine elipsine poliarizacija. Medžiaga dėl dichroizmo skirtingai sugeria ir natūraliąją šviesą priklausomai nuo jos sklidimo krypties medžiagoje.

Tiesiniame dichroizme statmenoji ir lygiagrečioji šviesos dedamoji nusakoma atžvilgiu išskirtinių krypčių – optinių arba kristalografinių ašių, orientuojančiojo lauko krypčių ir t. t.

Dichroizmas gali pasireikšti ir kondensuotose medžiagose, ir atskirose laisvose molekulėse. Tai susiję su šuoliais tarp skirtingų elektroninių (gali būti ir tarp virpesinių) lygmenų. Kiekvieną šuolį galima modeliuoti sugertimi osciliatoriaus, įvairiai orientuoto arba išsidėsčiusio skirtingose didelės molekulės, turinčios konjuguotą jungčių sistemą, vietose. Atitinkamoms sugertiems juostoms skirtingas dichroizmas. Jei kokio nors šuolio metu kartu kinta elektrinis ir magnetinis dipolinis momentas, pasireiškia apskritas dichroizmas. Tokia molekulė vadinama optiškai aktyvia. Apskritu dichroizmu pasižymi tik centrinės simetrijos molekulės.

Dichroizmas medžiagos, sudarytos iš anizotropinių molekulių, priklauso nuo jų tarpusavio išsidėstymo. Dujose arba praretintuose garuose, kuriuose visos orientacijos vienodai tikimos („ideali netvarka“), o tarpmolekulinės sąveikos silpnos, tiesinio dichroizmo nėra, stebimas apskritas dichroizmas. Kai anizotropinėse molekulėse atsiranda tam tikra orientacinė tvarka, atsiranda ir tiesinis dichroizmas. Kondensuotose terpėse sugerties anizotropija susijusi su tam tikra anizotropinių molekulių orientacine tvarka. Be to kristaluose atsiranda nauji struktūriniai (kristaliniai) ryšiai, lemiami kolektyviniais reiškiniiais, pvz., eksitoniniai šuoliai molekuliniuose kristaluose, tarpzoniniai šuoliai puslaidininkiuose ir t. t. Stipraus kristalų dichroizmo atstovas yra turmalino kristalas.

Dichroizmo pobūdis ir didumas kristaluose priklauso nuo kristalo simetrijos šviesos sklidimo kryptimi. Kristaluose yra išskirtinės linkmės (optinės ašys), palei kurias tam tikros poliarizacijos

šviesa sklinda be dvejopo spindulių lūžio. Tai gali būti izotropinės ašys, praleidžiančios be dvejopo spindulių lūžio bet kokios poliarizacijos krypties šviesą, ir apskritos, praleidžiančios be dvejopo lūžio tam tikro ženklo apskritai poliarizuotą šviesą. Šiomis kryptimis stebimas atitinkamai tiesinis ir apskritas dichroizmas. Kitomis kryptimis pasireiškia elipsinis dvejopas lūžis (atsiranda dvi kairiosios ir dešinėsios elipsinės poliarizacijos bangos) ir elipsinis dichroizmas (t. y. skirtinga šių bangų sugertis). Ašių skaičius, savybės ir orientacija sugeriančiame kristale priklauso nuo jo simetrijos. Kubiniai kristalai optiškai izotropiški, vienašiuose kristaluose yra viena izotropinė ašis, žemesnių singonijų kristaluose yra ir izotropinės, ir apskritosios ašys.

Stipriu dichroizmu pasižymi taip pat daugelis polimerų (iš dalies biologinių). Atskirų polimerinių molekulių dichroizmas labai priklauso nuo jų konformacijos, o polimerinės terpės dichroizmas – taip pat ir nuo šios terpės tvarkos laipsnio ir pobūdžio.

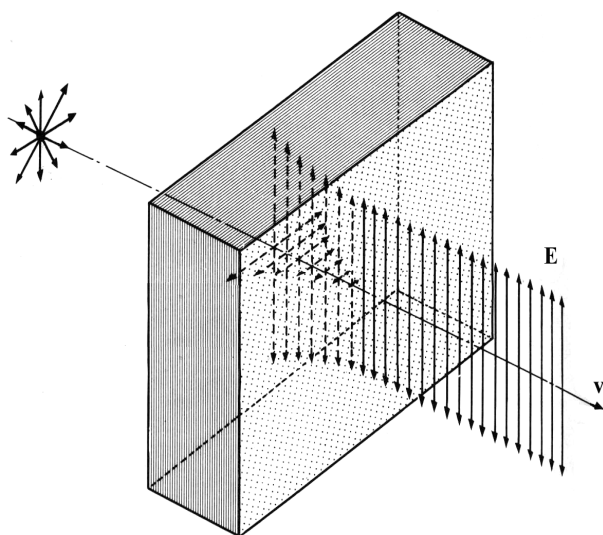
Kondensuotose terpėse tiesinį dichroizmą galima sukurti dirbtinai įvairiais būdais. Pavyzdžiui, tempiant polimerines plėveles polimerinės grandinės orientuojasi palei tempimo kryptį. Jei polimerinėms molekulėms būdinga sugerties anizotropija, atsiranda plėvelės dichroizmas. Dichroizmas sukuriamas taip pat primaišius anizotropinių (dichroinių) molekulių į skaidrią polimerinę plėvelę su orientuotomis grandinėmis, į skaidrų įprastinį kristalą arba sustruktūrintą nematinį skystąjį kristalą. Skystuosiuose kristaluose ir koloiduose dichroizmas gali susidaryti dėl molekulių orientavimo mažo dažnio ir nuolatinio elektriniu bei magnetiniu lauku. Intensyvūs elektromagnetiniai optiniai laukai taip pat orientuoja nesužadintas molekules. Žadinant tiesiai poliarizuota šviesa sužadintų molekulių orientacijos tampa anizotropinės ir atsiranda dichroizmas sužadintose būsenose. Tai naudojama lazeriuose, norint sukurti nevienodą skirtingos poliarizacijos šviesos stiprinimą.

