

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra optiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Polarizace světla a její využití v optometrii



Autor:	Tomáš Velešík
Studijní program:	B5345 – Specializace ve zdravotnictví
Studijní obor:	5345R008 – Optometrie
Forma studia:	prezenční
Vedoucí práce:	RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.
Termín odevzdání práce:	květen 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jaroslava Wagnera, Ph.D., a že jsem použil zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval RNDr. Jaroslavu Wagnerovi, Ph.D., za cenné rady a odborné vedení práce.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem „Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2018_007 a IGA_PrF_2019_005.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora	Tomáš Velešík
Název práce	Polarizace světla a její využití v optometrii
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra optiky
Vedoucí práce	RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2019
Abstrakt	Tato bakalářská práce se zabývá problematikou polarizace světla a jejího využití v optometrii a oční optice. V první části je popsána historie názorů na světlo a fyzikální podstata světla. V další části je popsán vznik, vlastnosti, druhy a způsoby polarizace. Poslední část popisuje možnost využití polarizace v praxi optometristy a v oční optice.
Klíčová slova	světlo, polarizace, polarizátor, polarizační testy, Polatest, brýlové čočky, polarimetrie, fotoelasticimetrie
Počet stran	48
Jazyk	Český

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname	Tomáš Velešík
Title	Polarization of light and its use in optometry
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Optics
Supervisor	RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.
The year of presentation	2019
Abstract	<p>This bachelor thesis deals with the problems of polarization of light and its use in optometry. The first part describes the history of light and physical nature of light. The second part describes formation, attribute and types of polarized light and method of polarization. The last part describes the possibility of using polarization in optometry and optics.</p>
Keywords	light, polarization, polarizer, polarized tests, Polatest, eyeglass lenses, polarimetry, photoelasticimetry
Number of pages	48
Language	Czech

Obsah

Úvod.....	7
1 Vývoj názorů na světlo	8
2 Světlo	10
3 Polarizace	11
3.1 Způsoby polarizace světla	11
3.1.1 Polarizace odrazem.....	12
3.1.2 Polarizace lomem.....	14
3.1.3 Polarizace dvojlomem	15
3.1.4 Umělý dvojlom.....	17
3.1.5 Polarizace absorbcí	17
3.1.6 Polarizace rozptylem	18
3.1.7 Polarizátory.....	18
3.2 Druhy polarizace	24
3.2.1 Eliptická polarizace	25
3.2.2 Lineární.....	25
3.2.3 Kruhová polarizace.....	26
4 Polarizace v praxi optometristy	28
4.1 Polarizační testy.....	28
4.1.1 Polarizační testy využívající negativní polarizaci	29
4.1.2 Polatest.....	30
5 Polarizace světla v oční optice.....	38
5.1 Polarizační brýlové čočky	39
Závěr	46
Zdroje.....	47

Úvod

V této práci bych chtěl předložit všeobecný přehled o principu polarizace, její aplikaci do běžného života, praxi optometristy a očního optika. Troufám si tvrdit, že polarizace v praxi optometristy zaujímá důležité místo při binokulárním dokorigování a dosažení zrakové pohody. Taktéž v běžném životě může využití polarizačních brýlí napomoci k dosažení lepších sportovních výsledků či dokonce v kritických situacích (např. řízení automobilu) nepřímo zachránit život z důvodu eliminace oslnění.

Ačkoliv je toto téma velice zajímavé a obsáhlé, je též velmi složité, proto jsem se snažil předložit toto téma co nejjednodušeji a téměř každý jev je doprovázen názorným obrázkem pro lepší pochopení.

Tato práce je koncipována tak, aby si ji mohl prostudovat každý, kdo se zajímá o toto téma. Jedinou podmínkou je, aby čtenář měl povědomí o základech optiky z důvodů pochopení jednoduchých optických jevů.

V úvodní části se zabývám historií názorů na světlo a fyzikální podstatu světla. Popisuji, že v historii nebyl stejný pohled na světlo jako dnes a vyskytovaly různé teorie, které však postupně nemohly obstát z důvodu, že neuměly popsat všechny optické jevy.

V následující části pojednávám o samotné polarizaci světla, zabývám se jejím vznikem, vlastnostmi, druhy, a způsoby polarizace.

V poslední části se věnuji samotné aplikaci polarizace do praxe optometristy – polarizačním testům a jejímu využití do praxe očního optika.

1 Vývoj názorů na světlo

Popsat fyzikální podstatu světla usilovala věda již od pradávna a názory prošly velmi složitým vývojem. Ani dnes nejsou všechny vlastnosti světla vysvětleny. Stále jsou zde některé otázky, na které nenalzáme odpověď.

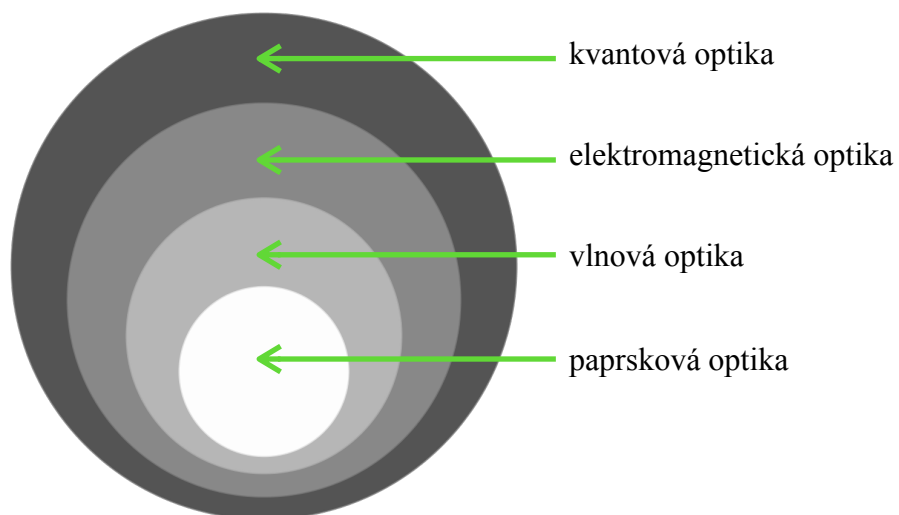
První, společností přijatá, definice světla byla formulována Aristotelem, a to ve znění: „Světlo je bezbarvá, statická matérie, jež je opakem tmy.”

První vědecky podložené teorie se objevily až v 2. polovině 17. století, kdy mezi sebou soupeřily dva názory. První představa, kterou vytvořil Christiaan Huygens, předpokládala, že světlo je podélné vlnění ve speciálním prostředí vyplňující celý prostor (světelný éter). Díky ní jsme mohli jednodušeji objasnit zákon lomu při přechodu světla ze vzduchu do vody nebo skla. Christiaan Huygens byl však zastíněn Isaacem Newtonem, který se stal nejvýznamnějším fyzikem tehdejší doby, hlavně díky spisu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, kde byly popsány zákony gravitace a pohybové zákony. Jeho korpuskulární (částecovou) teorii popsal ve svém spisu *Optika*. Ta předpokládala, že světlo je proud částic. Hlavně díky věhlasu Isaaca Newtona byla tato teorie považována za správnou až do 19. století.

Na začátku 19. století byla vypořádována interference a ohyb světla, ale pomocí Newtonovy teorie se tyto jevy nedaly vysvětlit, tudíž nemohla obstát. Pomocí vlnové teorie se však tyto jevy vysvětlit daly. Étienne-Louis Malus, který prováděl experimenty k ověření Huygensových teorií, zjistil, že světlo ve vakuu je vždy příčné, což je v rozporu s Huygensovou teorií. V roce 1817 došlo k revizi vlnové teorie a byla nahrazena příčným vlněním díky Thomasovi Youngovi. Následovala *Maxwellova teorie elektromagnetického pole*, kde je světlo vysvětleno jako nestacionární elektromagnetické pole. Tato teorie však není schopna vysvětlit podstatu interakcí záření a látky. Poté tedy vznikla kvantová teorie světla, kde je světlo chápáno jako soubor fotonů, jež však nepatří už do klasické optiky. [1, 2]

Dnes můžeme optiku rozdělit do několika skupin: na paprskovou, která je limitním případem vlnové optiky, na vlnovou, která je limitním případem elektromagnetické optiky, a na kvantovou optiku, která objasňuje fyzikální podstatu světla nekomplexněji, avšak nepatří již do klasické optiky. [1]

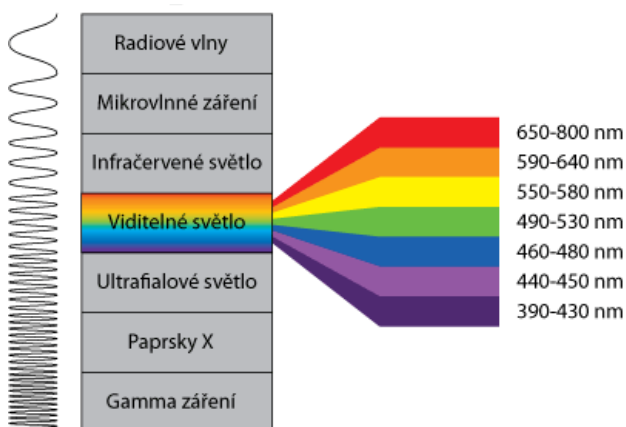
Pro lepší pochopení komplexnosti jednotlivých teorií můžeme využít obrázek 1.



Obrázek 1: Skupiny optik.

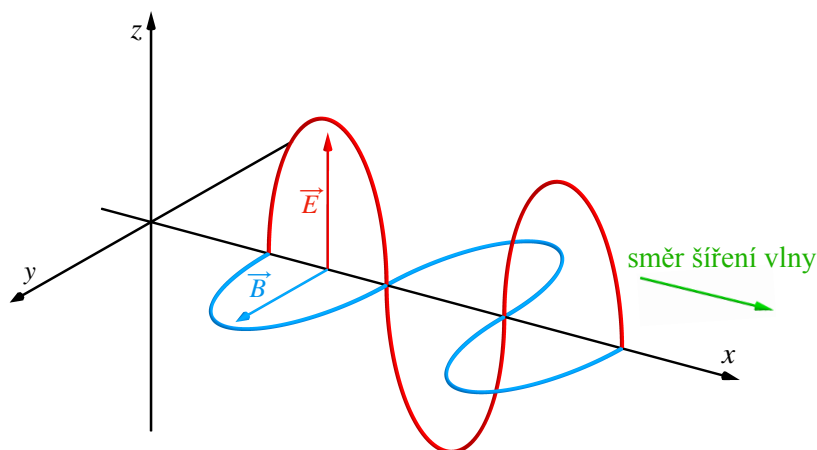
2 Světlo

Světlo je část elektromagnetického spektra o vlnové délce 390–800 nm, která je viditelná lidským okem. Člověk je chopen vnímat pouze elektromagnetické záření o určité vlnové délce a za pomoci receptorů v oku (tyčinky a čípky) se vytváří vjem určité barvy. Jednotlivé barvy, vyskytující se ve světelném spektru, se nazývají spektrálními barvami a odpovídají jim určité intervaly vlnových délek elektromagnetického záření (viz obr. 2).



Obrázek 2: Rozdělení elektromagnetického záření.

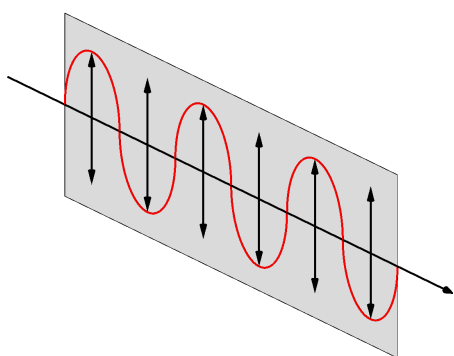
Elektromagnetickou vlnu můžeme rozdělit na dvě složky. První složkou je vektor intenzity elektrického pole značený \vec{E} , druhou složkou je vektor magnetické indukce značený \vec{B} . Tyto složky jsou na sebe kolmé, zároveň jsou kolmé na směr šíření světla. Vektory \vec{E} a \vec{B} jsou také ve fázi, což znamená, že mají svá minima a maxima ve stejném okamžiku, jak lze vidět na obrázku 3.



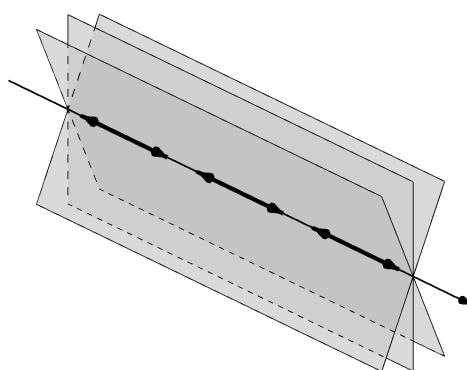
Obrázek 3: Složky elektromagnetického pole.

3 Polarizace

Pomocí interference a ohybu světla lze zjistit, že světlo má povahu elektromagnetických vln, avšak zjistit nelze, jestli se jedná o vlnění příčné, nebo podélné. U příčného vlnění kmitají vlny v určité rovině a v různých rovinách proložených směru šíření se toto vlnění chová rozdílně (viz obr. 4.1). U podélného vlnění je tomu naopak. V různých rovinách proložených směru šíření je chování tohoto vlnění stejné (viz obr. 4.2). [3]



Obrázek 4.1: Příčné vlnění.



Obrázek 4.2: Podélné vlnění.

