

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS FAUKLTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**Optisko fāzi kompensējošās struktūras pielietojums
stiklveida ķermenī peldošo elementu traucējošo efektu
mazināšanai**

BAKALAURA DARBS

Autors: **Uvis Alonderis**

Studenta apliecības Nr. ua20004

Darba vadītājs: Dr. Phys. Varis Karitāns

RĪGA 2023

Anotācija

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 30 lapām, tas satur 23 attēlus un 25 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis ir izmantot fāzu kompensācijas mehānismu acs entoptisko mehānismu mazināšanai. Attēla novērošanai distancē izstrādāta optiska sistēma, pievienojot tai klāt stikla plāksnīti ar izkodinātiem fāzu objektiem apduļķojuma simulēšanai un optiskās sistēmas priekšā novietojot tādu pašu plāksnīti ar pretfāzē izkodinātiem objektiem. Koriģēšanā iegūtais efekts norāda fāzu kompensācijas mehānisma efektivitātes iespējamību.

Bakalaura darba ietvaros analizēta stiklveida ķermeņa anatomija un iemesli, kas var radīt apduļķojumu šajā struktūrā, aprakstīta apduļķojuma diagnostika, veidi un ārstēšana, kā arī difrakcijas veidi.

Atslēgvārdi: stiklveida ķermenis, stiklveida ķermeņa apduļķojums, difrakcija

Abstract

The bachelor thesis is written in Latvian on 30 pages, contains 23 figures and 25 references to literature sources.

The aim of the thesis is to use a phase compensation mechanism to reduce the entoptic mechanisms of the eye. An optical system has been developed for image observation at a distance by attaching to it a glass plate with phase-encoded objects to simulate opacification and placing in front of the optical system the same plate with counter-phase-encoded objects. The effect obtained in the correction indicates the feasibility of the phase compensation mechanism.

The anatomy of the vitreous body and the causes that can lead to opacification in this structure are analysed in the bachelor thesis, the diagnosis, types and treatment of opacification are described, as well as diffraction patterns.

Keywords: vitreous, vitreous opacification, diffraction

Saturs

IEVADS.....	1
1. Literatūras pārskats.....	3
1.1 Entoptiskie fenomeni	3
1.2 Stiklveida ķermeņa anatomija	3
1.3 Stiklveida ķermeņa funkcijas	5
1.4 Stiklveida ķermeņa apduļķojums	5
1.5 Pacientu diagnostika	6
1.5.1 <i>Ultrasaonogrāfija</i>	6
1.5.2 <i>Kombinētā OCT/SLO izmeklēšana</i>	7
1.5.3 <i>Dinamiskā gaismas izkliede</i>	7
1.6 Stiklveida ķermeņa apduļķojuma veidi.....	7
1.7 Stiklveida ķermeņa apduļķojuma ārstēšana.....	8
1.7.1 <i>YAG lāzera vitrolīze</i>	8
1.7.2 <i>Pars Plana vitrektomija</i>	10
1.8. Gaismas difrakcija	11
1.8.2. <i>Freneļa difrakcija</i>	12
1.8.3. <i>Fraunhofer difrakcija</i>	14
2. Pētījuma daļa	17
2.1. Darba shēma	17
2.2 Struktūru veidošana.....	18
2.2.1 <i>Reaktīvā jonu kodināšana</i>	18
2.2.2 <i>Optiskā litogrāfija</i>	19
2.3 Eksperimenta gaita	20
3. Rezultāti	23
4. Diskusija.....	24
Secinājumi.....	25
Nobeigums.....	26

IEVADS

Stiklveida ķermenis ir liela acs struktūra, kura aizņem ap 80% no kopējā acābola tilpuma, ar kopējo tilpumu 4 ml apmērā. Pēc savas struktūras tas ir želejveidīgs un caurspīdīgs. Sastāva ziņā tas satur 99% ūdens un pārējo atlikušo 1% veido kolagenu fibrilas un hialuronsāķbe. Šīs struktūras galvenās funkcijas ir gaismas caurlaidība un spēja noturēt tīkli savā vietā (*Baumane et al., 2008*).

Stiklveida ķermeņa apduļķojums ir plaši sastopams entoptisks fenomens, kas ir sastopams aptuveni 76% cilvēku un 33 %, kuriem šis apduļķojums ir novērojams ir sūdzības, ka šis apduļķojums rada redzes kvaliātes traucējumus (*Webb et al., 2013*).