Tiesinis ir apskritas dichroizmas atsiranda deformuojant molekulę arba jos elektroninį apvalkalą vidiniu terpės lauku. Molekulės elektroninio apvalkalo deformavimas šaldant arba kaitinant sukuria dichroizmą, priklausančią nuo temperatūros.

Dichroizmo reiškinyje naudojamas taikomojoje kristalų optikoje ir mineralogijoje kokybinei mineralų analizei, chemijoje ir biochemijoje struktūrinei molekulių analizei. Tiesinis dichroizmas naudojamas poliaroidų sukūrimui. Valdomo dichroizmo elementai naudojami šviesos srautams moduluoti, indikavimo, atvaizdų sukūrimo ir informacijos saugojimo įrangoms, atminties elementams ir t. t.[13].

Paprasčiausias poliarizatorius yra turmalino kristalo plokštelė. Turmalinas yra vienas iš optiškai anizotropinių kristalų, jis gerai praleidžia tik vienos **E-v** plokštumos svyravimus. Šviesos

poliarizacija jai praeinant per turmalino kristalo plokštelę pateikiama 4.8 paveiksle. Pro poliarizatorių praėjusi šviesa yra tiesiškai poliarizuota [13].



4.8 pav. Šviesos poliarizacija jai praeinant per turmalino kristalo plokštelę

5. LĖŠIO SU POLIARIZACINE DANGA TYRIMAS

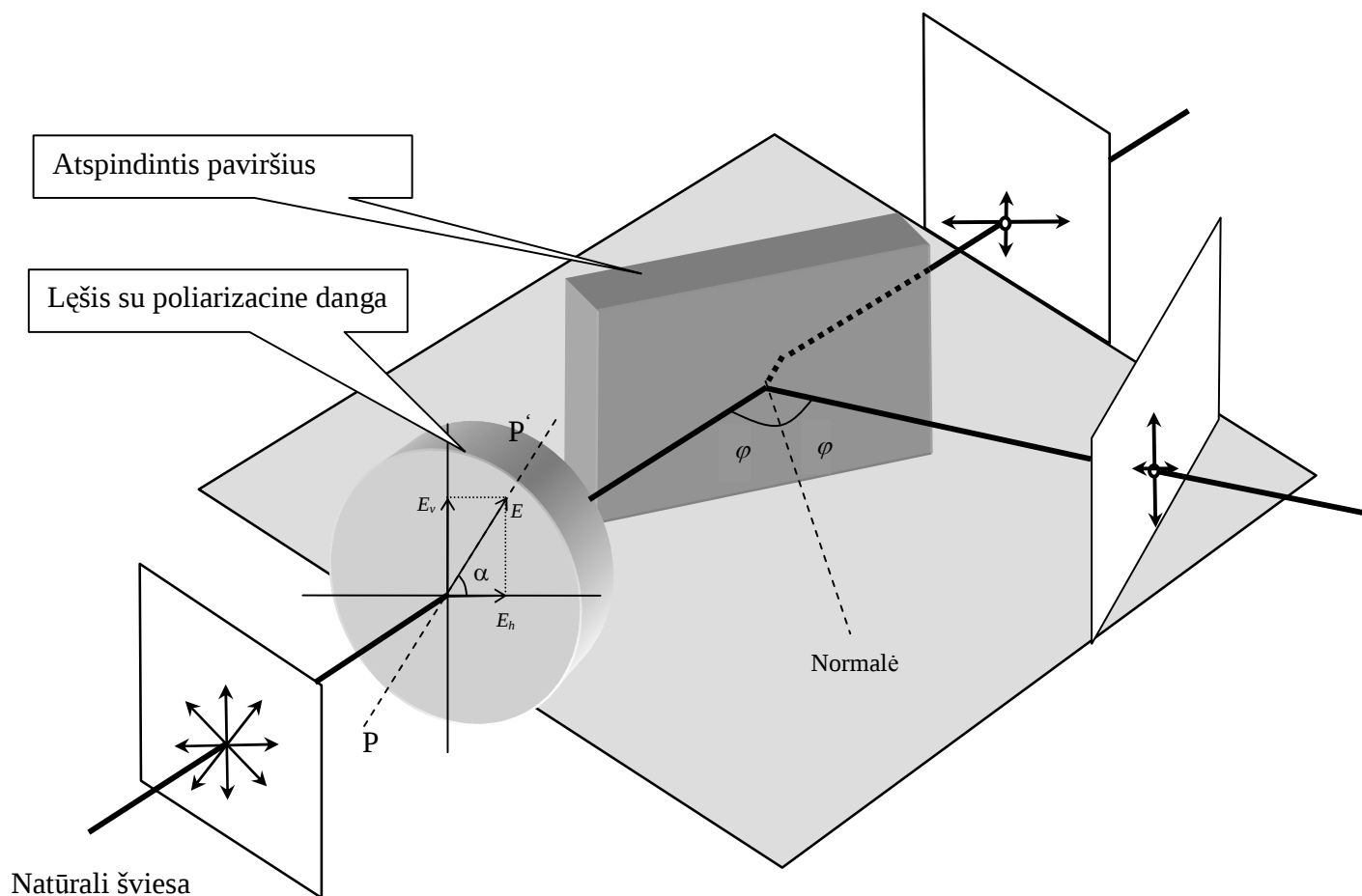
Remdamiesi Frenelio formules patyrinėkime atspindžio reiškinių.