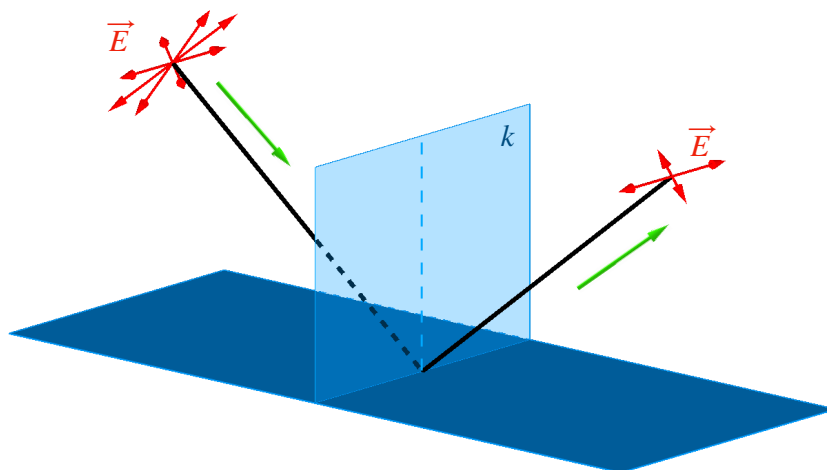
Světlo vysílané z přirozeného zdroje nemá žádné vlastnosti, díky kterým by se dalo říci, jde-li o vlnění příčné nebo podélné. Fáze a směr amplitud jsou zcela nepravidelné, takže chování světla pro jakoukoliv proloženou rovinu je rovnocenné. Existuje ale několik způsobů, kterými se dá dokázat, že se jedná o vlnění příčné. Světlo se musí odrazit, nebo projít určitým optickým prostředím.

3.1 Způsoby polarizace světla

Jak již bylo řečeno, světlo z přirozeného zdroje se musí zpolarizovat, musí nastat alespoň jeden z jevů: *odraz, lom, dvojlom, selektivní absorpce a rozptyl světla*. Podstatou těchto jevů je, že po odrazu nebo průchodu optickým prostředím začne být amplituda a fáze vln pravidelná. Konkrétními jevy se budeme zabývat v následujících podkapitolách.

3.1.1 Polarizace odrazem

Uvažujme nepolarizované světlo dopadající na rozhraní dvou prostředí pod úhlem α . Paprsek se odrazí pod úhlem α' , zároveň bude tento paprsek částečně lineárně polarizovaný a vektor elektrické intenzity \vec{E} bude převážně kolmý k rovině dopadu (viz obr. 5).

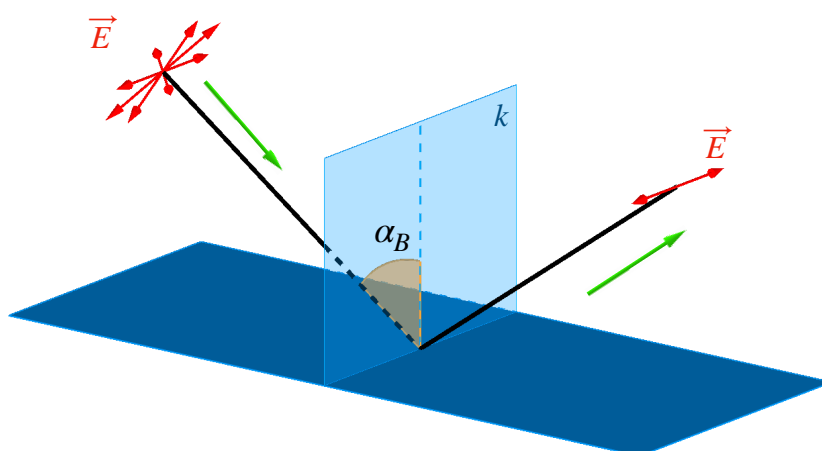


Obrázek 5: Částečná polarizace odrazem.

Míra polarizace odraženého paprsku souvisí s úhlem dopadajícího paprsku na rozhraní dvou prostředí.

Odražený paprsek je úplně polarizovaný, pokud dopadající paprsek bude dopadat pod tzv. *Brewsterovým úhlem* (viz obr. 6).

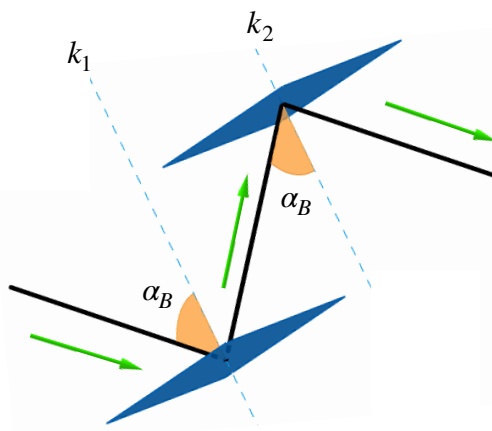
$$\alpha_B = \arctan \frac{n'}{n},$$



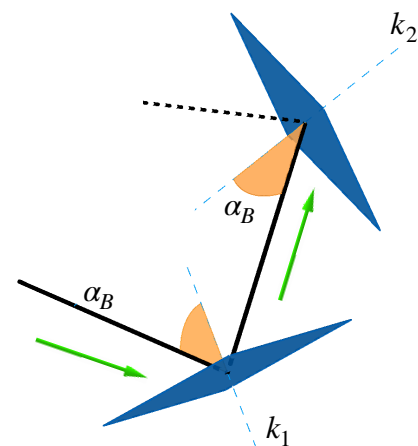
Obrázek 6: Úplná polarizace odrazem

kde n je index lomu prostředí, kterým se světlo šíří a n' je index lomu prostředí od kterého se světlo odráží. Jelikož n' závisí na vlnové délce světla λ , je α_B pro každou vlnovou délku jiný, proto přirozené světlo, které se skládá z více monochromatických vln, není nikdy odrazem úplně polarizováno.

Pro ověření správnosti Brewsterova úhlu můžeme použít *Malusův pokus*, kde použijeme dvě skleněné destičky. Nejdříve provedeme tento pokus pro destičky, kde kolmice k_1 a k_2 k rozhraním vzduch–destička jsou rovnoběžné. Monochromatický paprsek dopadá na první skleněnou destičku pod α_B , odráží se a dopadá na druhou skleněnou destičku taktéž pod α_B . Po odrazu od druhé destičky je intenzita paprsku maximální (viz obr. 7.1). Dále provedeme tento pokus znovu, avšak jednu destičku otočíme o 90° . Kolmice k_1 a k_2 jsou v tomto případě mimoběžné a navzájem kolmé. Paprsek dopadá na první destičku, odráží se a dopadá na druhou destičku. Nicméně po odrazu od druhé destičky je intenzita paprsku minimální, protože destičky jsou zkříženy (viz obr. 7.2).



Obrázek 7.1: Malusův pokus s rovnoběžnou polohou destiček.



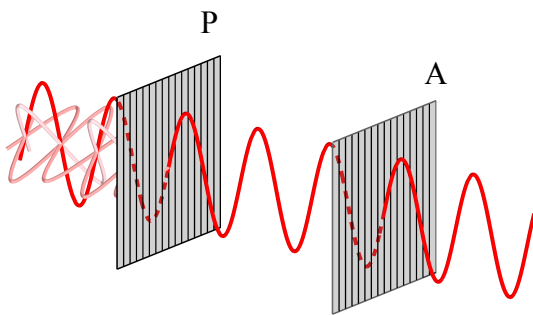
Obrázek 7.2: Malusův pokus se zkříženou polohou destiček.

Na základě tohoto pokusu byl formulován Malusův zákon pro intenzitu světla při průchodu polarizačním filtrem. Tento zákon nám říká, že intenzita světla po průchodu polarizačním filtrem je závislá na úhlu mezi polarizačními rovinami. Výsledná intenzita světla po průchodu polarizačním filtrem je dána rovnicí

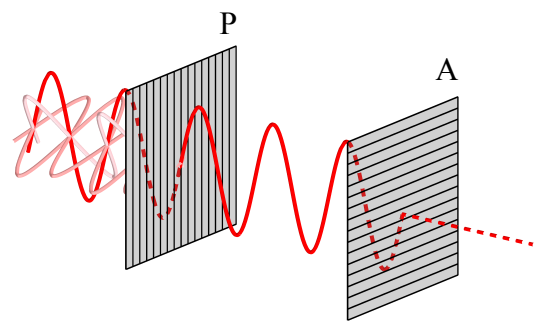
$$I = I_0 \cos^2(\theta),$$

kde I_0 je intenzita světla před průchodem polarizačního filtru a θ je úhel mezi polarizačními rovinami. Pokud na polarizační filtr dopadá neupolarizované světlo, potom intenzita I se rovná polovině hodnoty intenzity paprsku I_0 .

Pro lepší pochopení, proč intenzita paprsku je závislá na poloze destiček, bychom si mohli uvést podobný příklad, ovšem za použití dvou polarizačních filtrů. Polarizační filtry můžeme představit jako žaluzie, které propouštějí kmity pouze v jednom směru. První polarizační destičku nazýváme polarizátor a druhou nazýváme analyzátor. Při průchodu nepolarizovaného světla přes polarizátor se toto světlo zpolarizuje a směr amplitudy \vec{E} se stane pravidelným. Při průchodu přes analyzátor je důležitá vzájemná poloha obou destiček. Pokud je poloha rovnoběžná, po průchodu analyzátozem je intenzita paprsku maximální (viz obr. 8.1). Pokud jsou však polarizátor a analyzátor ve zkřížené poloze, je intenzita paprsku minimální (viz obr. 8.2).



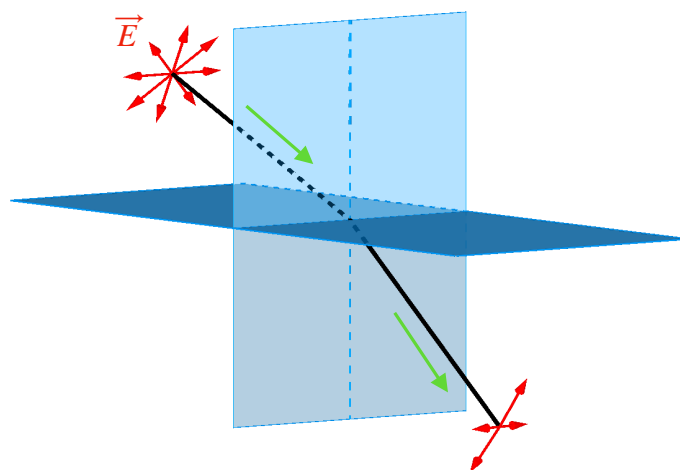
Obrázek 8.1: Polarizační filtry v rovnoběžné poloze.



Obrázek 8.2: Polarizační filtry ve zkřížené poloze.

3.1.2 Polarizace lomem

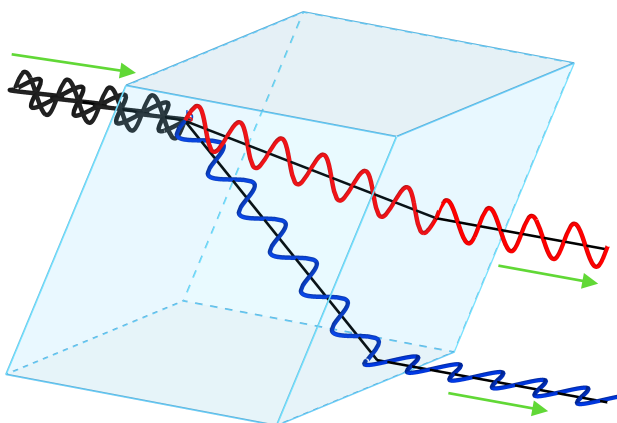
Uvažujme nepolarizované světlo dopadající na rozhraní dvou prostředí pod úhlem α . Paprsek projde přes rozhraní a šíří se dále pod úhlem α' , zároveň bude tento paprsek částečně lineárně polarizovaný a vektor elektrické intenzity \vec{E} bude převážně rovnoběžný s rovinou dopadu (viz obr. 9). Lomem nemůžeme nikdy docílit úplné polarizace. Zvýšit míru polarizace můžeme pouze opakováním lomu. [3]



Obrázek 9: Polarizace lomem.

3.1.3 Polarizace dvojlomem

Optická prostředí dělíme na prostředí izotropní a anizotropní. V prvním zmíněném prostředí se šíří světlo stejnou rychlostí bez ohledu na jeho směr. Mezi taková prostředí řadíme např. sklo, většinu kapalin a krystaly krychlové soustavy. V anizotropním prostředí je rychlost světla závislá na směru jeho šíření. Pouze v tomto prostředí dochází k přirozenému dvojlomu.



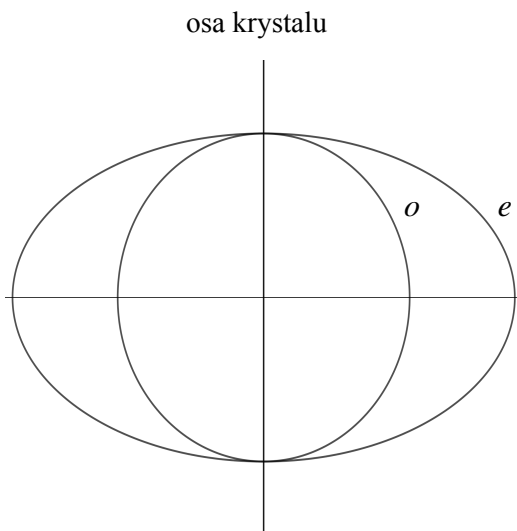
Obrázek 10: Polarizace dvojlomem.