Pacienti, kuriem diagnosticēts stiklveida ķermeņa apduļķojums parasti iedala 2 grupās. 1. Grupa ir tie, kuri vēlas atgūt normālu redzi, 2. grupa ir tie, kas dodas pie visiem pieejamajiem ekspertiem, lai gan daiagnoze nemainās, padarot viņu problēmu vairāk psiholoģisku nekā klīnisku, kas padara reāla pacienta grūtaku diagnosticēšanu (*Milston et al., 2016*).

Stiklveida ķermeņa apduļķojums parasti dalās 2 kategorijās - pirmējais un sekundārais. Pirmējais rodas kolagēna šķiedrām salīpot un radot lielākas struktūras vai arī ar acs struktūru novecošanu. Turpetīm sekundāros parasti asociē ar ārēju struktūru ietekmi uz to, piemēram, priekšdziedzera asiņošana, kas var izraisīt apduļķojumu un miglainas redzes parādīšanos (*Milston et al., 2016*).

Vēsturiski apduļķojuma ietekme uz redzes kvalitāti ir tikusi novērtēta pārāk nenopietni, pacientiem ar stiklveida apduļķojumu ir teikts, ka šis ir pārejošs process vai arī, ka ar laiku pie šī apduļķojuma spēs pierast. Patiesībā atklājās, ka pacienti ir bijuši gatavi atdot 1.1 no katriem 10 dzīves atlikušajiem gadiem, un pat bija gatavi uzņemt riskus, kas varētu novest pie akluma vai pat nāves, lai atbrīvotos no apduļķojuma radītā ietekmes uz viņu ikdienu. Apduļķojums ietekmē dzīves kvalitāti un ikdienas darāmo darbu ērtību (*Garcia-Aguirre et al., 2022*).

Stiklveida ķermeņa apduļķojumu ir iespējams ārstēt ar vitreolīzes un vitrektomijas palīdzību, kas pagaidām ir vienīgās 2 zināmās metodes. Ar abām metodēm var gūt gana augstus efektivitātes un apmierinātības rādītājus, bet tas nenozīmē, ka nav nekādu negatīvu blakusefektu pēc šo procedūru veikšanas. Pacienti var izjust visu sākot no metodes neitrāles ietekmes, kad uzlabojumu nav, līdz pat simptomu pasliktināšanās gadījumiem, kad bija paliekošs un izteiktāks apduļķojums (*Sun et al. 2019; Zeydanli et al., 2020*).

Hipotēze: Modulējot acī ienākošās gaismas fāzi, ir iespējams kompensēt stiklveida ķermeņa apduļķojuma efektus.

Darba mērķis: Izmantot fāzu kompensācijas mehānismu acs entoptisko mehānismu mazināšanai

Darba uzdevumi:

1. Izstrādāt optisko sistēmu ar kuras palīdzību varēs vērot objektu talumā un apduļķojuma simulāciju
2. Simulēt apduļķojumus, izmantojot izkodinātos fāzu objektus
3. Koriģēt apduļķojumus ar pretfāzē izkodinātiem fāzu objektiem

1. Literatūras pārskats

1.1 Entoptiskie fenomeni

Entoptiskais fenomēns kā termins tiek lietots, lai aprakstītu vizuālo efektu uztveri, ko atbilstošos apgaismojuma apstākļos vai stimulus atveido pašas acs struktūras vai redzes sistēma. Atkarībā no to izcelsmes vietas entoptiskie fenomeni iedalās 2 kategorijās: parādības, kas rodas no acs optisko struktūru neregulāriem gadījumiem, un parādības, kas atkarīgas no tīklenes fizioloģijas un redzes ceļiem. Parastie šie apstākļi izpildās reti, entoptiskie fenomeni rodas refrakcijas vai difrakcijas dēļ, ko rada vai ietekmē acs dabiskās optiskās struktūras. Visām šīm parādībām kopīgais ir tas, ka tās ir subjektīvas un to uztveršanai ir nepieciešama tieša novērotāja uzmanība un sadarbība. Tās atšķiras no optiskajām ilūzijām, jo tām nav fiziska pamata. Īpašs redzes traucējumu veids ir fotopsijas un fosfēni. (*Sevšek et al., 2022*)