PP' – lėšio su poliarizacine danga pagrindinio pjūvio plokštuma. Šviesa praėjusi pro lėšį yra poliarizuota plokštumoje PP'. Pro lėšį praėjusios poliarizuotos šviesos bangos elektrinio lauko stiprio vektorių E galima suskaidyti į dvi komponentes:

vertikaliąją $E_v = E \sin \alpha$ ir horizontaliąją $E_h = E \cos \alpha$.

Vertikaliąją komponentę yra lygiagreti atspindinčio paviršiaus plokštumai, o horizontalioji – statmena.

Kampas α nusako pagrindinio pjūvio plokštumos orientaciją atspindinčio paviršiaus atžvilgiu.



5.1 pav. Šviesos sklaidimo per poliarizatorių schema.

Pasinaudoję lūžio dėsnio kritimo kampą galime išreikšti per lūžio kampą. Atspindžio koeficientas išreiškiamas tokia formule:

$$\psi(\varphi) = a \sin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varphi)\right). \quad (5.1)$$

Šioje formulėje n_1 - lūžio rodiklis oro terpėje, kur sklinda šviesa, n_2 - lūžio rodiklis dielektriko į kurią krinta šviesos pluoštelis ir dalis spindulio atspindi, dalis praeina į šią terpę ir lūžta. φ - kritusio spindulio kampas su plokštuma, ψ - lūžusio spindulio kampas praėjęs dielektriko paviršiu.

Į Frenelio formulę $E_v = E_v \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)}$, vietoje ψ įstatome (5.1) formulę, gauname:

$$r_v = \frac{\sin^2\left(\varphi - a \sin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varphi)\right)\right)}{\sin^2\left(\varphi + a \sin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varphi)\right)\right)}, \quad (5.2)$$

r_v - aprašo atspindžio koeficientą šviesai poliarizuotai vertikaliajoje plokštumoje.

Analogiškai iš Frenelio formulės $E_h = \frac{\tan(\varphi - \psi)}{\tan(\varphi + \psi)}$, vietoje ψ įstatome (5.1) formulę ir

gauname:

$$r_h = \frac{\tan^2\left(\varphi - a \sin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varphi)\right)\right)}{\tan^2\left(\varphi + a \sin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varphi)\right)\right)}, \quad (5.3)$$

r_h - aprašo atspindžio koeficientą šviesai poliarizuotai horizontalioje plokštumoje.

Norint rasti suminį atspindžio koeficientą reikia sudėti vertikalioją ir horizontalioją dedamąją ir padalinti iš dviejų:

$$r = \frac{(r_v + r_h)}{2}. \quad (5.4)$$

Tiesiai poliarizuotą šviesą galima suskaldyti į dvi komponentes: vertikalojoje plokštumoje ir horizontaliojoje plokštumoje. Iš 5.1 pav. matyti, kad E vektoriaus projekcijos yra:

$$E_h = E \cos \alpha - \text{horizontalioji}; \quad (5.5)$$

$$E_v = E \sin \alpha - \text{vertikaloji}; \quad (5.6)$$

$I \approx E^2$ - šviesos intensyvumas proporcingas energijos kvadratui, todėl intensyvumai atitinkamai:

$$I_h \approx E^2 \cos^2 \alpha, \quad (5.7)$$

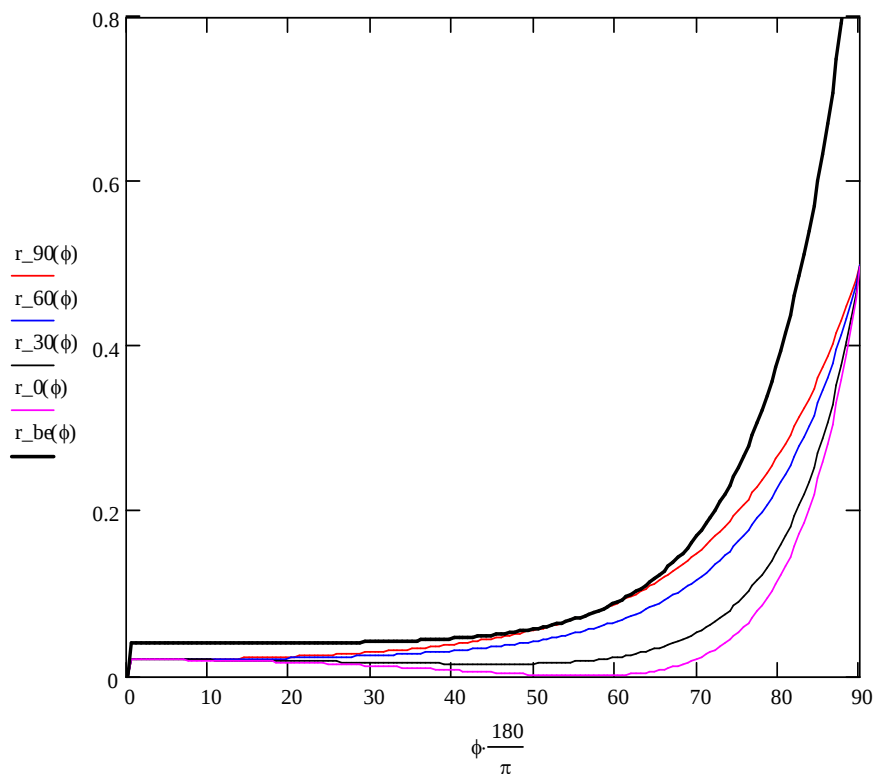
$$I_v \approx E^2 \sin^2 \alpha. \quad (5.8)$$

Taigi tiesiai poliarizuotą bangą išėjusią iš lęšio galime padalinti į dvi skirtingo intensyvumo tiesiai poliarizuotas statmenose plokštumose bangas.