Erasmus Bartholinus v roce 1669 zjistil, že díváme-li se na předměty přes krystal islandského vápence, vidíme je dvojitě. Tento jev vysvětlil teprve Christiaan Huygens roku 1690 ve svém díle *Traité de la lumière*. Paprsek dopadající na plochu islandského vápence se rozštěpí na dva paprsky, řádný (*ordinary*) a mimořádný (*extraordinary*). Narozdíl od mimořádného paprsku, pro řádný platí zákon lomu a šíří se stejnou rychlostí nezávisle na směru. Pro mimořádný naopak platí, že se rychlost šíření

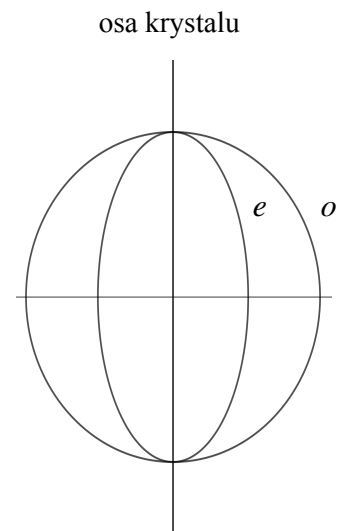
odvíjí od jeho směru. Pro každý paprsek je jiný index lomu, tedy se šíří různou rychlostí. Tyto paprsky jsou také dokonale lineárně polarizovány a směry vektorů elektrických intenzit \vec{E} jsou po přechodu z prostředí anizotropní látky vzájemně kolmé. [3]

U některých krystalických látek existuje jeden směr, v němž nenastává štěpení procházejícího světla, takové krystaly se nazývají jednoosé. Jedná se konkrétně o krystaly soustavy čtverečné a šesterečné. V praktické optice mají význam zejména krystaly jednoosé, konkrétně křemen a vápenec. Dále můžeme tyto jednoosé krystaly dělit na kladné a záporné. U kladných se index lomu pro mimořádný paprsek zvyšuje se zvětšující se úchytkou od optické osy krystalu, u záporných se naopak snižuje. [3]

Christiaan Huygens učinil předpoklad, že vlnoplocha mimořádného paprsku je rotační elipsoid, u záporných krystalů ($v_e > v_o$) je opsán ploše kulové (viz obr. 11.1), kdežto u kladných krystalů ($v_e < v_o$) je uvnitř kulové vlnoplochy (viz obr. 11.2).



Obrázek 11.1: Vlnoplocha záporného krystalu.



Obrázek 11.2: Vlnoplocha kladného krystalu.

V jiných krystalických látkách existují dva směry a příslušné krystaly se nazývají dvojosé. Krystaly soustavy kosočtverečné, jednoklonné a trojklonné jsou dvojosé. [3]

3.1.4 Umělý dvojlom

V izotropním prostředí může taktéž dojít k dvojlomu, ale pouze za předpokladu, že je tato izotropie narušena mechanicky, elektricky nebo teplotou a potom mluvíme o dvojlomu umělém. Nejčastěji se setkáváme s dvojlomem, který vzniká mechanickým působením na materiál, a je většinou nevídaný. Často se vyskytuje u optických skel, protože dokonale jednodolmné optické sklo je velmi těžné vyrobit. [3]

Při tlaku na čočku se molekuly v materiálu ve směru tlaku k sobě přibližují a v tomto směru se index lomu zvětšuje. Ve směru kolmém se naopak index lomu zmenšuje. Při tahu se molekuly v materiálu ve směru tahu od sebe vzdalují, v tomto směru se index lomu zmenšuje a ve směru kolmém se index lomu zvětšuje. V obou případech je ve směru tahu nebo tlaku osová souměrnost. Oba směry mají tedy totožnou úlohu, jakou má optická osa u jednoosých krystalů. Lze učinit závěr, že při tahu se chová pružné těleso z optického hlediska jako kladný, kdežto při tlaku jako záporný jednoosý krystal, jehož optickou osou je v obou případech směr tahu nebo tlaku. Tento jev se nazývá *fotoelasticita*.

Další způsob, díky kterému vyvoláme umělý dvojlom, je působení elektrického pole. Pokud se kapalina nachází mezi deskami nabitého kondenzátoru, kapalina se chová jako jednoosý krystal s osou rovnoběžnou se směrem elektrického pole, tento jev nazýváme *Kerrův elektrooptický jev*.

3.1.5 Polarizace absorbcí

Některé krystaly jsou charakteristické tím, že pohltní jeden z paprsků, jenž vznikl dvojlomem. Jako zástupce přírodně vytvořeného polarizačního filtru můžeme vybrat turmalín. Již 2 mm turmalínová destička nám paprsek rozdělí na řádný a mimořádný a zároveň řádný paprsek pohltní. Touto destičkou tedy projde pouze paprsek mimořádný, který je zeslabený absorpcí. Jedná se o absorpci selektivní, tudíž je propuštěné světlo zabarvené. Tento jev nazýváme *dichroismus*. Nejvyužívanější syntetickou látkou je dnes *herapathit*. [1, 3]

3.1.6 Polarizace rozptylem

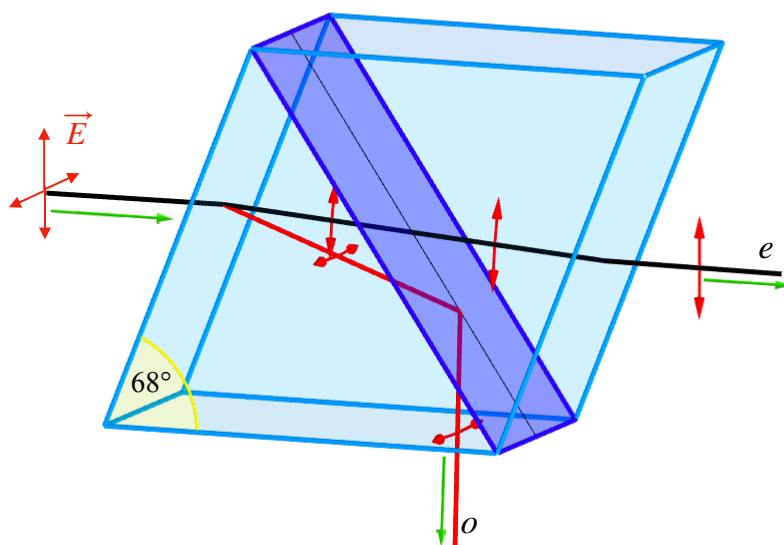
Při rozptyle světla nastává taktéž polarizace světla. Světlo se mnohočetně odráží a ohýbá. Při průchodu nečirým prostředím se světlo částečně polarizuje a vektor \vec{E} kmitá v rovině kolmé k rovině dopadu a směru pozorování. Míra polarizace je závislá na velikosti částic v prostředí, čím jsou částice větší, tím je míra polarizace menší. [3]

3.1.7 Polarizátory

Polarizátory dělíme na dvě skupiny, a to na jednopaprskové využívající pouze jeden paprsek dvojlomu, nebo na dvoupaprskové využívající oba tyto paprsky. Tyto polarizátory můžeme využít nejen jako polarizátory, ale taktéž jako analyzátory polarizovaného světla. Viz podkapitola 3.1.1.

a) Nikolův hranol

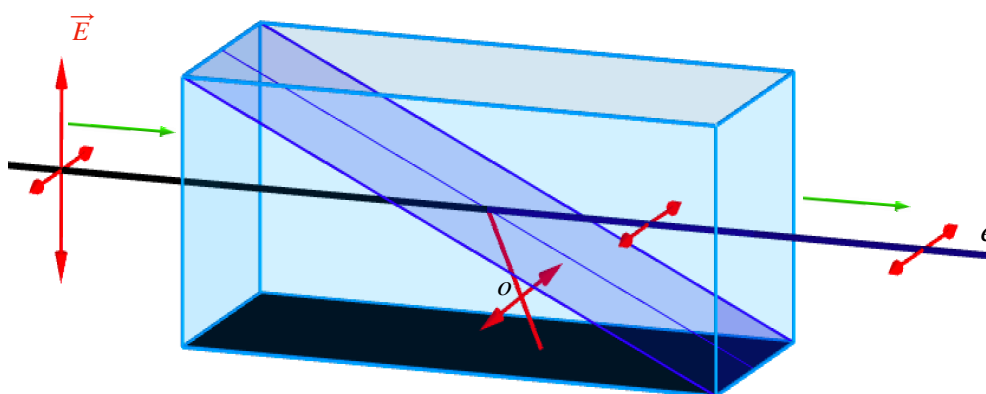
Klenec islandského vápence je upraven tak, aby ostrý úhel tohoto hranolu byl 68° , následně je rozpůlen na dvě stejné poloviny a zpět slepen pomocí kanadského balzámu. Nepolarizované světlo dopadá na tento hranol pod úhlem 22° . Řádný paprsek se láme podle zákona lomu a díky tomu, že dopadá na kanadský balzám pod větším úhlem, než je 68° , dochází k úplnému odrazu. Následně se absorbuje krytem Nikolova hranolu. Jelikož mimořádný paprsek se neláme podle zákona lomu, projde hranolem a jeho kmitosměr splývá s rovinou hlavního řezu (viz obr. 12). [1, 3]



Obrázek 12: Nikolův hranol s osou krystalu orientovanou vertikálně.

b) Glanův-Thompsonův hranol

Glanův-Thompsonův hranol je pouze vylepšením Nikolova hranolu, kde nepolarizované světlo dopadá na optické rozhraní, které tvoří tmelená vrstva, kolmo na stěnu hranolu. Jak řádný, tak i mimořádný paprsek prostoupí až k rozhraní s kanadským balzámem, kde mimořádný paprsek prostoupí, zatímco se řádný paprsek úplně odrazí a následně pohltí začerněnou stranou tohoto hranolu (viz obr. 13). [1, 3]

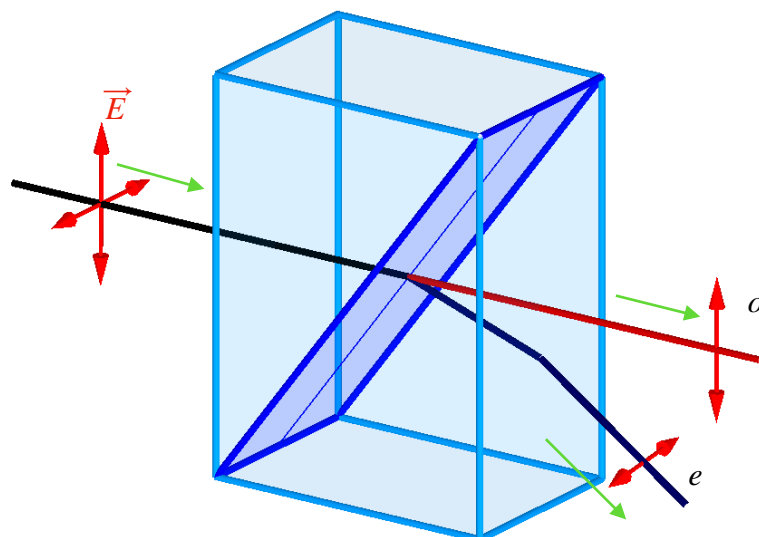


Obrázek 13: Glanův-Thompsonův hranol s osou krystalu orientovanou horizontálně, kolmé ke směru šíření paprsku.

Dalšími jednopaprskovými polarizátory jsou např.: *Foucaultův hranol*, *Glanův hranol*, *Arhezův hranol* nebo *Braceův polarizátor*. [3]

c) Rochonův hranol

První zástupce dvoupraskových polarizátorů, Rochonův hranol, se skládá ze dvou hranolů islandského vápence. Optická osa prvního hranolu je rovnoběžná se směrem šíření paprsku, naopak optická osa druhého hranolu je kolmá na směr šíření (v případě obr. 14 horizontálně). Důsledkem tohoto rozložení projde nepolarizovaný paprsek až na rozhraní dvou hranolů, kde se rozdělí na dva polarizované paprsky: řádný a mimořádný. Paprsek řádný projde Rochonovým hranolem nevychýlen, naopak mimořádný se po průchodu tímto hranolem vychýlí (viz obr. 14). [1, 3]

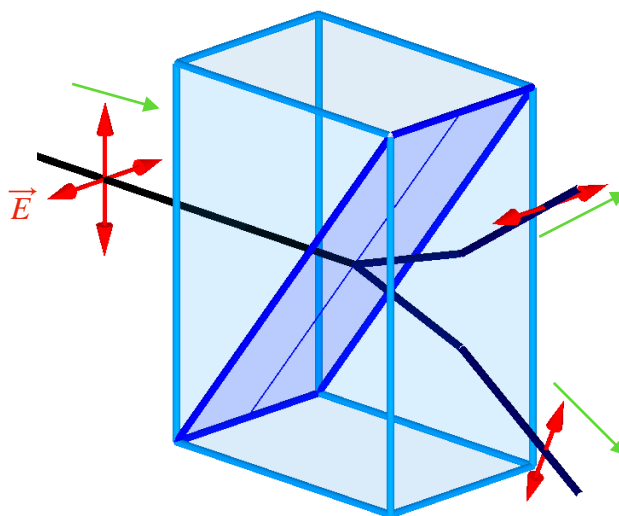


Obrázek 14: Rochonův hranol.

d) Wollastonův hranol

Druhým zástupcem je Wollastonův hranol, který má stejný design jako hranol Rochonův. Rozdíl je však v optických osách těchto hranolů. Osy obou hranolů jsou kolmé na směr šíření paprsku, a kolmé navzájem. Konkrétně v našem obrázku 15 je osa prvního hranolu orientovaná vertikálně a druhého horizontálně.

Po dopadu paprsku na stěnu prvního hranolu vznikne řádný a mimořádný paprsek. Tyto paprsky jdou hranolem tímž směrem rychlostí v_e a v_o , a to kolmo k optické ose. Po průchodu do druhého hranolu se řádný paprsek změní na mimořádný a naopak, protože jsou optické osy obou hranolů navzájem kolmé (viz obr. 15). [3]



Obrázek 15: Wollastonův hranol.

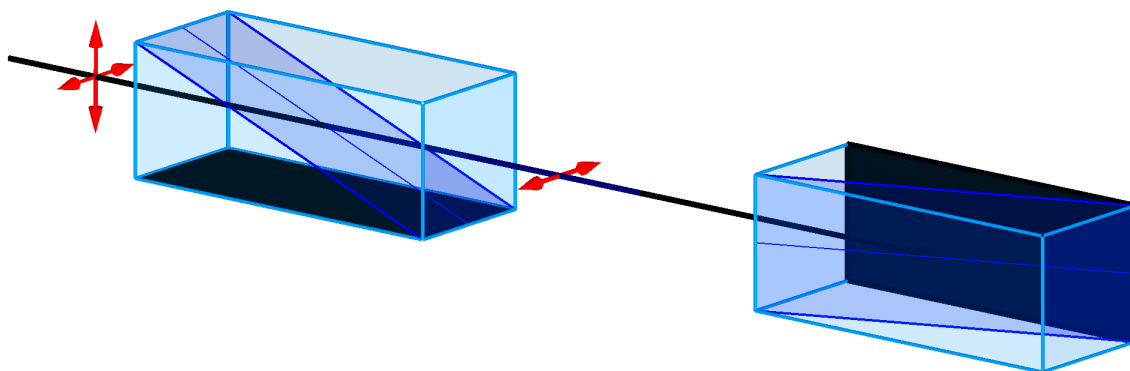
Využití polarizátorů

Hranolové polarizátory se používají primárně v laboratorních vyšetřeních díky kvalitě polarizace, kterou tyto hranoly vytvoří. V běžném životě se s nimi až tak neseznamujeme z důvodu jak finančního (větší krystal islandského vápence je vzácný, tudíž drahý), tak z důvodu, že tyto polarizátory mají poměrně malé zorné pole.