Fotopsijas ir vizuāli simptomi vai sajūtas, kas saistītas ar strukturētiem attēliem kā ģeometriskām figūrām vai citiem vienkāršiem attēliem, kas bieži atkārtojas bez ārējiem gaismas stimuliem. Fosfēni ir fotopsiju apakšgrupa, ko pacienti apraksta kā statisku vai kustīgus nestrukturētus krāsainu gaismīņu, dzirksteļu vai zig-zag līniju rakstus. Fotofāzijas pārsvarā liecina par acu iemeslus, retāk tās var liecināt par neiroloģiskiem vai sistēmiskiem cēloņiem, un tāpēc ir nepieciešama rūpīga izmeklēšana, ja novēro to rašanos. (*Sevšek et al., 2022*)

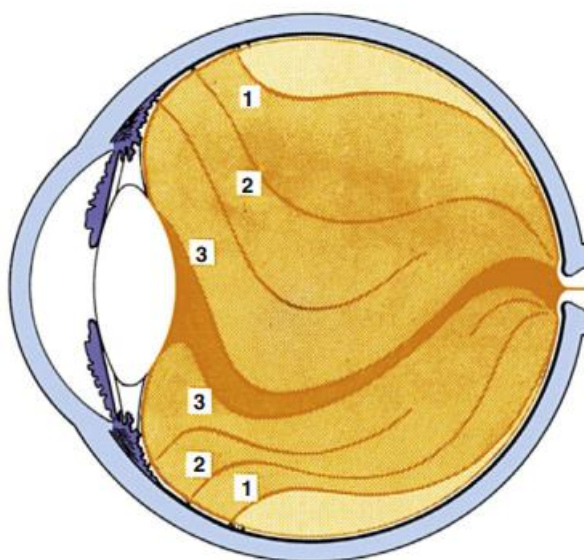
1.2 Stiklveida ķermeņa anatomija

Vēsturiski uzskatīja, ka stiklveida ķermeņa galvenā funkcija bija, lai nodrošinātu intraokulāro dzidrumu un saglabātu lodes formu. Rezultātā stiklveida ķermenim netika piedēvēta fizioloģiska nozīme, ko vēl vairāk veicināja gadu desmitiem ilgā pieredze ķirurģiskā stiklveida ķermeņa izņemšanā bez acīmredzama kaitējuma acs veselībai. Tomēr, pateicoties stiklveida ķermeņa attēlveidošanas un bioķīmisko analīžu sasniegumiem, jaunākie pētījumi ir snieguši nenovērtējamu ieskatu šī šķietami neredzamā orgāna molekulārajā uzbūvē un tā devumā acu veselībā un slimībās. Tādējādi acu aprūpes speciālistiem ir kļuvis svarīgi kritiski novērot stiklveida audus, izmeklējot savus pacientus, un zinātniekiem jāapvieno centieni, lai uzlabotu mūsu izpratni par stiklveida audiem veselos un slimos stāvokļos. (*Ankamah et al., 2019*).

Aplūkojot stiklveida ķermeni, redzams, ka tā ir lielākā acs struktūra, kas aizpilda aizmugurējā segmenta telpu, ko ierobežo lēcas aizmugurējā virsma un tīklenes iekšējā ierobežojošā membrāna. Stiklveida ķermenis, kura kopējais tilpums ir aptuveni 4 ml, sastāv galvenokārt no ūdens (aptuveni 98-99 %), kolagēna šķiedrām, glikozaminoglikāniem (galvenokārt hialuronāna), ne-kolagēniem proteīniem (ieskaitot optīcīnu un versikānu) un

nelieliem mikroelementu un metālu daudzumiem. Stiklveida gēla īpašības ir saistītas ar mijiedarbību starp divām galvenajām sastāvdaļām - kolagēnu un hialuronānu (*Bergstrom 2022; Ankamah et al., 2019*).