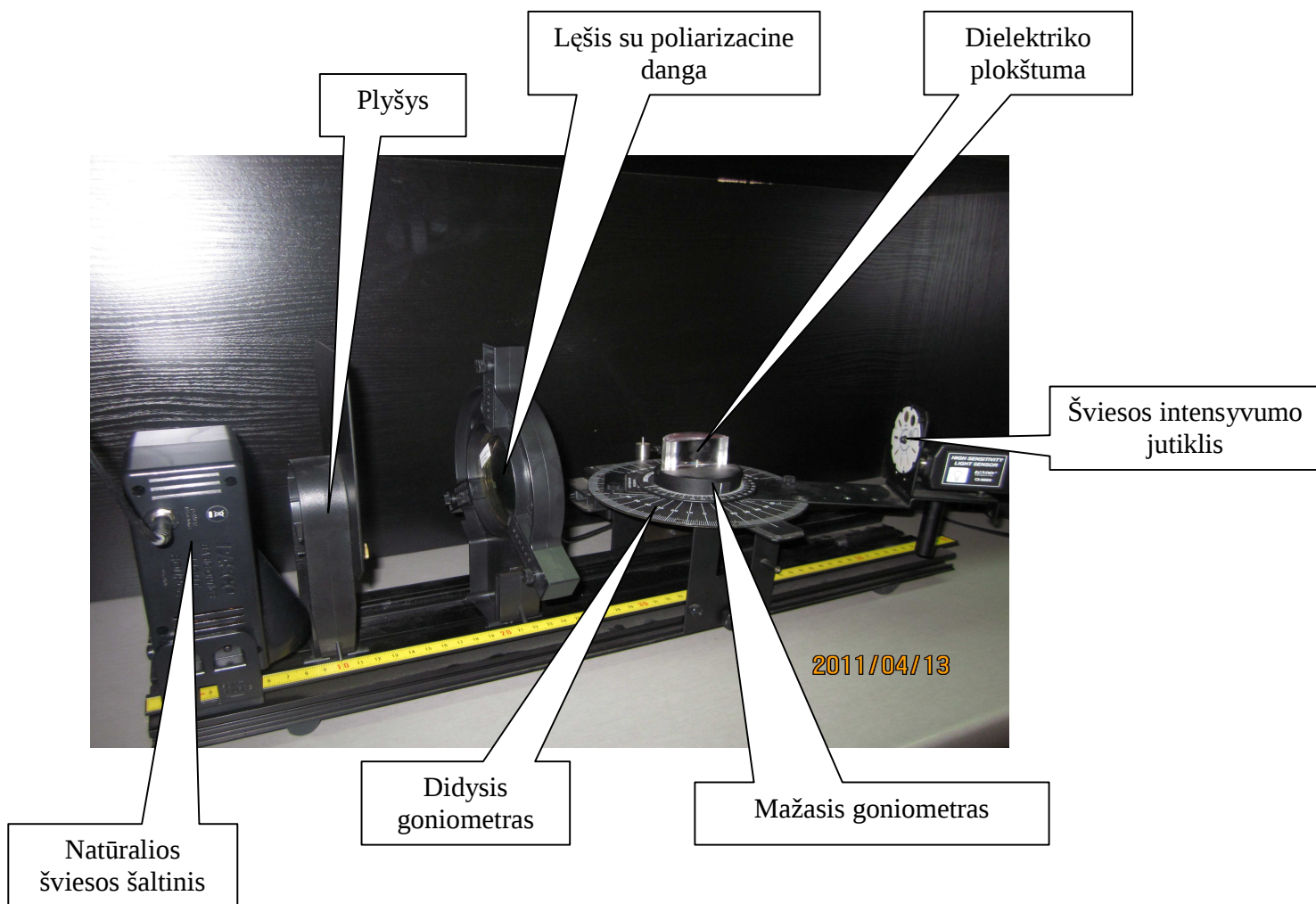
Atsižvelgiant į (5.7) ir (5.8) formules, (5.4) galime užrašyti taip:

$$r = \frac{\sin^2 \alpha \cdot r_v + \cos^2 \alpha \cdot r_h}{2}. \quad (5.9)$$

Pažiūrėkime, kaip atspindžio koeficientai priklauso nuo PP' orientacijos, kaip kampas $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$, rezultatą pavaizduosime grafiškai (5.2 pav.).



5.2 pav. Atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo, pagal Frenelio formules.

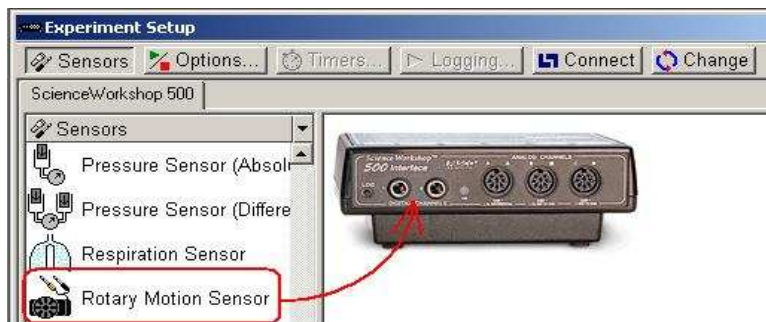


5.3 pav. Optinis suolelis, su bandymo reikalingais prietaisais

Ant optinio suolelio surinkome reikalingus prietaisus pavaizduotus 5.3 pav. Ir prijungėme jį prie kompiuterio su Data Studio programa.