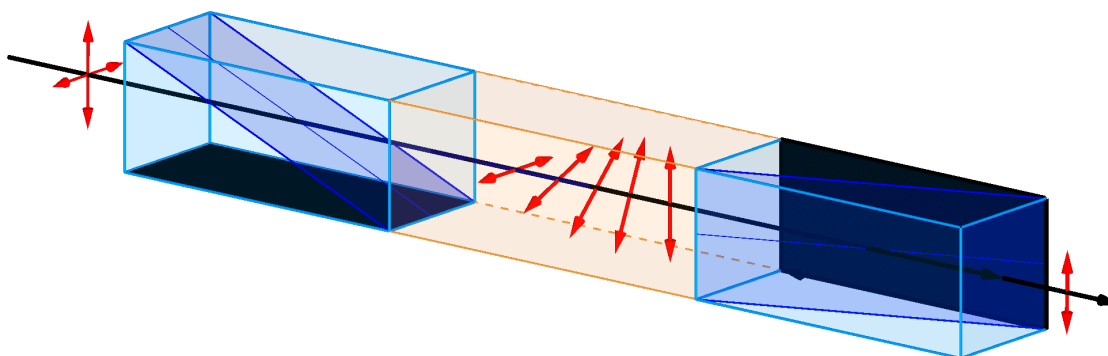
a) Polarimetrie

Polarimetrie je věda, která zkoumá opticky aktivní látky, látky schopné stáčet kmitovou rovinu polarizovaného světla, tomuto jevu říkáme *rotační polarizace*. [12]

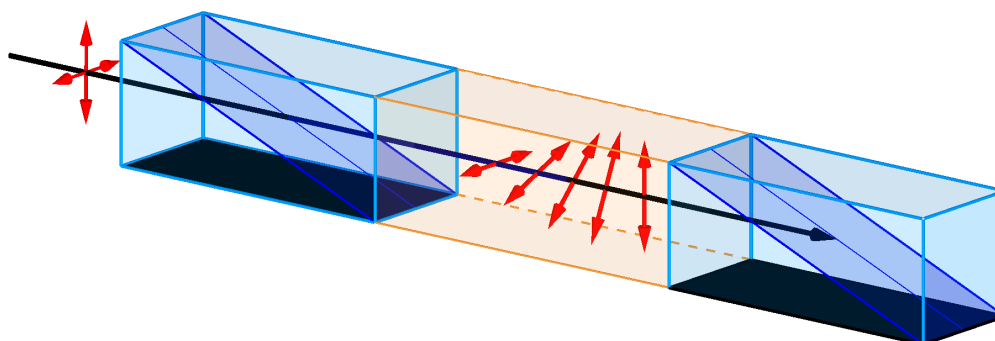
Pomocí polarimetru jsme schopni zjistit stočení roviny polarizovaného světla po průchodu touto látkou. Vytvoříme polarimetr tvořený z polarizátoru a analyzátoru, které jsou ve zkřížené poloze. Poté umístíme zkoumaný objekt mezi tento polarizátor a analyzátor. Princip je takový, že přes analyzátor neprojde žádné světlo z důvodu zkřížení rovin těchto hranolů (viz obr. 16.1), avšak pokud umístíme zkoumaný objekt mezi tyto hranoly, přes analyzátor světlo projde (viz obr. 16.2). Děje se tak z důvodu změny roviny polarizace po průchodu přes opticky aktivní látku. Polarimetrů existuje několik typů, avšak princip je u všech stejný. Po umístění sledovaného objektu otáčíme polarizátorem, nebo analyzátozem a sledujeme, kdy nebude polarimetr pro světlo propustný (viz obr. 16.3). Úhel otočení polarizátoru, nebo analyzátozem nám značí, o jaký úhel otočila opticky aktivní látka osu polarizace. Optická stáčivost je závislá také na vlnové délce λ , proto je nutné provést měření pouze při monochromatickém světu. [12]



Obrázek 16.1.: Polarimetr bez zkoumaného objektu.



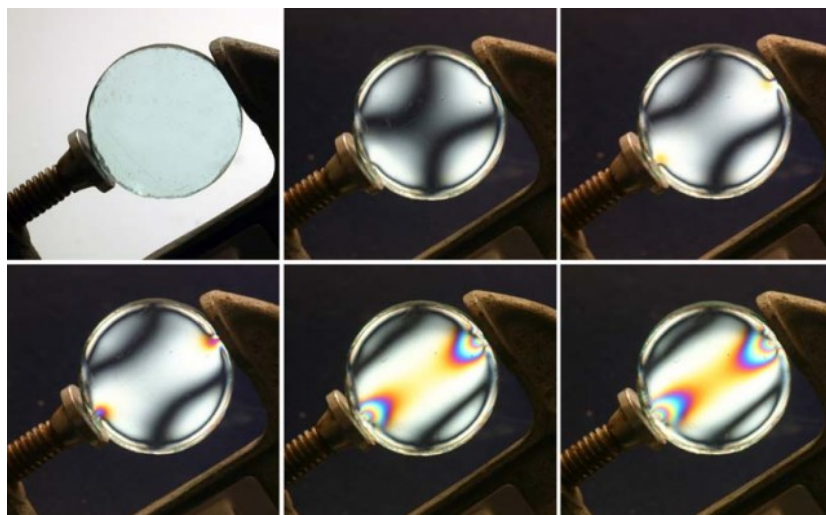
Obrázek 16.2: Polarimetr v základním postavení.



Obrázek 16.3: Polarimetr s analyzátozem otočeným o 90°

b) Fotoelasticimetrie

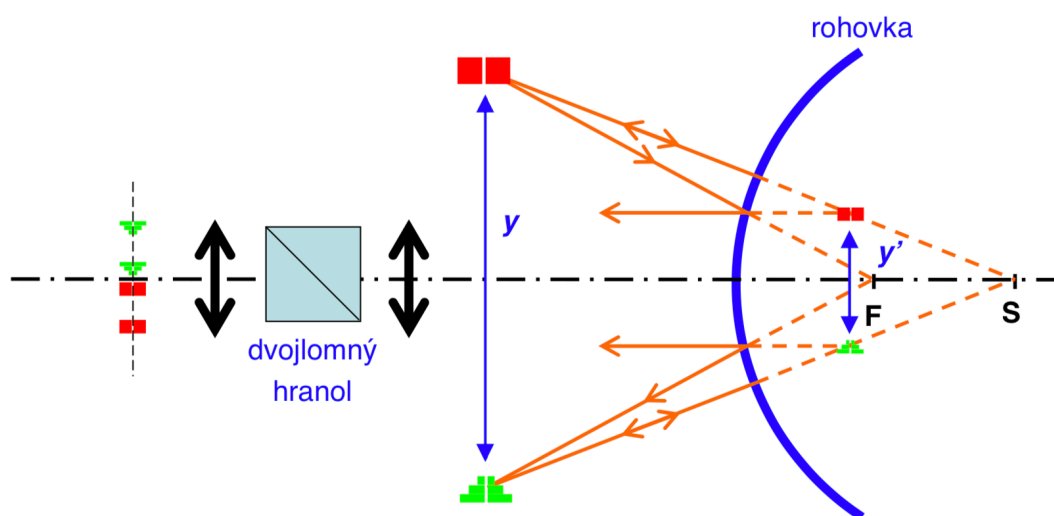
Fotoelasticimetrii využíváme pro zjištění vnitřního pnutí materiálu (viz podkap. 3.1.4). Princip fotoelasticimetrie je podobný jako u polarimetrie, avšak není potřeba takové přesnosti, proto můžeme použít dostatečně velké polarizační filtry místo drahých hranolů z islandského vápence. Pokud bychom se pohybovali pouze ve spektru viditelného světla, zkoumaný objekt musí být průhledný. Pokud bychom se pohybovali mimo spektrum viditelného světla, je zde pouze jedinná podmínka, a to, že elektromagnetické záření musí být schopno projít zkoumaným objektem. Pokud bychom měli objekt bez jakéhokoliv pnutí, poté bychom přes systém polarizátor–zkoumaný objekt–analyzátor viděli pouze zkoumaný čirý objekt. Pokud se zde vyskytuje pnutí, poté vidíme interferenční obrazce. V určitých místech vidíme pouze tmavé skvrny, ty nazýváme izokliny. Jedná se o místa, kde směr hlavního pnutí je rovnoběžný s polarizátorem nebo s analyzátozem. Pro měření síly pnutí využíváme tzv. izochomaty, barevné křivky, které jsou stejné barvy (viz obr. 17). V praxi oční optiky se můžeme setkat s tzv. tenzoskopy, přístroji na zjištění pnutí brýlové čočky po vsazení do obruby. [12, 13]



Obrázek 17: Zobrazení interferenčních obrazců v závislosti na pnutí v materiálu.

c) Keratometrie

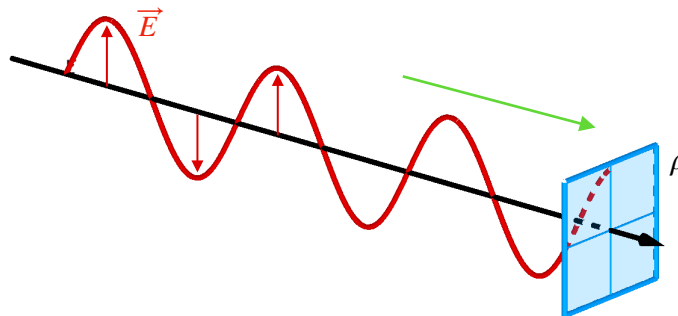
Taktéž v keratometrii je využito dvojlomných hranolů. Keratometr zkonstruovaný Javalem a Schiötzem využívá konkrétně dvojlomnosti hranolu Wollastonova. Testové značky v podobě zelené pyramidy a červeného obdélníka jsou umístěny na pohyblivém rameni před rohovkou. Obraz testových značek na rohovce projde přes systém spojných čoček a Wollastonův hranol (viz obr. 18). Díky průchodu přes Wollastonův hranol jsou jednotlivé zdvojené paprsky vychýleny od sebe o 1° a polarizovány. V tomto přístroji je polarizace pouze vedlejší jev, který se nevyužívá. [5, 11]



Obrázek 18: Javal – Schiötzův keratometr. [11]

3.2 Druhy polarizace

Polarizace je významnou vlastností monochromatické vlny, vyjadřuje časovou závislost orientace vektoru \vec{E} v prostoru. Pokud je vlna polarizovaná, je nutné určit typ polarizace. Pro zobrazení, o jaký typ polarizace se jedná, vytvoříme rovinu ρ , která je kolmá ke směru šíření vln, a koncový bod vektoru \vec{E} nám zobrazí křivku na tuto rovinu. [4]



Obrázek 19: Monochromatická vlna a rovina kolmá na směr šíření vlny.

Na zjištění typu polarizace je potřeba, abychom nahlíželi na vektor elektrické intenzity \vec{E} jako na kombinaci jejích složek na osách x, y, z .

Rovina kolmá ke směru šíření je rovina $x = 0$, tudíž hodnota velikosti elektrické \vec{E} je vždy v této rovině rovna nule.

$$E_x = 0.$$

Na rovinách y a z však složky vektoru \vec{E} mají určitou hodnotu v čase a koncové body složek vektoru opisují křivky ve tvaru

$$\begin{aligned} E_y &= A_y \cdot \cos \omega t, \\ E_z &= A_z \cdot \cos(\omega t + \delta), \end{aligned}$$

kde A_y značí amplitudu vlny složky v ose y a A_z značí amplitudu vlny složky v ose z . δ značí fázový rozdíl mezi složkou na ose y a z .

Po vyloučení času z těchto parametrických rovnic a dosazení obdržíme rovnici

$$\frac{E_y^2}{A_y^2} + \frac{E_z^2}{A_z^2} - 2 \frac{E_y E_z}{A_y A_z} \cdot \cos \delta = \sin^2 \delta$$

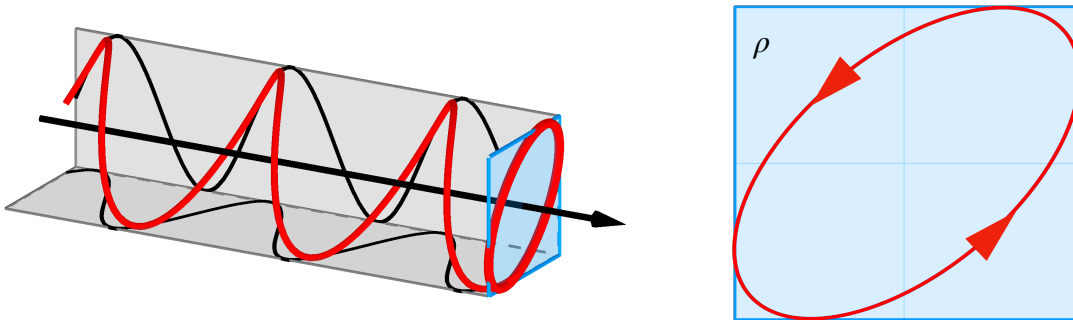
což je obecná rovnice elipsy.