Stiklveida ķermeni iedala 3 plašās anatomiskās zonās: stiklveida ķermeņa garoza (1.), starpposma zonas (2.) un hialoīda (Kloki) kanāla (3.) (skat. 1.1 att.). Šāds iedalījums ir, jo zonas mainās pēc sava blīvuma, Stiklveida garoza, ko sauc arī par hialoīdu virsmu, ir ārējā zona. Tā ir 100 μm plata, un to veido blīvi sakārtotas kolagēna šķiedras, no kurām daļa no tām ir paralēli un daļa perpendikulāri novietotas tīklenes virsmai, tā atrodas priekšā pamatnei un atrodas blakus ciliārajam ķermenim, aizmugurējai kamerai, un lēcai. Starppozonā ir smalkas šķiedras, kas ir nepārtrauktas un nesazarotas un tās virzās uz priekšu, un aizmuguri. Šīs šķiedras veidojas stiklveida ķermeņa pamatnes rajonā un ieiet aizmugurējā garozā, perifērās šķiedras ir paralēlas garozai, bet centrālās šķiedras ir paralēlas hialoīda kanālam. Šajā zonā arī ir membrānai līdzīgi sabiezējumi, kurus sauc par stiklveida ķermeņa traktiem, tos var diferencēt kā apgabalus, kuros šķiedru blīvums ir atšķirīgs. Hialoīdu kanāls atrodas stiklveida ķermeņa centrā, tam ir S burta forma, kas pagriezta par 90 grādiem ar centru uz leju, un tajā agrāk atradās hialoidālo artēriju sistēma, kas izveidojās embrioloģiskās attīstības laikā. Hialoīdu kanāls veidojas retrolentālajā telpā, tā priekšējās daļas diametrs ir aptuveni 4 līdz 5 mm. Kolagēna koncentrācija stiklveida ķermenī ir aptuveni 300 μg/ml, kas veido 0,5 % no kopējā stiklveida ķermeņa proteīna (*Ankamah et al., 2019; Remington 2012*).



1.1att. Stiklveida ķermeņa anatomiskās zonas (*Remington 2012*)

Stiklveida ķermenī kolagēna šķiedras veidojas heterotipiski, veidojot II, V/XI, VI un IX tipa kolagēnu, no kuriem visizplatītākais ir II tipa kolagēns. Vitreozes kolagēna šķiedras ir

plānas un nesazarotas, to diametrs ir vienāds un svārstās no 10 līdz 20 nm. Kolagēns ir būtiska strukturālā sastāvdaļa, un tā atdalīšanās izraisa stiklveida ķermeņa saskādināšanos. Hialuronāns, polisperss polisaharīds, ir dominējošas stiklveida ķermeņa audos. HA koncentrācija stiklveida ķermenī ir no 0,02 līdz 1 mg/cm³. HA ir galvenais stiklveida dziedzera iekšējās adhēzijas starpnieks, tāpēc tam ir sinerģiska loma ar kolagēnu un citiem proteoglikāniem stiklveida dziedzera stīvuma regulēšanā (*Ankamah et al., 2019; Remington 2012*).

1.3 Stiklveida ķermeņa funkcijas

Stiklveida ķermenis nodrošina atbalstu tīklenei, noturot to vietā blakus dzīslenei, lai spētu notikt asins apgāde uz tīklenes ārējām daļām. Papildus tam, tas kalpo vēl kā metabolītu krātuve tīklenei un lēcai, un šo, metabolītu kustību uz šīm acs struktūrām. Pie funkcijām vēl arī var minēt struktūras absorbētspēju. Stiklveida ķermenis sargā tīklenes audus pie fizisko aktivitāšu veikšanas un ikdienišķas acu kustināšanas apkārt, absorbējot vieglus vai smagus triecienus. Caur šo struktūru tiek laisti cauri visi gaisams stari, kas nonāk radzenē, gaismas izkliede šeit ir minimāla, jo stiklveida ķermenis sevī satur maz daļiņas, kas varētu izkļiedēt gaismu (*Remington 2012*).

Stiklveida ķermenis veicina intraokulārās vides dzidrumu, intraokulārās skābekļa spriedzes regulāciju un intraokulārā spiediena uzturēšanu. Tas arī nodrošina aizsardzību, darbojoties kā triecienu absorbētājs, ko veic kolagēna šķiedras, kas samazina hialuronāna saspiešanas spēku, kad globuli pakļauj ārējam spiedienam. Stiklveida ķermenis darbojas kā rezervuārs barības vielām un metabolītiem, ko tas saņem no sintēzes nepigmentētajā ciliārajā epitēlijā un tīklenes pigmenta epitēlijā. Hialocītiem ir būtiska nozīme intraokulārā iekaisuma modulēšanā acīs, kas nav iekaisušas, tādējādi veicinot intraokulāro caurspīdīgumu (*Ankamah et al., 2019*).