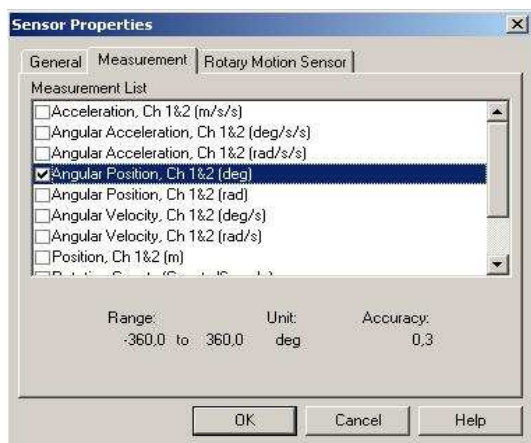
Prijungėme *ScienceWorkshop* sąsają prie kompiuterio. Įjungėme sąsają ir kompiuterį. Paleidome *DataStudio* programą.

Prie sąajos prijungėme sukamojo judėjimo jutiklį (*Rotary Motion Sensor*). *DataStudio* programoje *Experiment Setup* lange suradome sukamojo judėjimo jutiklio piktogramą, nutempėme ją ant sąajos paveikslėlio taip, kaip parodyta 5.4 pav.



5.4 pav. Nutempiame pele judesio jutiklio piktogramą ant sąajos.

Spragtelėjome dukart pele į prie sąajos atsiradusią sukamojo judėjimo jutiklio piktogramą, lentelėje pasirinkome kortelę *Measurement* (Matavimas) ir pažymėjome *Angular Position, Ch 1 & 2 (deg)* (Kampų matavimas) (5.5 pav.).

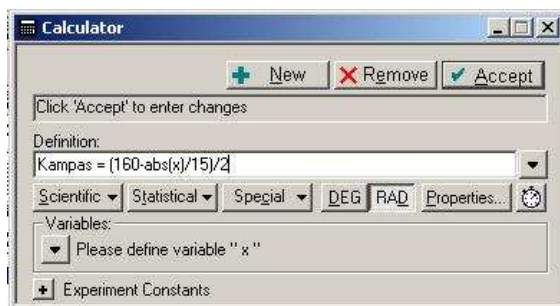


5.5 pav. Judesio jutiklio parametrų nustatymas.

Prie sąsajos prijungėme šviesos jutiklį (*Light Sensor*). DataStudio programoje su juo atlikome analogiškus veiksmus. Jo matavimų parametruose nustatome šviesos intensyvumo procentais (*Light Intensity, Ch A (% max)*) matavimą.

Experiment Setup lange paspaudėme *Options* ir kortelėje *Manual Sampling* (rankinis duomenų įrašymas) uždėjome varnelę ant *Keep data values only when commanded*. Tokiu būdu atliekant eksperimentą duomenys buvo įrašomi ne automatiškai, o pelės spragtelėjimu.

Paspaudėme mygtuką *Calculate*. Atsiradusiame skaičiuoklės lange įrašėme formulę, perskaičiuojančią sukamojo judėjimo jutiklio rodmenis: $Kampas = (abs(x)/15)*1/2+15$, kur 15- pradinė kampo ϕ vertė (5.1 pav.), santykis $(abs(x)/15)$ yra ašies/gionometro santykis. nurodome x vertę – *Angular Position*. Spaudėme *Accept* (5.6 pav.).



5.6 pav. Skaičiuoklės langas.

Displays meniu lange pasirinkome *Graph* ir sukūrėme grafiką. Ant Y ašies atidėdami šviesos intensyvumą, ant X – išmatuotoji kritimo kampo vertė.

Naudojome natūralios šviesos šaltinį, plyšys reikalingas, kad gautume siaurą šviesos pluoštą. Siauras šviesos spindulio pluoštas, kuris perėjo lęšį su poliarizacine danga, krito į dielektriko plokščiąjį paviršių, nuo kurio atspindėjęs tuo pačiu kampu spindulys patenka į šviesos intensyvumo jutiklį.