Tvar elipsy, který je tvořen koncovým bodem vektoru \vec{E} je závislý tedy pouze na velikosti fázového rozdílu δ . V praxi se nejvíce využívají speciální stavy polarizační elipsy, a to když přechází na tvar přímky, nebo na kružnici. [4]

3.2.1 Eliptická polarizace

Elipticky polarizované světlo je takové, kde obraz vytvořený koncovým bodem \vec{E} na rovině ρ je tvaru elipsy, tudíž se intenzita i směr vektoru \vec{E} mění. V případě elipticky polarizovaného světla je fázový rozdíl

$$\delta = (0; \frac{\pi}{2}) \cup (\frac{\pi}{2}; \pi) \cup (\pi; \frac{3\pi}{2}) \cup (\frac{3\pi}{2}; 2\pi).$$



Obrázek 20: Eliptická polarizace pro $\delta = \frac{5\pi}{4}$.

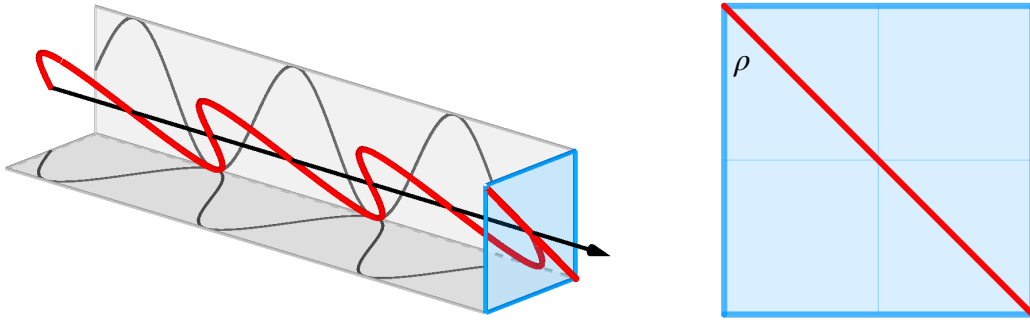
3.2.2 Lineární

Lineárně polarizované světlo je takové, kde obraz vytvořený koncovým bodem \vec{E} na rovině ρ je tvaru přímky, tudíž vektor \vec{E} má směr pouze v jedné rovině. V případě lineárně polarizovaného světla je fázový rozdíl $\delta = 0$ nebo $\delta = \pi$. Poté obecná rovnice elipsy přechází na tvar

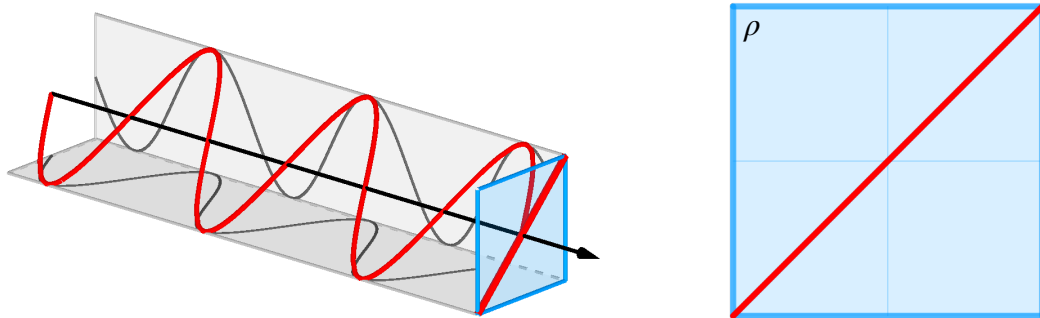
$$E_z = \frac{A_z}{A_y} \cdot E_y \text{ pro } \delta = 0, \text{ nebo}$$

$$E_z = -\frac{A_z}{A_y} \cdot E_y \text{ pro } \delta = \pi,$$

což jsou rovnice přímek. [4]



Obrázek 21.1: Lineární polarizace pro $\delta = 0$.



Obrázek 21.2: Lineární polarizace pro $\delta = \pi$.

3.2.3 Kruhová polarizace

Kruhově polarizované světlo je takové, kde obraz vytvořený koncovým bodem \vec{E} na rovině ρ je tvaru kruhu, tudíž intenzita vektoru \vec{E} je stejná, ale směr tohoto vektoru se mění. V případě kruhově polarizovaného světla je fázový rozdíl

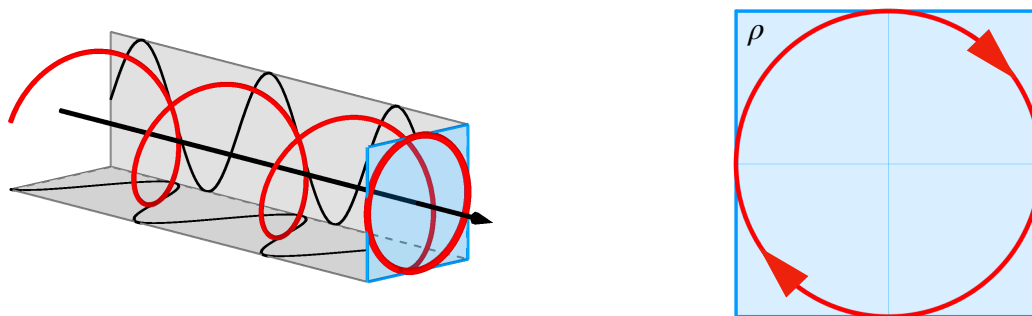
$$\delta = \frac{\pi}{2} \quad \text{nebo} \quad \delta = \frac{3\pi}{2}.$$

Poté obecná rovnice elipsy přechází na tvar

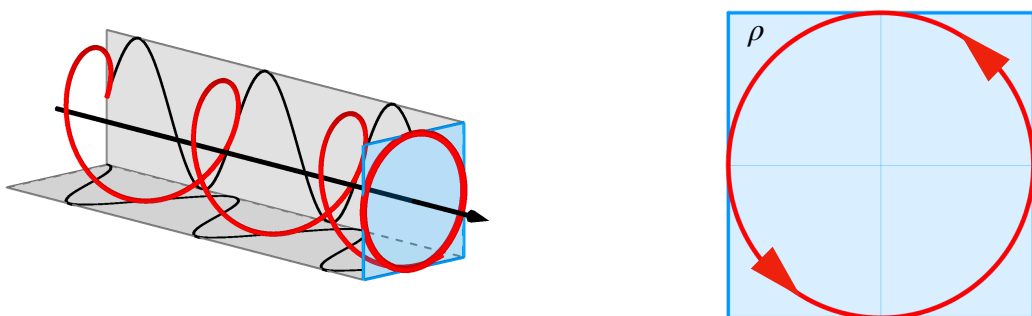
$$E_y^2 + E_z^2 = A^2,$$

což je rovnice kružnice. Pokud $\delta = \frac{\pi}{2}$, mluvíme o pravotočivě kruhově polarizovaném

světle, naopak pokud $\delta = \frac{3\pi}{2}$, mluvíme o levotočivě kruhově polarizovaném světle. [4]



Obrázek 22.1: Kruhová polarizace pro $\delta = \frac{\pi}{2}$.



Obrázek 22.2: Kruhová polarizace pro $\delta = \frac{3\pi}{2}$.

4 Polarizace v praxi optometristy

Polarizaci světla a jevy, které díky polarizaci můžeme vyšetřovat, využívají v praxi různé obory. V technických oborech se využívá polarizace ke zkoumání nežádoucího pnutí v optických materiálech (viz využití polarizátorů). V potravinářství se využívá polarizace k měření cukernatosti roztoku. U oftalmologa se využívá polarizace při vyšetřování GDx v glaukomové poradně. V oboru oční optiky se využívají čočky s polarizací na eliminaci nežádoucího horizontálně polarizovaného světla. V praxi optometristy se nejčastěji setkáváme s polarizačními testy při vyšetřování refrakční vady oka, úhlových odchylek vjemu obou očí a zrakové pohody.

4.1 Polarizační testy

Abychom porozuměli principu vyšetřování pomocí polarizačních testů, je důležité znát některé funkce vidění. Všechny párové orgány v lidském těle podléhají fyziologickému úsilí na spolupráci.

Tato spolupráce je organizována vždy tak, aby se dosáhlo co největšího výkonu těchto orgánů za vynaložení co nejméně energie. Tento největší výkon znamená v monokulárním vidění dosažení co nejostřejšího obrazu, v binokulárním vidění dosažení trvalého a stálého fúzování jednotlivých vjemů obou očí. [6]

Polarizační testy se používají pro zjištění stavu binokulárního vidění, korekci asociované heteroforie, vyšetřování anisikonie a měření hloubky prostorového vidění. Jejich princip je takový, že nám díky polarizaci vytvoří rozdílný obraz na každém z obou očí, nejčastěji tak, že určitá část testu je zobrazena s lineární polarizací a plní funkci polarizátoru. Polarizační předsádky poté plní funkci analyzátoru. Jak již bylo uvedeno dříve, pokud jsou polarizátor a analyzátor v rovnoběžné poloze, poté je propuštěno světlo přes oba tyto filtry a pacient vidí obraz tohoto testu. Pokud jsou ve zkřížené poloze, pacient tuto část testu nevidí.

Pro rozdělení vjemů obou očí je kmitosměr polarizované části pro jedno oko orientován nejčastěji v ose 45° a kmitosměr polarizované části pro oko druhé orientován kolmo k ose první části, tzn. v ose 135° . Analyzátoři ve formě polarizačních předsádek jsou taktéž orientovány pro jedno oko v ose 45° , pro oko druhé v ose 135° .

Výhodou oproti červeno–zeleným testům s červeno–zelenými předsádkami, které mohou plnit stejnou funkci jako polarizační, a to oddělení vjemu obou očí, je, že nedochází k barevné odchylce refrakce, která může být až 0,5D z důvodů rozdílné vlnové délky červené a zelené barvy (viz obr. 2).

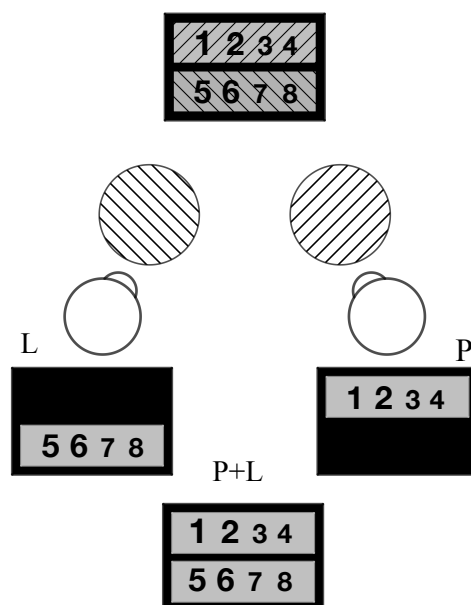
Polarizační testy můžeme rozdělit do dvou skupin, a to polarizační testy využívající *negativní polarizace*, např. *Schultzeho test* nebo *Osterbergův test*. Druhou skupinou jsou testy využívající *pozitivní polarizace*, např. *polarizovaný dvouřádkový test*, *polarizovaný Cowenův červeno–zelený test* a *všechny testy MKH*.

4.1.1 Polarizační testy využívající negativní polarizaci

Jedná se o testy, kde samotné testové značky nejsou polarizovány, ale je polarizováno okolí. Pokud jsou polarizátor v podobě okolí a analyzátor v podobě polarizační předsádky v rovnoběžné poloze, pacient vidí světlé okolí, tudíž vidí i tmavé testové značky. Pokud jsou polarizátor a analyzátor ve zkřížené poloze, pacient vidí pouze tmavé pozadí, testové značky jsou skryté a pacient je nevidí.

Schultzeho test

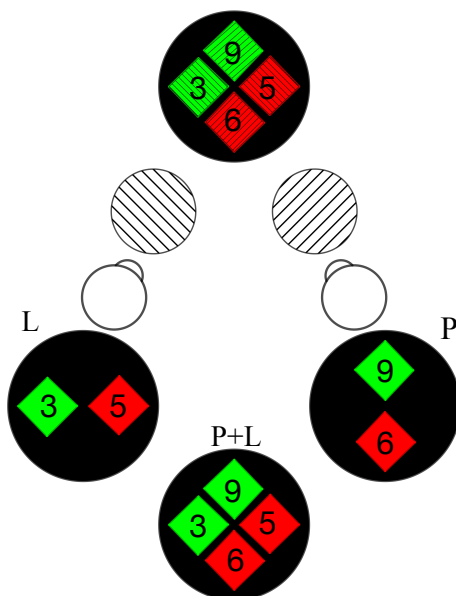
Světelný test je rozdělený na dvě části, kde do každého jsou vepsány rozdílné znaky (viz obr. 23). Pravé oko vidí pouze horní část testu, levé oko vidí naopak pouze dolní část testu. Pacient by měl po správně provedeném dokorigování refrakční vady vidět oběma očima dva řádky číslic rovně nad sebou a stejně zřetelně. [6]



Obrázek 23: Schultzeho test.

Osterbergův test

Obrazem tohoto testu jsou čtyři čtverce orientovány úhlopříčkou ve vertikální poloze, do horního zeleného čtverce je vepsána číslice 9, do levého zeleného čtverce je vepsána číslice 3, do pravého červeného čtverce je vepsáno číslo 5 a do dolního červeného čtverce je také vepsána číslice 5. Dohromady tvoří rozdělený čtverec na tmavém poli. Pravé oko vidí pouze znaky obsahující číslice 9 a 6, levé naopak znaky obsahující číslice 3 a 5 (viz obr. 24). V případě, že pacient vidí tato pole posunutá, jedná se o heteroforii. Tento test můžeme posuzovat za nespolehlivý z důvodu silného fúzního podnětu ve tvaru tmavého kříže, který je vytvořen mezerami mezi znaky. Je proto důležité doplnění vyšetření o další testy.



Obrázek 24: Osterbergův test.