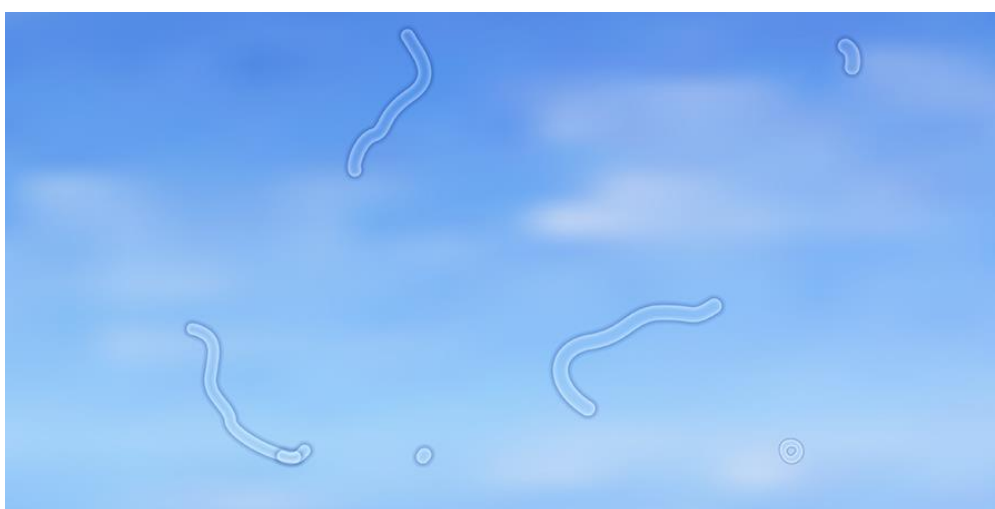
No optiskā skatpunkta stiklveida ķermenis pārvada gaismu līdzīgi kā radzene, kolagēna šķiedras ir plānākas kā puse no gaismas viļņa un šo šķiedru starptelpa ir pildīta ar hialuronāniem, kas mazina difrakcijas radītos efektus kopējā sistēmā. (*Forrester et al. 2016*)

1.4 Stiklveida ķermeņa apduļķojums

Stiklveida ķermeņa apduļķojums ir bieži sastopams entoptisks fenomens, kas sastopams aptuveni 76% cilvēku, no kuriem 33 % ir sūdzības par apduļķojuma ietekmi uz redzes kvalitāti. Un miopiem šis apduļķojums tika novērots 3,5 reizes vairāk nekā emetropiem, un hipermetropiem šī attiecība bija lielāka, 4,4 reizes vairāk nekā emetropiem. Šo varētu skaidrot ar tīklenes atlāņošanos miopijas gadījumā, kad acs aksiālais garums ir par lielu priekš tās refraktīvā stipruma, un hipermetropijas gadījumā, kad acs lēca ir vājāka, veicinot ciliārā

muskuļa pārpuli, veicot ilgstošus tuvuma darbus, kas padara viņus par lielāku riska grupu, kuri varētu izjust šo fenomenu. (*Webb et al. 2013., Baumann et al. 2008., Asimellis et al.*).

Stiklveida ķermeņa apduļķojumam ir 2 izcelsmes veidi. Pirmais ir kolagēna šķiedru deģeneratīvo šūnu pārkārtošanās rezultātā iegūts stiklveida ķermeņa apduļķojums un otrs ir sasitīts ar eksogēnu materiālu vai asins izplūšanu acs vidē. Abu faktoru ietekmē veidojas lokāli kūlīši, kas ir spējīgi izkliedēt gaismu, kas iekļūst acī. Pacienti pie apduļķojuma parādīšanās var sūdzēties par dažādu plankumu, ēnu vai tīklu redzēšanu redzes laukā un to šķietamu pārvietošanos. Stiklveida ķermeņa apduļķojums parasti biežāk kļūst sastopams pēc trešās dzīves desmitgades. Pārsvarā šis apduļķojums ir labvēlīgs, bet pacientiem tāpat var rasties sūdzības par viņu redzes ietekmējošo dzīves kvalitāti (*Webb et al., 2013*).



1.2.att. Redze cilvēkam ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu (*Floaters and spots, 2023*)

1.5 Pacientu diagnostika

Pacienta profils, kurš sūdzas par stiklveida ķermeņa apduļķojumu parasti ir uz detaļām orientēta persona, kas meklē pilnību attiecībā uz savu redzi, dažos gadījumos arī apsēsti ar to. Motivācija ir tas, kas atšķir pacientus, kuri dodas pie jebkura pieejamā ārsta un eksperta no tiem, kuri vienkārši vēlas uzlabot savu dzīves kvalitāti. Tiek pausts, ka šiem pacientiem, kuri dodas pie visiem pieejamajiem ārstiem problēma ir vairāk psiholoģiska nekā klīniska, pacientam apslēpti baidoties par nespēju pielagoties pildīt ikdienas darbus. Visi pacienti tomēr neatbilst šim profilam – tāds, kurš apmeklē visus ārstus. Šo pacientu dēļ paliek grūti izšķirt, kam tiešām vajadzīga oftalmoloģiska palīdzība un kuram nē (*Milston et. all., 2016*).