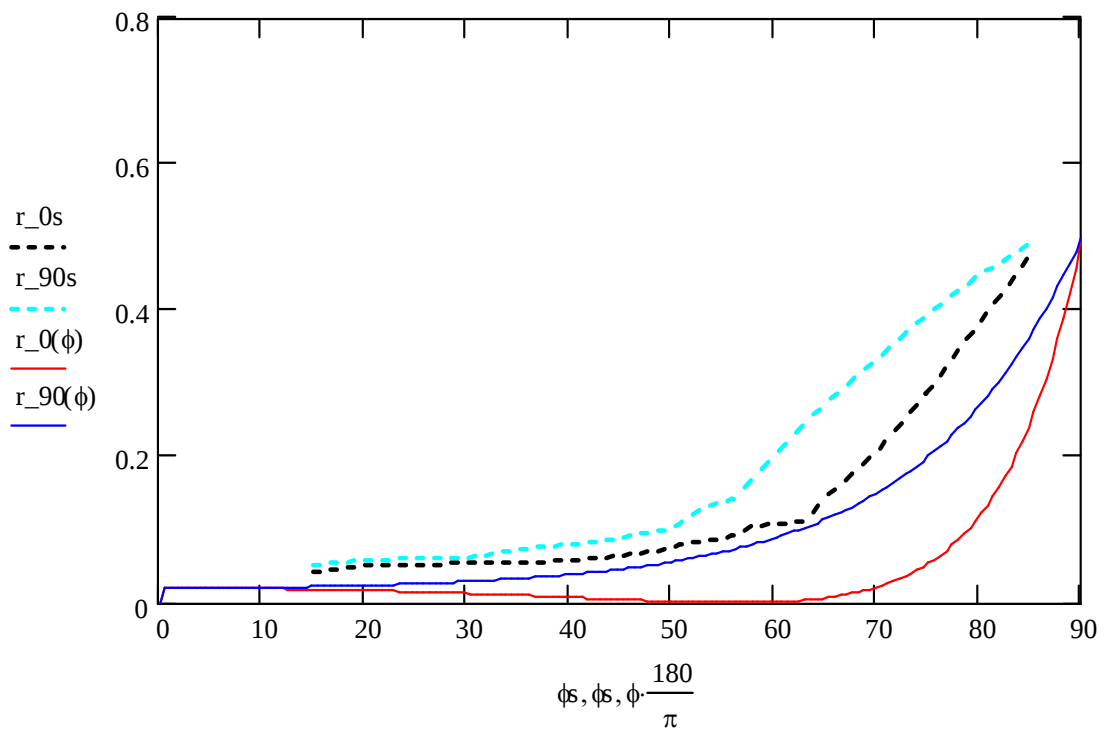
Kompiuteryje su programa DataStudio fiksavome šviesos intensyvumą, esant skirtingomis kampo ϕ vertėmis. Kritimo kampą ϕ keitėme nuo 15° iki 85° , kas 5° laipsnius. Keitėme plokštumos PP' orientaciją, keisdami kampą α atspindžio paviršiaus atžvilgiu (5.1 pav.).

Buvo panaudoti tokie atspindintys paviršiai: 1) stiklo paviršius; 2) metalinė šlifluota plokštelė; 3) metalinis lakuotas paviršius, imituojantis automobilio paviršių.

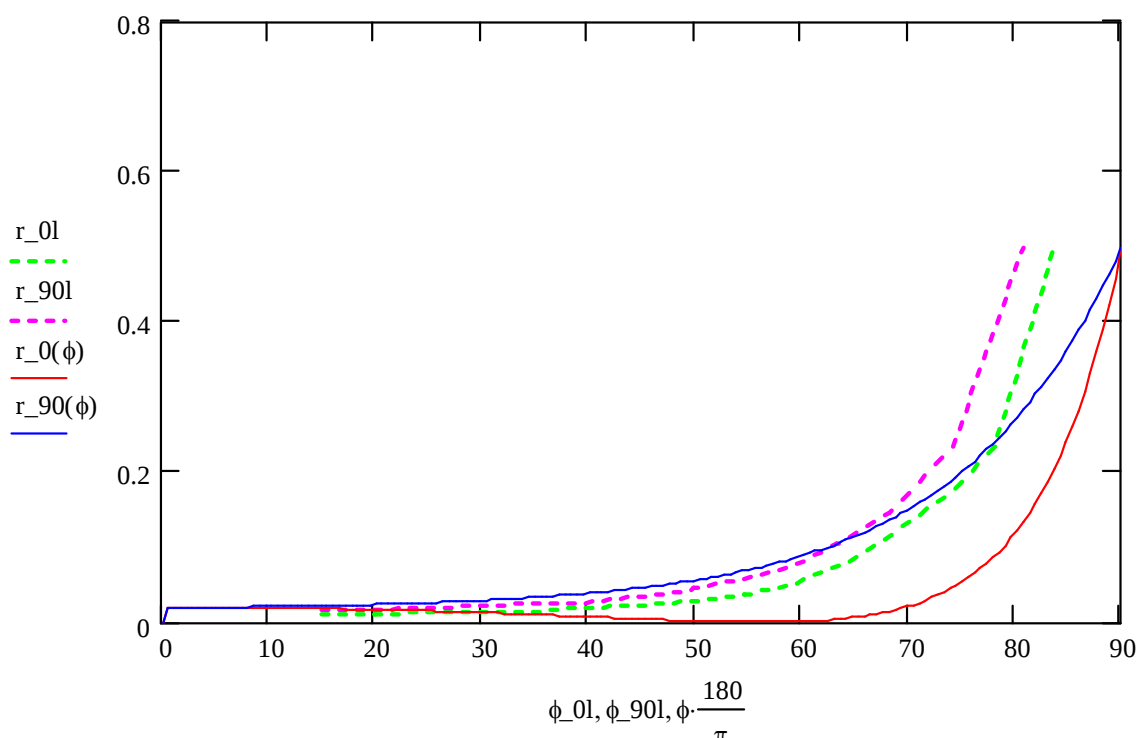
Pirmuoju bandymu patyrinėjome poliarizatoriaus orientacija kampų $\alpha=90^\circ$, $\alpha=0^\circ$

Kai $\alpha=90^\circ$ laipsnių, plokštuma PP' yra statmena horizontaliai plokštumai ir į stiklo paviršių patenka šviesa, kurioje yra tik vertikalioji komponentė E_v .

Kai $\alpha=0^\circ$ laipsnių, plokštuma PP' yra horizontali horizontaliajai plokštumai ir į stiklo paviršių patenka šviesa, kurioje yra tik horizontalioji komponentė E_h iš grafiko matyti, kad atspindžio koeficientai ypač skiriasi, kai ϕ artėja prie $\phi_B = 55^\circ$ (5.7 pav.).