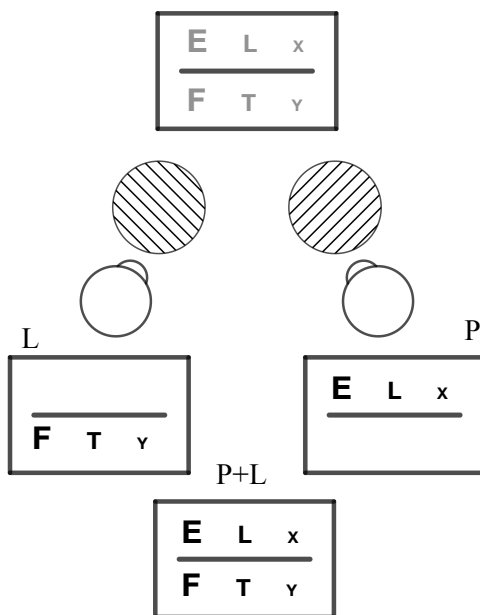
4.1.2 Polatest

Polatest je přístroj pro vyšetření binokulárních funkcí od firmy Zeiss. Jedná se o světelnou skříň, kde prosvětlená část obsahuje polarizační folie, které dané části testů zpolarizují do určité osy. V současné době se využívají iPolatesty, kde se část tohoto přístroje vyměnila za LCD displej.

Samotné pozadí je vždy bílé, nepolarizované, a jednotlivé testové značky jsou polarizované. Pokud jsou polarizátor v podobě testové značky a analyzátor v podobě polarizační předsádky v rovnoběžné poloze, pacient vidí pouze bílé pozadí. Pokud je polarizátor a analyzátor ve zkřížené poloze, pacient tuto testovou značku vidí na bílém pozadí. [5, 6]

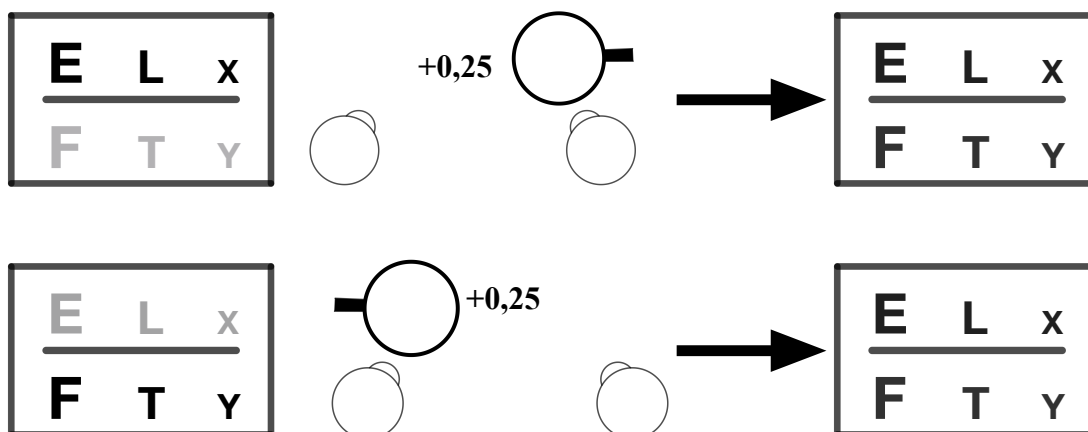
Polarizovaný dvouřádkový test

Tento test se využívá po úplné monokulární korekci a jeho funkcí je zjištění binokulárního vyvážení mezi pravým a levým okem. Pravé oko vidí tři různě velká písmena horního řádku a levé tři různě velká písmena dolního řádku. Ptáme se na současnost obou řádků a jejich kontrast. Pacient by měl po správném binokulárním dokorigování vidět oba řádky současně a stejně výrazně.



Obrázek 25.1: Polarizovaný dvouřádkový test.

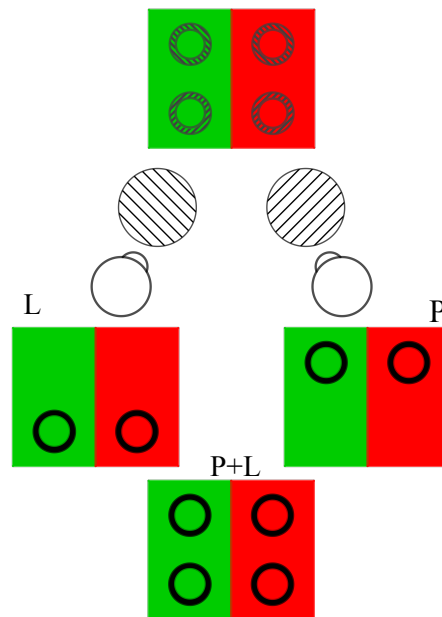
Pokud by však pacient viděl jeden řádek výrazněji, předřazujeme po krocích +0,25D před oko vidící výraznější řádek, dokud nejsou viděny oba řádky stejně výrazně (viz obr. 25.2)



Obrázek 25.2: Postup při polarizovaném dvouřádkovém testu.

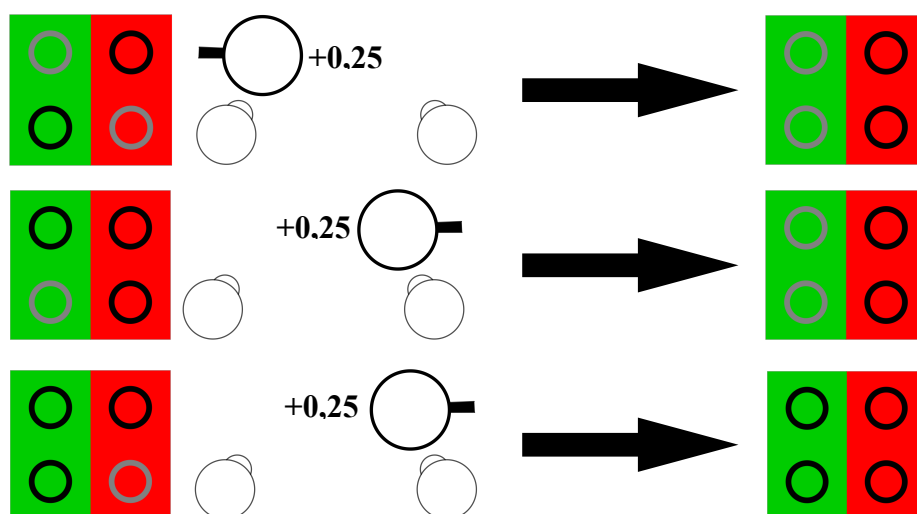
Cowenův polarizovaný červeno-zelený test

Tímto testem můžeme zjistit, jestli je jedná o kontrastní nerovnováhu podmíněnou funkčně, nebo refrakčně. Můžeme zjistit, které oko je překorigované či podkorigované, eventuálně obě strany. Na červeno-zeleném poli jsou zobrazeny čtyři kruhy, kde horní dva kruhy vidí pravé oko a dolní dva zase oko levé. [6]



Obrázek 26.1: Cowenův polarizovaný červeno-zelený test.

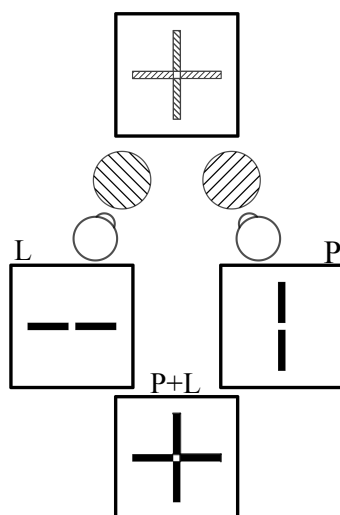
Pacient by měl při dokorigování vidět všechny čtyři kruhy stejně výrazně, poté hovoříme o refrakční a zrakové vyváženosti. Pakliže jedno oko vnímá jeden kroužek kontrastněji, musíme postupovat dle obrázku 26.2.



Obrázek 26.2: Postup při Cowenově polarizovaném červeno-zeleném testu. [10]

Křížový test

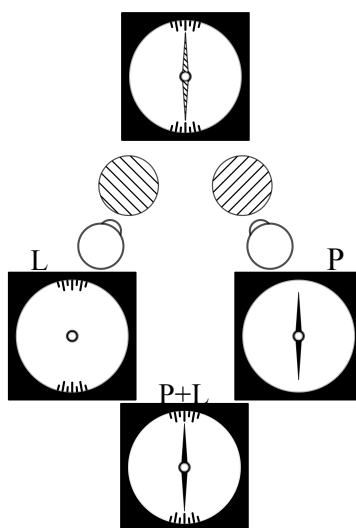
Binokulární vyšetřování začínáme polarizovaným křížovým testem. Díky tomuto testu můžeme měřit a korigovat motorický podíl heteroforií, a to jak ve vertikálním, tak i v horizontálním směru. Pravé oko vidí pouze ramena kříže orientovaná vertikálně a levé oko vidí pouze ramena orientovaná horizontálně (viz obr. 27). [6]



Obrázek 27: Křížový test.

Ručičkový test

Tento test je označován též jako test na *cykloforie*. Jedná se o binokulární polarizační test při centrálním fúzním podnětu. Taktéž díky kruhovému ohraničení je tento test viděn pacientem pouze paracentrální oblastí. Pravé oko vidí pouze ohraničený kruh, centrální bod a vertikálně postavené ručičky. Levé ohraničený kruh, centrální bod a horizontálně postavené ručičky. Viz obr. 28. [6]



Obrázek 28: Ručičkový test.

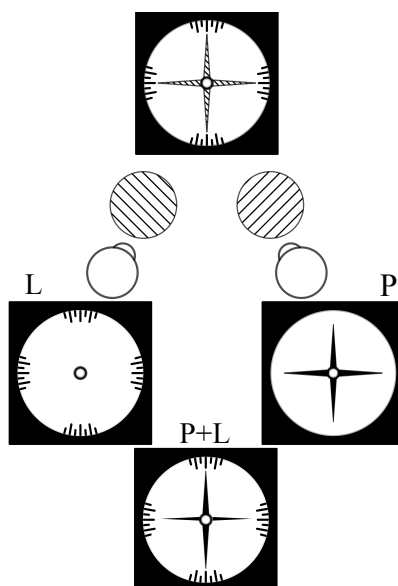
Na ručičkovém testu je navíc možno diagnostikovat též vzájemné stočení očního páru. V takovém případě pacient vidí horní ručičku stočenou doprava a spodní doleva (nebo obráceně). Tato stočení však korigovat optickými pomůckami nelze. Tento jev se děje i pokud není korekce ještě dostatečně pod kontrolou, popřípadě pokud jsme při monokulární korekci měnili osu nebo sílu cylindru.

Abychom se přesvědčili, že nezaměníme cykloforie s anamorfotickým zkreslením, postačí již často pohled na monokulární refrakční hodnoty. Jedná-li se o oční astigmatismus nebo když se cylindrické hodnoty a osy změnily, je to často příčinou zkreslení. Poslední pochybnosti můžeme vyloučit na dvojitým ručičkovém testu. [6]

Dvojitý ručičkový test

Dvojitým ručičkovým testem se prověřují jak vertikální, tak i horizontální odchylky, avšak tento test může být značně matoucí a nesrozumitelný pro pacienta. Proto by se mělo pracovat s více testy než jen s tímto.

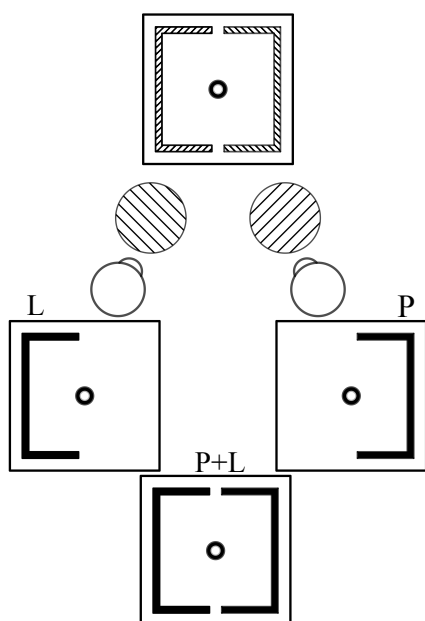
Dvojitým ručičkovým testem si taktéž ověříme, jestli se jednalo u ručičkového testu o cykloforii, nebo anamorfotické zkreslení. Pokud jsou ručičky stočeny, ale je mezi nimi pravý úhel, jedná se o *cykloforii*. Pokud tyto ručičky nesvírají pravý úhel, jedná se o anamorfotické zkreslení. [6]



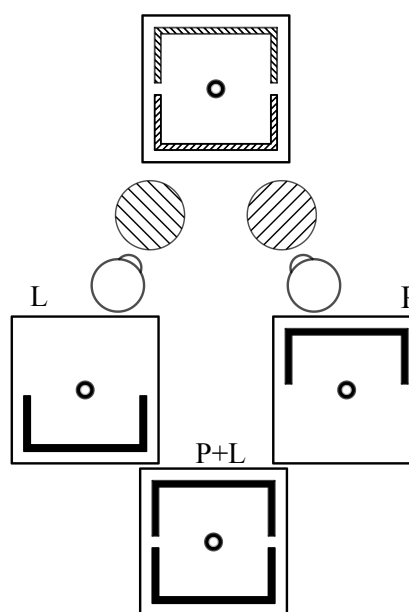
Obrázek 29: Dvojitý ručičkový test.

Hákový test

Označovaný též jako *aniesikonický test*. Hákový test je orientovaný vertikálně, nebo horizontálně. Na tomto testu lze ověřovat vertikální (resp. horizontální) odchylky a relativní rozdíly velikostí obrazů vytvořených na sítnici. Obrazem tohoto testu je centrální bod a dva háky nasměřované proti sobě. Pravé oko vidí centrální bod a pravý hák (resp. horní hák u horizontální orientace), levé též centrální bod a levý hák (resp. dolní hák u horizontální orientace). [6]



Obrázek 30.1: Vertikální hákový test.



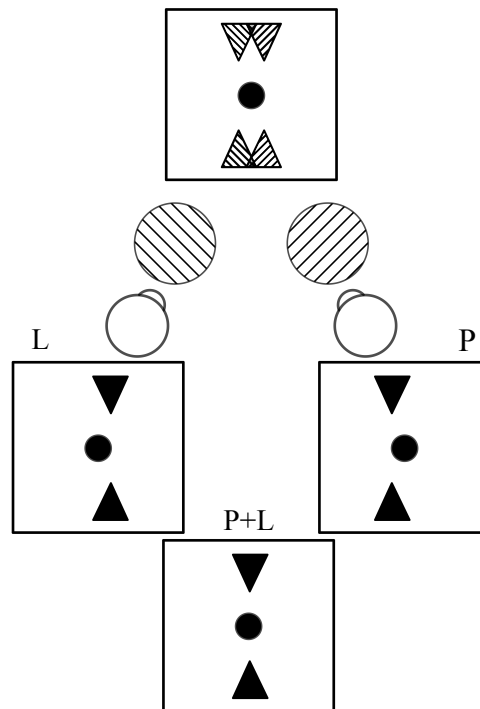
Obrázek 30.2: Horizontální hákový test.