1.5.1 Ultrasonogrāfija

Ultrasonogrāfija oftalmoloģijā ja tiek pielietota daudzas desmitgades. Tā tiek izmantota lai novērtētu okulāros simptomus acīs (*Lahham et al., 2019*).

Ultrasonogrāfija tiek izmantota, lai vizualizētu objektus pašā stiklveida ķermenī. Ar ultraskaņas palīdzību tiek mērītas akustiskās pretestību atšķirības, ko rada atbalsis dažādā

blīvuma iekšējās stiklveida ķermeņa struktūras, parasti tiek izmantoti viļņi 8-10 MHz diapazonā, radot viļņus, kas ar garumu 0,2 mm. Ar šo izmeklēšanas metodi var identificēt tādas pataloģijas kā asins izplūdumus, aizmugurējo stiklveida ķermeņa atslāņšanos, asteroīdu hialozi un lielus svešķermeņus. Priekšrocība šai metodei ir spēja dot vizuālo attēlu aizmugurējām stiklveida ķermeņa daļām neatkarīgi no priekšējo struktūru aptumšojuma, kā arī ar ultraskaņas palīdzību var noteikt kolagēna šķiedru blīvumu (*Huang e. al., 2016*).

1.5.2 Kombinētā OCT/SLO izmeklēšana

Šī izmeklēšanas metode sākumā balstījās tikai uz OCT(optical coherence tomography), kas nebija ar īpaši precīziem mērījumiem, tad nāca klajā SD-OCT (Spectral domain- optical coherence tomography) ar kuras palīdzību bija iespējams iegūt labāku attēlu un salīdzinājumā ar ultraskaņas izmantošanu šī metode deva labākus attēla datus, tika iegūts skaidrāks horizontālais attēls kā arī skaidrāka iekšējās struktūras karte. SD-OCT pielietojums kopā ar SLO (scanning laser ophthalmology) dod skaidrākus priekšstatu par paša stiklveida ķermeņa struktūru un tajā attīstošajām pataloģijām (*Huang et al., 2016*).

Pēc 202 acu izmeklējuma ar SD-OCT/SLO tika atklata augsta korelācija starp atklāto pilnīgiem un daļējiem stiklveida ķermeņu atslāņošanās gafījumiem, salīdzinot iegūtos datus ar ultrasonogrāfijas rezultātiem. Šādu augstu korelāciju SD-OCT/SLO sniedza SLO ar to, ka tā bija ar labi attīstītu dziļuma uztveri, ļaujot ļoti labi saskatīt stiklveida ķermenī esošās struktūras. Ar to tika iegūti skaidri dati, ļaujot saskatīt apgabalus, kas veidoja ēnu uz tīklenes (*Huang et al., 2016*).

1.5.3 Dinamiskā gaismas izkliede

Dinamiskās gaismas izklijes pielietojums oftomoloģijā ir plašs. Šī diagnostikas metode tiek pielietota diabētiskās vitreopātijas raksturošanā, kolagēna šķiedru agregācijas noteikšanai stiklveida ķermenī diabēta gadījumā, palīdz identificēt pacientus ar augstu kataraktas risku kā arī tiek izmantota, lai izvērtētu iekaisumus un būtu kā monitoringa rīks pēc dažādām acs injekcijām un operācijām (*Huang et al., 2016*).

Dinamiskā gaismas izkliede ir uz lāzera balstīta nanodetektors. Ar šo izmeklēšanas metodi var detektēt daļiņas izmēros no 3nm līdz 3 μm, var izmeklēt acs daļas kā radzenē, lēcā un arī stiklveida ķermenī. Ar šīs metodes palīdzību ir iespējams izveidot trīsdimensionālu karti ar stiklveida ķermeņa makromolekulām (*Huang et al., 2016*).