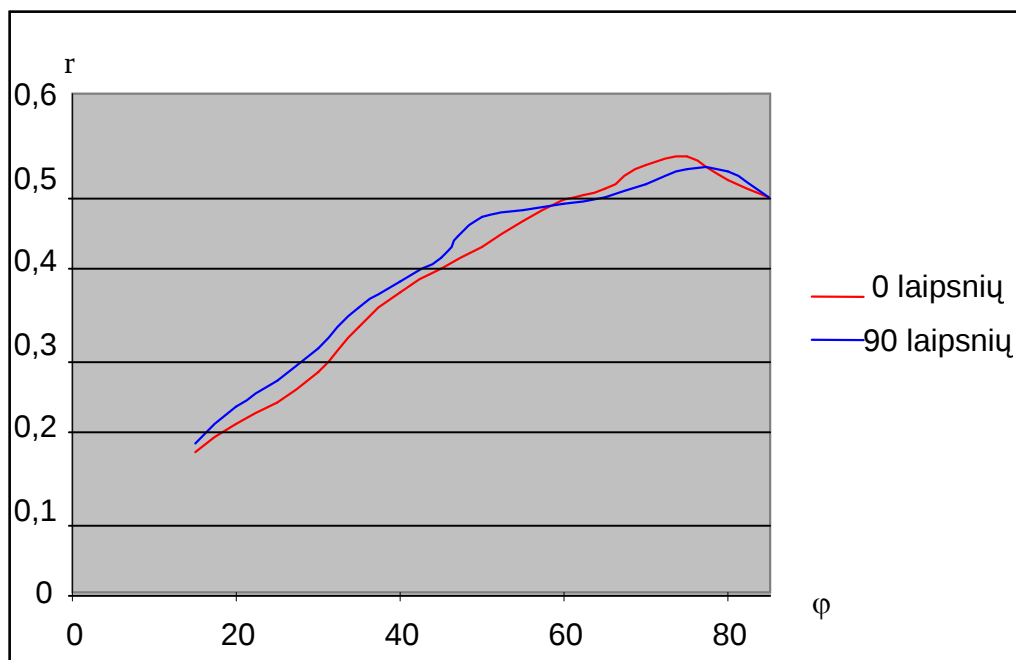


5.7 pav. Atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo, kai kampas $\alpha=0^\circ$ ir $\alpha=90^\circ$ (atspindžio paviršius stiklas). Brūkšninė linija vaizduoja eksperimento rezultatus, o ištisinė linija vaizduoja priklausomybes gaunamas pagal Frenelio formules.



5.8 pav. Atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo, kai kampas $\alpha=0^\circ$ ir $\alpha=90^\circ$ (atspindžio paviršius lakas). Brūkšninė linija vaizduoja eksperimento rezultatus, o ištisinė linija vaizduoja priklausomybes gaunamas pagal Frenelio formules.

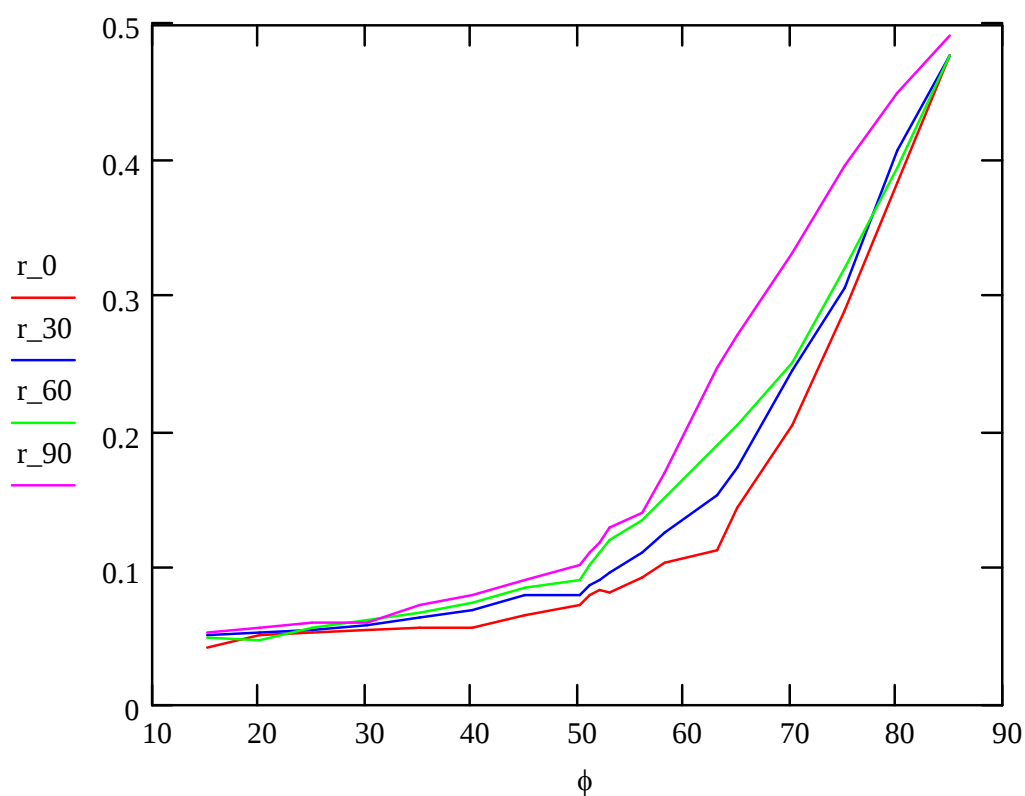
Trečiuoju bandymu vietoj dielektriko įstatėme metalinę plokštelę, šis bandymas atliekamas pastebėti skirtumą tarp metalo ir dielektriko paviršiaus poliarizacijos. Kaip matome metalo paviršius nuosekliai didėja didinant metalo plokštelės kampą ϕ , visomis poliarizatoriaus ašies orientacijos kryptimis α (5.9 pav.).