Stereotest

Po ukončení testů na fixační disparitu přejdeme na testy pro zjištění stereopse s korekcí. Steropse je nejvyšší úroveň binokulárního vidění a dochází k ní pouze při dokonalém binokulárním vidění. Je-li výrazný rozdíl mezi levým a pravým okem, může docházet ke zhoršenému prostorovému vidění. [6]

Obrazem tohoto testu je nepolarizovaný kruh, který zaručuje centrální fixaci, a čtyři polarizované klíny, z nichž každé oko vidí právě dva z nich (viz obr. 31). Po předložení polarizačních předsádek se každé dva klíny spojí do jednoho a zároveň díky disparátnímu zobrazení se tyto klíny zobrazí relativně ve vzdálenosti menší než fixační centrum, pokud jsou předsádky v postavení „V”, ve vzdálenosti větší než fixační

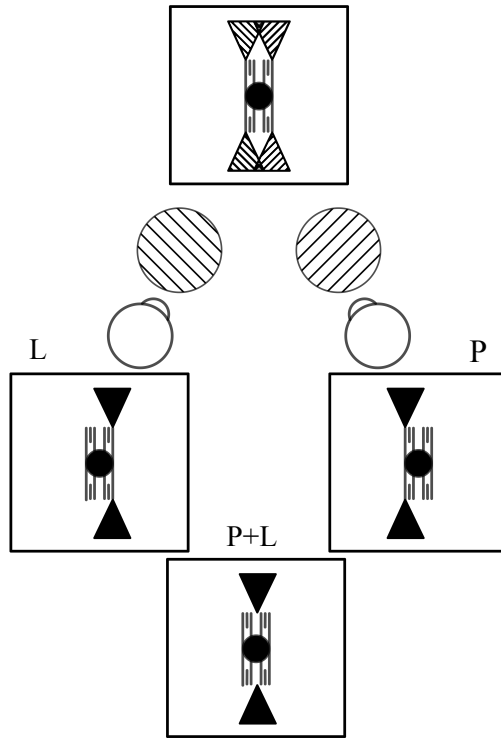
centrum, pokud jsou předsádky v postavení „A”. Podle reakcí pacienta na tento test můžeme získat podklad pro zlepšení kvality měření klínové korekce.



Obrázek 31: Stereotest.

Stereovalenční test

Design stereovalenčního testu je stejný jako u stereotestu, avšak je k němu přidána nepolarizovaná stupnice. Díky stereovalenčnímu testu můžeme měřit valenci, tzn. míru účasti obou očí na hloubkovém vyjádření. Vyskytuje-li se dominance jednoho oka, mluvíme poté o prevalenci a každé posunutí o čárku představuje 20 %, 60 % nebo 100 % prevalence jednoho oka. Zpomalené nebo omezené vnímání hloubky prostoru směrem dopředu (dozadu) lze zlepšit nebo zcela odstranit klíny s bázemi dovnitř (vně). Někdy však lze vylepšit výše uvedenou situaci i odpovídajícími klíny s vertikální bází. Jejich hodnotu je však nutné hledat cíleně za pomoci speciálních testů. [6]



Obrázek 32: Stereovalenční test.

5 Polarizace světla v oční optice

V oční optice v souvislosti s polarizací mluvíme nejčastěji o polarizovaných brýlových čočkách či polarizovaných slunečních brýlových kličkách. Jejich hlavní funkcí je potlačení horizontálního lineárně polarizovaného světla, které získáváme nejčastěji odrazem přirozeného nepolarizovaného světla od rovinné plochy (voda, rozpálená silnice nebo čelní sklo u auta), viz podkap. 3.1.1, které subjektivně vnímáme jako oslňující světlo. Toto oslňující světlo dále můžeme rozdělit do čtyř skupin: rušivé, nepříjemné, blokující a oslepující. Jedinec se proti tomuto světlu přirozeně brání zúžením zornic a přivíráním očí.

Rušivé oslnění

Rušivé oslnění je zapříčiněno nejčastěji světlomety automobilů či pouličním osvětlením. Do rušivého oslnění můžeme také zařadit odraz od zadní plochy brýlové čočky. Toto oslnění je nejméně nebezpečné v krizových situacích, avšak může nám při dlouhodobějším působení způsobovat únavu či bolesti hlavy. Toto oslnění se obvykle nedá řešit.

Nepříjemné oslnění

Toto oslnění se vyskytuje v závislosti na sensitivitě jedince. Je to mezistupeň mezi rušivým oslněním a blokujícím oslněním.

Blokující oslnění

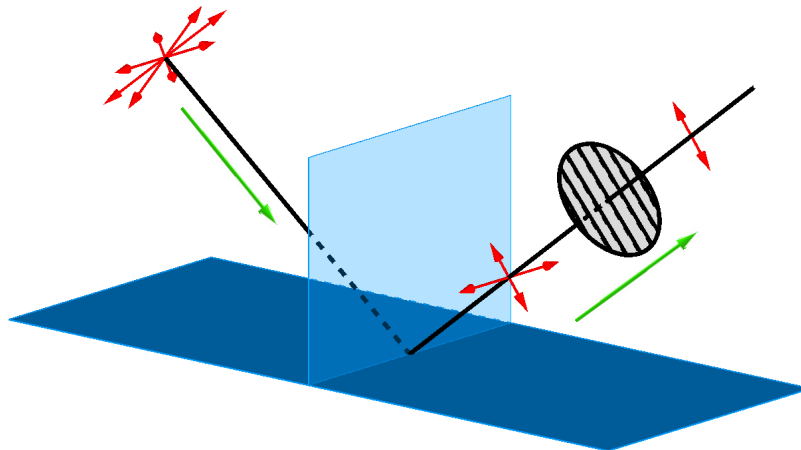
Jak už název napovídá, toto oslnění blokuje naše vidění. Blokace je vyvolaná nadměrnou intenzitou světla, která snižuje kontrast obrazu na sítnici.

Oslepující oslnění

Oslepující oslnění je vzniklé nadměrnou intenzitou světla a zároveň odrazem od rovinné plochy. Znemožňuje nám vidění a může být v kritických situacích (např. řízení automobilu) velice nebezpečné.

5.1 Polarizační brýlové čočky

Jak již bylo řečeno, hlavní funkce polarizačních čoček je eliminace odraženého horizontálně polarizovaného světla a propuštění vertikálně polarizovaného světla, které nezpůsobuje oslnění (viz obr. 33). Polarizované brýlové čočky mají taktéž funkci ideální ochrany proti UVA a UVB záření.



Obrázek 33: Funkce polarizačních brýlí.

K výrobě polarizované brýlové čočky se používají dva způsoby. U termosetů je tato vrstva vložena do formy před polymerací vlastní čočky. U druhé techniky se polarizační vrstva vloží pod poslední vrstvu na přední ploše čočky, než dojde k vytlačení. Materiál samotné čočky představuje pouze plast (vzhledem k poměru prodeje plastových a minerálních čoček je toto omezení minimální). Při výrobě je důležité dbát na osu polarizačního filtru stejně jako na osu cylindru u dioptrických čoček. Maximální polarizace lze získat pouze s přesnou osou polarizačního filtru. [14]

Jelikož jde pouze o další vrstvu, výroba čočky s polarizačním filtrem nijak výrazně neomezuje ostatní parametry výroby. Tyto čočky lze objednat jak v dioptrických, tak nedioptrických hodnotách, a to v provedeních jak jednoohniskových, bifokálních, tak i multifokálních. Nedoporučuje se však použití polarizačních čoček do obrub vázaných. Je potřeba dbát na to, aby drážka pro silon nebyla v blízkosti polarizační vrstvy, tzn. musíme posunout drážku co nejvíce k zadnímu okraji čočky. Výroba vrtaných obrub se taktéž nedoporučuje, avšak pokud by si to zákazník přál, není to nemožné. Čočky se však musí vyvrtávat ze zadní strany a s opatrností, aby nedošlo k poškození polarizační vrstvy. Pokud by čočka nebyla zabroušena na požadovanou velikost, může dojít k vnitřnímu pnutí čočky a k znehodnocení účinnosti polarizace.

NuPolar

NuPolar je značkou firmy Younger Optics. Čočka NuPolar je dostupná až v osmi barvách a ve dvou gradientních barvách. V České republice je nabídka omezenější. V osmi barvách jsou čočky NuPolar dostupné pouze od firmy KONVEX – recept optika. Firmy Hoya, Optika Čivice a Omega Optix mají v nabídce až 4 barvy, a to světle šedou, tmavě šedou, hnědou a G15 zelenou. Zatmavení čoček je napříč všemi distributory stejné, 65% u světle šedé, 83% u tmavě šedé, 78% u hnědé a 85% u G15 zelené barvy.

NuPolar infinite

Pod značkou NuPolar můžeme najít také čočky NuPolar infinite, kde kromě účinku polarizace působí i fotochromatická technologie. Ve světlé fázi je míra absorpce světla na 60 %, v tmavé fázi dosahuje zatmavení až 91 %. Nabízí se pouze v šedé barvě.

Transitions DriveWear

Nejznámější fotochromatické čočky napříč dodavateli jsou čočky značky Transitions společnosti Transitions Optical. Spojením fotochromatické technologie Transitions a polarizační technologie NuPolar vznikla čočka DriveWear, která je určena speciálně pro řidiče. Její barva, která se mění i za sklem automobilu, přechází ze žluté, přes měděnou až po tmavě hnědou. Každá barva je určena speciálně pro odlišné situace. Nejsvětlejší fáze, žlutá, je určena pro zhoršené viditelné podmínky. Její funkcí je zvýšení kontrastu a detailu. Absorpce světla činí cca 68 %. Nejtmavší fáze, tmavě hnědá, je určena pro podmínky se zvýšeným jasnem. Její funkcí je snížení jasů, avšak díky hnědé barvě dochází ke zvýšení kontrastu (narozdíl od šedé). Absorpce světla činí cca 88 %. K účinku barev se přidává taktéž působení polarizace, které absorbuje odrazy od vozovky a od čelního skla auta (viz obr. 34).

Jelikož i v nejsvětlejší fázi je zatmavení na 68 %, nedoporučují se tyto čočky používat při řízení v noci (doporučené je zatmavení maximálně 8 %). Najdeme je v nabídce téměř všech distributorů brýlových čoček.

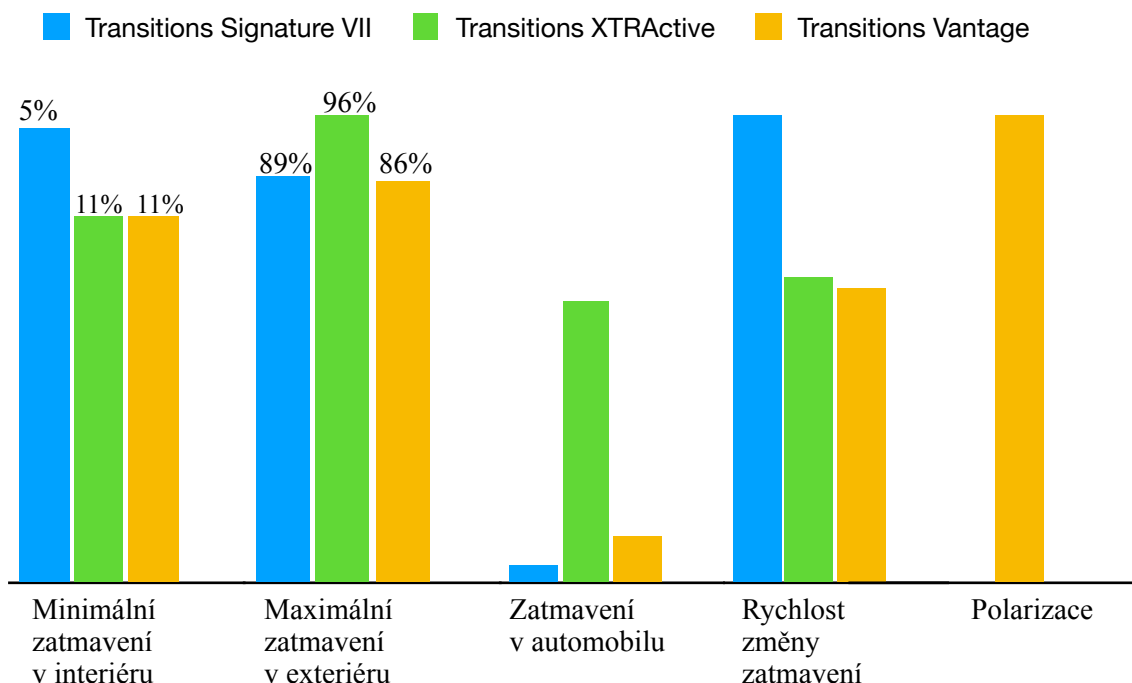


Obrázek 34: Transitions DriveWear

Transitions Vantage

Nejnovější fotopolarizační technologie společnosti Transitions, a to technologie proměnlivé polarizace se nabízí pod názvem Transitions Vantage. Ve světlé fázi absorpce světla činí 11 % (bez polarizace), ve tmavé fázi je absorpce na 86 % a k této absorpci se přidává funkce polarizační čočky. Princip je takový, že jednotlivé molekuly, při působení UV záření, vytvoří ve tmavé fázi mřížku, která funguje jako polarizační filtr. Nabídka je omezena na firmy Omega Optix a Essilor. Je také v nabídce firmy Hoya, avšak pro Českou republiku je nedostupná.

Srovnání se základními čočkami značky Transitions (Transitions Signature VII a Transition XTRActive) lze vidět na grafu č. 1.