1.6 Stiklveida ķermeņa apduļķojuma veidi

Kopumā stiklveida ķermeņa apduļķojumus iedala 2 grupās – Pirmējais un sekundārais. Pirmējais stiklveida ķermeņa apduļķojums ir saistīts ar pašas acs iekšējos struktūru izmaiņām kā novecošana, kad, cilvēkam novecojot, stiklveida ķermeņa gēla konsistence deģenerējas un notiek sinhēzes un sinerēzes procesi, proti sinhēzes procesa rezultātā notiek stiklveida ķermeņa

gēla sašķidrināšanās un sinhēzes procesa rezultātā notiek kolagēnu šķiedru agregācija, salīpot šīm šķiedrām kopā un apduļķojuma daļinu radīšanu. Šīs izmaiņas sāk norist pēc 40 gadu vecuma, kad jau stiklveida ķermeņa sastāvs ir 80% gēls un 20% šķidrums, un jau sasniedz 70-80 gadu vecumu šī atšķirība vairs nav, gēls sastāvā ir tikpat daudz cik šķidrums 50%. Sašķidrināšanos visvairāk var novērot tieši stiklveida ķermeņa centrālajā daļā (*Ahmed et. all., 2022, Remington et al. 2012*).

Vel pie primārā apduļķojuma izraisītājiem var pieminēt stiklveida ķermeņa atslāņošanos pie augsts pakāpes miopijas, kad notiek hialoīda segmenta atslāņošanās. Ja šis proces sēkas no priekšējās stiklveida ķermeņa daļas sūdzības var nerasties, bet ja no aizmugurējās daļas, tad var parādīties sūdzības par peldošiem vai lidojošiem objektiem redzes laukā (*Švede et. all., 2008*).

Sekundārais stiklveida apduļķojums var rasties eksogēnu jeb ārēju apstākļu dēļ. Biežs izcelsmes iemesls ir asiņošana acs traumas vai vispārējās organisma slimību kā diabēts, hipertensija, asinsvadu slimības u.c dēļ, asiņošana stiklveida ķermenī, kas atkarībā no izplūdušā asins daudzuma var radīt vieglu apduļķojumu, kad būs novērojamas šīs apduļķojuma daļiņas līdz pat pilnīgai stiklveida ķermeņa piepildīšanai, kad rodas hemoftalms. Hemoftalma gadījumā redzes asums var tikt novērots tikai kā gaismas sajūtas (*Švede et. all., 2008; Milston et al., 2016*).

Sekundārais stiklveida apduļķojums arī var rasties pēc dažādu intraokulāru operāciju vai injekciju veikšanas. Pēc operāciju veikšanas var rasties perfluorogļūdeņraža vai silikona eļļas burbulīši, pēc intraokulāru injekciju, kurās arī tiek injicēti reaģenti ar gaisa burbulīšiem tie reabsorbēsies, bet paši izmantotie līdzekļi var palikt stiklveida ķermenī. Šīs vielas, kuras neabsorbējās acs struktūrās var salipt kopā ar stiklveida ķermeņa iekšējajām makromolekulām, radot apduļķojuma daļiņas un izmainīt arī paša stiklveida ķermeņa struktūru (*Mikston et al., 2016*).

1.7 Stiklveida ķermeņa apduļķojuma ārstēšana

1.7.1 YAG lāzera vitrolīze

Pagaidām zināmas 2 metodes stiklveida ķermeņa apduļķojuma ārstēšanai. Viena no šīm metodēm ir YAG lāzera vitreolīze, procedūra kura ietver nanosekunžu lāzera impulsu pielietošanu, lai iztvaicētu un sadalītu stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņas (*Nikolay et al., 2022*).