5.9 pav. Atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo, kai kampas $\alpha=0^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$, $\alpha=90^\circ$ (atspindintis paviršius metalas).

Palyginus 1 ir 2 grafikus galime teigti, kad pakeitus plokštumas ir pasikeitus jų fizikinėms savybėms, šviesos intensyvumas atspindžiui keičiasi. Dielektrikui turi įtakos poliarizatoriaus ašies orientacija, o metalui neturi.

Ketvirtuoju bandymu (5.10 pav.) tyrėme laku padengtą plokštelę. Lakas yra dielektrikas, todėl juo atliktas bandymas atitinka dielektriko (stiklo) bandymus. Kaip žinome vairuotojams yra aktualūs poliarizuotų lęšių akiniai, kurie galėtų padėti nuslopinti horizontalius spindulius, kurie akina vairuotojus nuo nulakuotų automobilių kėbulų.



5.10 pav. Atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo, kai $\alpha=0^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$, $\alpha=90^\circ$ (atspindintis paviršius lakas).

Šiuose bandymuose tyrinėjome kaip atspindžio koeficientas priklauso nuo poliaroido optinės ašies orientacijos, atspindinčio paviršiaus atžvilgiu. Eksperimento metu optinės ašies orientacija (α) buvo keičiama nuo 0° iki 90° , kas 30° .

IŠVADOS

1. Atspindys nuo stiklo paviršiaus

Jeigu šviesa būtų visiškai poliarizuota, kai kritimo kampas į atspindintį paviršių φ lygus Briusterio kampui φ_B ($\varphi = \varphi_B$), o lęšis orientuotas taip, kad jo poliarizacijos plokštuma yra horizontali (kampas $\alpha=0$), atspindžio koeficientas turėtų būti lygus 0. Mes gavome, kad atspindžio koeficientas nelygus nuliui $r=0,11$. Tai gali būti susiję su tuo, kad lęšio poliarizacinei dangai panaudota plėvelė yra per plona (plėvelės medžiaga pasižymi dichroizmu). Tirtas lęšis pagal šį parametą (poliarizacijos laipsnį) būtų priskiriamas 2, 3, 4 kategorijai, kadangi poliarizacinių akinių lęšių šviesos praleidimo faktoriaus verčių, išmatuotų lygiagrečiai ir statmenai poliarizacijos plokštumai, santykis yra didesnis kaip 8:1.

Gautos atspindžio koeficiento priklausomybės nuo kritimo kampo, kai šviesa atsispindi nuo stiklo paviršiaus rodo, kad lęšis šviesą poliarizuoja dalinai.

2. Atspindys nuo lako paviršiaus

Lako paviršiaus atspindžio koeficiento priklausomybė nuo kritimo kampo panašaus pobūdžio stiklo paviršiaus atspindžio koeficiento priklausomybę nuo kritimo kampo, kadangi lakas taip pat yra dielektrikas, kuris poliarizuoja šviesą.

3. Atspindys nuo metalinio paviršiaus

Gautos priklausomybės atspindžiui nuo metalo paviršiaus rodo, kad lęšio poliarizacijos plokštumos orientacija (ją nusako kampas α) atspindžio koeficientui įtakos praktiškai neturi. Taip yra, todėl, kad šviesai atsispindint nuo metalo, ji poliarizuojasi elipsiškai.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Vaizdai be akinių ir su poliarizuotais akiniais [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: <http://www.ingena.lt/1/info/208/>
2. POLAROID akiniai [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: http://sunglasses.lovetoknow.com/Polarized_Sunglasses
3. Vaizdas iš automobilio per įprastinius akinius ir pro poliarizuotus akinius nuo saulės [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: <http://www.optikospasaulis.lt/>
4. Poliarizuoto lęšio konstrukcija [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: http://www.tim.lt/index.php?page=lt_produktaai_polaroid_sungla
5. Cullen A. P. (2005). Contact Lenses and the Ophthalmohelioses. P. 33.
6. Poliarizuoti akiniai nuo saulės [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: <http://www.optikavizija.lt/>
7. Kuoras R. (2003). Akių grožiui ir sveikatai / Sveikata 2003 Nr. 4 (balandis) P. 38 – 39.
8. Lęšių savybės [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: <http://www.adseyewear.com/Lens-Materials/lens-materials.html>
9. Mineraliniai lęšiai [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: http://www.corning.com/ophthalmic/products/educational_info/corning_manufacturing_techniques/glass.aspx
10. Reaktoplastikai [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=thermosets>
11. Termoplastikai [žiūrėta 2011-02-15]. Prieiga per internetą: <http://www.google.lt/patents?hl=lt&lr=&vid=USPAT5458820&id=tJ0gAAAAEBAJ&oi=fnd&dq=thermoplastic+lens&printsec=abstract#v=onepage&q&f=falsehttp://www.luzerneoptical.com/top-wholesale-optical-labs/new-products/lens-material/polarized-lenses.html>
12. Lęšių gamybos procesai [žiūrėta 2011-02-17]. Prieiga per internetą: <http://www.freepatentsonline.com/4129628.html>
13. Šalna V. A. (2003). Optika.
14. Šviesos poliarizacija, sugertis ir sklaida [žiūrėta 2011-03-19]. Prieiga per internetą: <http://www.fizika.ktu.lt/Fizika/>
15. ISO 13666:1998/DAmD 1, Ophthalmic optics — Spectacle lenses — Vocabulary.

16. LST EN ISO 8980-3. Oftalmologinė optika. Neapipjauti užbaigti akinių lęšiai. 3 dalis. Techniniai praleidimo faktoriaus reikalavimai ir bandymo metodai (ISO 8980-3:2003).
17. Valentinavičius V. (2008). Fizika.