Graf 1: Porovnání čoček Transitions

Poznámka: Zatmavení v automobilu a rychlost změny zatmavení nelze přesně změřit, fotochromatická vlastnost je ovlivněna teplotou, UV zářením a materiálem, ze kterého jsou čočky vyrobeny.

Transitions SOLFX

Sluneční polarizační čočka Transitions SOLFX nabízí taktéž fotochromatickou technologii společně s polarizací. Využívají stejné technologie jako Transitions XTRActive, tudíž se zabarvují i v automobilu. Zabarvení těchto čoček je v rozmezí 60–89 %. Nabídka v České republice je omezená pouze na šedou barvu. Pod značkou Transitions SOLFX se také vyrábějí štíty u motorkářských přileb.

Výrobci brýlových čoček

Mimo nabídku polarizačních čoček uvedenou výše téměř každý distributor brýlových čoček nabízí polarizační čočky svojí značky.

a) Omega Optix

Omega Optix působí na českém trhu od roku 1993. Dnes se řadí mezi přední výrobce a distributory brýlových čoček. Je také výhradním distributorem čoček značky Nikon pro Českou republiku.

Polarizační čočky můžeme najít pod označením Polarizo ve třech barevných variantách – hnědá (zatmavení 80 %), šedá (zatmavení 83 %) a zelená G15 (zatmavení 85 %).

b) Essilor

Společnost Essilor vznikla sloučením společností Essel a Silor v roce 1972, od té doby se řadí mezi největší výrobce a dodavatele brýlových čoček po celém světě. Tato společnost vyvinula první progresivní brýlové čočky pod názvem Varilux.

Jejich polarizované čočky může najít pod značením Xperio, které jsou dostupné až v sedmi celoplošných barvách, taktéž až v sedmi gradálových barvách.

c) Zeiss

Polarizační čočky od firmy Zeiss můžete najít pod označením Polarised ve třech barevných provedeních (hnědá, šedá, zelená) a SkyPol taktéž ve třech barevných provedeních (červená, světle hnědá a tmavě hnědá).

d) Hoya

Výrobce Hoya Vision nabízí sérii polarizačních čoček Polarized, které jsou v provedení Hilux a Hoyalux (označení pro jednoohniskové a progresivní čočky).

e) Rodenstock

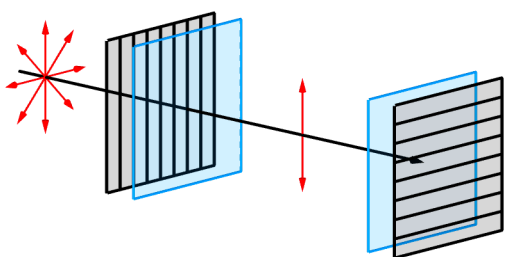
Tato německá firma má ve své nabídce sérii produktů s polarizací pod názvem Polarized. Jsou dostupné v barvě šedé, hnědé a zelené (zatemnění u všech barev je 85%).

f) Sagitta

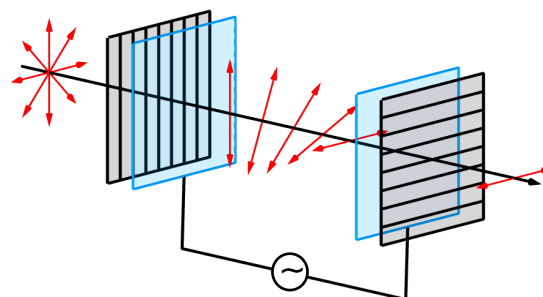
Firma Sagitta vznikla v roce 1991 a patří k prvním čistě slovenským společnostem, které se věnovaly dovozu zahraničních značek výrobců slunečních brýlí, brýlových obrub a doplňkového optického zboží do České a Slovenské republiky. V roce 1993 společnost Sagitta rozšířila svou činnost i o výrobu brýlových čoček. V nabídce nalezneme polarizační čočky Orplas 1,5 Polarex (orplas - značení pro jednoohniskovou čočku). [15]

Fotochromatické brýle LYNX

Novinkou na trhu jsou fotochromatické brýle LYNX, které využívají flexibilní technologii LCD (Liquid Crystal Display). Součástí LCD technologie jsou dvě polarizační destičky ve zkřížené poloze, na které jsou napařeny tenké vrstvy kovu. Mezi těmito destičkami je vrstva kapalných krystalů. Tyto kapalně krystaly jsou chaoticky rozmístěny, to znamená, že světlo nemůže být propuštěno z důvodu zkřížené polohy polarizačních destiček (viz obr. 35.1). Vrstvy kovu mají funkci elektrod a vlivem elektrického napětí se krystaly uspořádají tak, že mají schopnost stáčet rovinu polarizovaného světla. Při působení elektrického napětí může světlo procházet oběma destičkami (viz obr. 35.2).

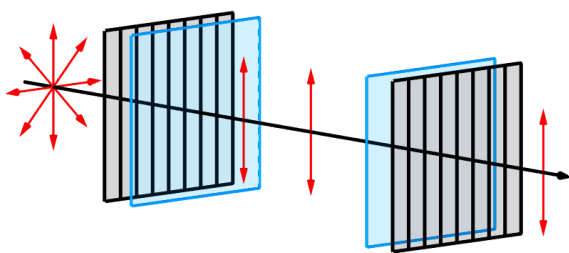


Obrázek 35.1: LCD bez napětí.

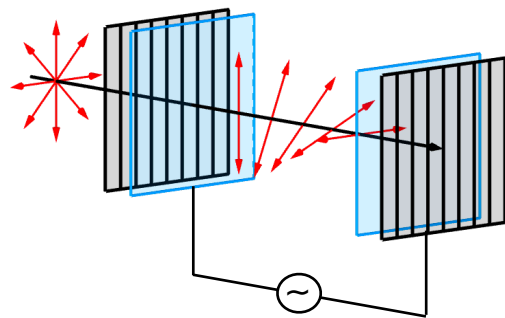


Obrázek 35.2: LCD pod napětím.

Po změření intenzity světla z okolí tyto inteligentní brýle vyhodnotí, kolik je potřeba elektrického napětí, aby byla propustnost pro světlo ideální. Odezva změny zatmavení oproti změně intenzity světla okolního prostředí je cca 0,5 vteřiny a polarizace je samozřejmostí díky použití samotné technologie. Energie potřebná k vytvoření elektrického napětí se za pomoci solárního čipu získá ze slunečního záření. Pokud bychom vycházeli ze základního postavení polarizačních filtrů v LCD, poté by nám vycházel samotný sled událostí: více světla → více energie → více procházejícího světla. Proto je potřeba otočit filtry tak, aby oběma prošlo světlo vertikálně lineárně polarizované. Poté vychází sled událostí: více světla → více energie → méně procházejícího světla. (viz obr. 36.1, 36.2) Výrobce udává, že životnost je zhruba stejná jako životnost inteligentních hodinek, smartphonů a všech výrobků, v kterých jsou nainstalované elektronické displeje. [16]



Obrázek 36.1: Technologie LYNX
bez napětí.



Obrázek 36.2: Technologie LYNX
pod napětím.

NXT

NXT byl původně vytvořen v USA pro vojenské aplikace jako nový, neprůstředný, průhledný a lehký materiál, schopný poskytovat vynikající ochranu, spolehlivost a delší životnost než polykarbonát. [17]

Dnes jsou tyto trivexové čočky pod označením NXT využívány primárně mezi sportovci, ve velké míře je využíván jako materiál do hi-end lyžařských brýlí. Nabízí se ve vyhotovení barevném, fotochromatickém, *polarizačním a fotopolarizačním*.

Sportovní brýle a polarizační klipy

V poslední části nesmíme zapomenout na samotné nedioptrické sluneční brýle, kde se jako první v oboru oční optika začala využívat polarizace pro širokou veřejnost. Dnes je nabídka polarizačních slunečních brýlí široká. Prakticky jakýkoliv výrobce slunečních brýlí nabízí alespoň jeden produkt s polarizací.

Dříve používali polarizační klipy zejména rybáři z důvodů silných odlesků světla od vodní hladiny. Tento trend však nikdy nebyl příliš rozšířen hlavně z estetického důvodu. Zvýšení poptávky v dnešní době přišlo hlavně díky brýlovým obrubám, které mají svůj vlastní klip udělaný přímo na míru. Obruby s nasazeným klipem jsou takřka k nerozeznání od klasických slunečních brýlí (viz obr. 37).



Obrázek 37: Brýle s polarizačním klipem

Shrnutí

Nabídka polarizačních čoček je velice široká, avšak můžeme se setkat s tím, že bychom chtěli produkt, který se nenabízí v produktových katalozích. Poté hovoříme o speciálně individuálním produktu a pokud je to fyzicky možné, výrobce většinou vyhoví této objednávce. Jelikož mluvíme o speciálně individuálním produktu, výrobce musí taktéž individuálně nacenit tento produkt.

Při výběru polarizačních brýlových čoček a polarizačních brýlí musíme myslet na to, že samotná polarizace světla polarizačním filtrem eliminuje minimálně 50% přirozeného světla. Dále je potřeba brát ohled na kvalitu polarizačních čoček. Míra polarizace u brýlí není nikdy stoprocentní, avšak se můžeme řídit jednoduchým pravidlem, kde kvalita čoček je nejčastěji přímo úměrná k ceně.

Závěr

Podstatou této práce bylo srozumitelně a s názornými obrázky objasnit základy polarizace světla a ukázat, kde může tento jev být využit.

V prvních dvou kapitolách popisují historii názorů na světlo a fyzikální podstatu světla. Představují historické teorie, které však neuměly popsat všechny optické jevy, tudíž nemohou dnes uspět. Následně líčím fyzikální podstatu světla, jak si ji vykládáme dnes pomocí Maxwellovy teorie elektromagnetického pole.

Na začátku třetí kapitoly porovnávám teorii příčného a podélného vlnění a dokazuji, že pokud bychom uvažovali o světle jako o podélném vlnění (teorie Christiaana Huygense), téma polarizace světla by ani nemohlo vzniknout. Dále přecházím na způsoby polarizace světla a jejich princip polarizování, které jsou vždy vyobrazeny na doprovodných obrázcích. V poslední část třetí kapitoly popisují druhy polarizace, jejich matematické znázornění a vyobrazení na obrázcích.

Ve čtvrté kapitole se zabývám využitím polarizace v praxi optometristy. Je zde popsán princip polarizačních testů a následuje jejich stručný popis.

V poslední kapitole popisují princip polarizačních brýlových čoček a klipů s polarizací a předkládám nabídku polarizačních čoček pro Českou republiku.

Téma polarizace světla je velice obsáhlé a tato práce nemůže obsahovat vše spojené s tímto tématem. Jedná se pouze o představení tohoto tématu ideově plánované tak, aby i čtenář, který není dokonale znalý v oboru optiky, dokázal pochopit toto téma.

Dle mého názoru se využití polarizace světla bude dále vyvíjet, a to jak v oblasti oční optiky, kde je stále veliký prostor pro zkvalitnění polarizace u brýlových čoček, tak i v oblasti optometrie a oftalmologie.

Zdroje

Literatura

- [1] SALEH, Bahaa E. A. a Malvin Carl TEICH. Základy fotoniky 2. Praha: MATFYZPRESS, 1994. ISBN 80-85863-02-2.
- [2] KALUS, René. Trivium z optiky. Ostrava: Ostravská univerzita, 2004. ISBN 80-7042-999-2.
- [3] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. Optika a atomová fyzika: fyzikální kompendium pro vysoké školy. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961.
- [4] VYŠÍN, Ivo a Jan ŘÍHA. Paprsková a vlnová optika: studijní modul. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3334-9.
- [5] RUTRLE, Miloš. Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometry a oftalmology. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [6] RUTRLE, Miloš. Binokulární korekce na polatestu. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-302-3.
- [7] GOLDSTEIN, Dennis H. a Edward COLLETT. Polarized light. 2nd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker, c2003. Optical engineering (Marcel Dekker, Inc.), v. 83. ISBN 0-8247-4053-x.
- [8] LEPIL, Oldřich. Fyzika pro gymnázia. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2002. ISBN 80-7196-237-6.
- [9] POLÁŠEK, Jaroslav a J. BALÍK. Technický sborník oční optiky. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975.

Přednášky

- [10] PLUHÁČEK, F. Základní postupy subjektivní refrakce – výukový materiál k předmětu Korekce zraku I., katedra optiky přírodovědecké fakulty UPOL, Olomouc, 2017.
- [11] PLUHÁČEK, F. Oftalmologické a optometrické přístroje – výukový materiál k předmětu Optické a optometrické přístroje, katedra optiky přírodovědecké fakulty UPOL, Olomouc, 2017.

Internetové zdroje

- [12] http://polar-peza.euweb.cz/vyuziti_polarizace.html [online] [cit. 2019-02-06]
- [13] MEF. Fyzika :: MEF [online]. Copyright © 2006 [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/470-fotoelasticimetrie>
- [14] Lékařská fakulta Masarykovy univerzity. Informační systém [online]. [cit. 2019-03-20] Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js12/vyroba_cocek/web/pages/01-2-09_polarizacni.html
- [15] Sagitta - Okuliare, okuliarové šošovky, slnečné okuliare [online]. [cit. 2019-04-12] Dostupné z: <https://www.sagitta.cz/o-nas/>
- [16] <https://www.r-kontakt.com/p/2194/inteligentni-revolucni-fotochromaticke-bryle-lynx> [online] [cit. 2019-04-15]
- [17] Opti Project - Distributor brýlových čoček a přístrojové techniky. Opti Project - Distributor brýlových čoček a přístrojové techniky [online]. Copyright © 2011 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://opti-project.cz/cs/produkty/cocky-shamir/material?PHPSESSID=75cd02066937cd9b2275d39de4df03e6>
- [17] YouTube. YouTube [online]. [cit. 2019-04-09] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=QUF4Z7gVIHU&t=137s>
- [18] Eduportál Techmania. Eduportál | Eduportál Techmania [online]. Copyright © Techmania Science Center, o.p.s. [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/polarizace-svetla>

Ostatní

Produktové katalogy a propagační materiály vybraných distributorů brýlových čoček.