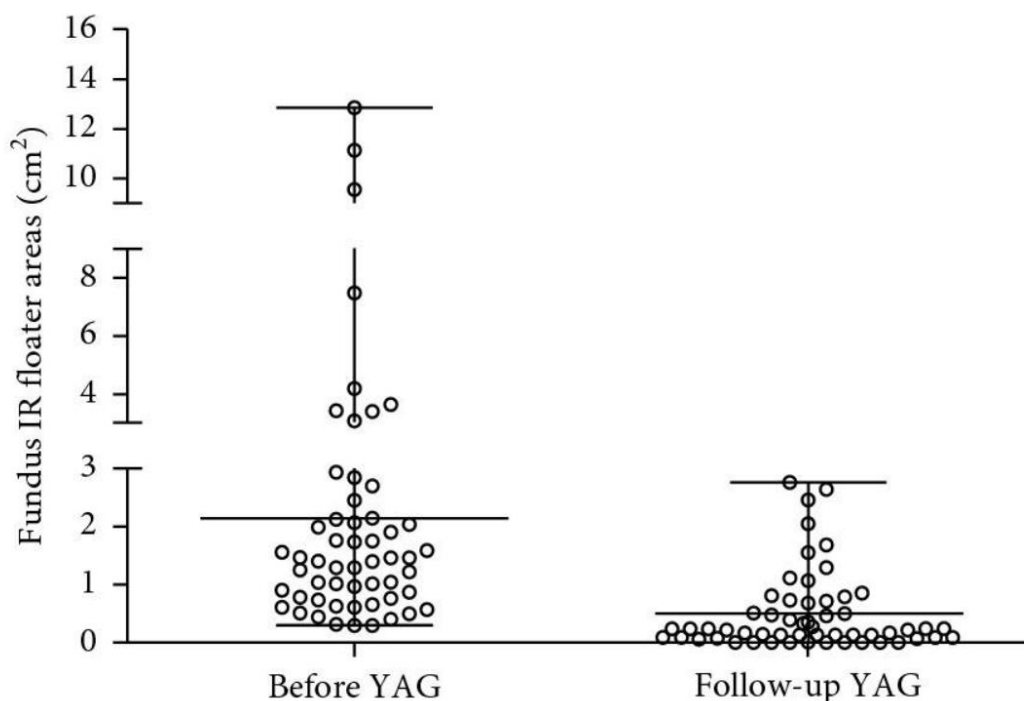
Lāzers darbības principā izmanto optisko sadalīšanu, kam ir nepieciešama ļoti augstas frekvences elektriskais lauks elektromagnētiskā spektra optiskajā apgabalā, ar ierobežojumu nelielā apgabalā. Optiskā sadalījuma zonas centrā temperatūra ir vairāki tūkstoši grādu. Lāzers veic stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņu fotokonversiju par gāzi, izmantojot fotoķīmisko, termisko, termoakustisko un elektromagnētisko optiskā lauka efektu kombināciju. Lāzera

uzliesmojumu veic diapazonā, kurā iegūst optisko sadalīšanos, lai mainītu vielas agregātstāvokli no cietas uz šķidru un arī dažos gadījumos uz gāzi. Gāzes burbuļi, kas veidojas, peld un pakāpeniski izšķīst, pēc izšķīšanas gāzes var šķērsot šūnu membrānas un tikt izvadītas pa asinsvadiem. Jo mazāka ir fokusa zona un īsāks impulsa platums, jo mazāk plazmas enerģijas ir nepieciešams saistītā triecienviļņa radīšanai. Pateicoties īsajam impulsa ilgumam, kas ilgst 4 ns, siltums no impulsa tiek izkliedēts pirms nākamā impulsa raidīšanas, bet, ja lāzera impulss tiks izšauts stiklveida ķermenī ar enerģijas līmeni zem optiskā sadalīšanās līmeņa, kas parasti ir aptuveni 2,2 mJ, tad stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņa tiks tikai sadrumstalotas, un sekmīgs procedūras rādītājs būs diezgan zems (*Nikolay et al., 2022*).

Lai šo procedūru varētu veikt ir ir jāvadās pēc kritērijiem, kad pacientam ir novērojami izteikti stiklveida ķermeņa apduļķojuma simptomi, piemēram, grūtības vadīt auto, lasīt, lietot datoru vai arī tie ievērojami traucē koncentrēties uz ikdienišķiem darbiem. Procedūra tiek veikta, lai uzlabotu pacienta dzīves kvalitāti un tā netiek veikta neesot simptomiem apduļķojuma gadījumā. Viens no kritērijiem ir, ja pacientam apduļķojums ir ilgāk nekā 2 mēnešus bez būtiskām izmaiņām, jo jebkuri stiklveida ķermeņa atslāņošanās procesā radušās daļiņas var izzust līdz ārstēšanas brīdim, kas var palielināt varbūtību, ka pacients pēc šī laika perioda paliks bez simptomiem. Ja izmaiņas nav bijušas iepriekš minēto laika periodu tad aizmugurējā stiklveida ķermeņa atslāņošanās kļūst pilnīgāka, ļaujot apduļķojuma daļiņām izvirzīties uz priekšu vieglākai un drošākai ārstēšanai. Otrs no kritērijiem ir, ka apduļķojums ir vismaz 2 milimetru attālumā no lēcas un tīklenes. Lāzera fokuss jānoregulē manuāli, ievērojot noteiktu attālumu līdz lēcai un tīklei. Ir noteikts, ka drošs attālums procedūras veikšanai ir 2-5 mm no lēcas un 2-4 mm no tīklenes. Ja rodas situācijas, kad vismaz 2 mm robežattālums no šīm struktūrām netiek ievērots, ir iespējamība, ka var rasties komplikācijas saistībā ar lēcu vai tīkleni, ja procedūru veiks (*Nikolay et al., 2022*).

Pēc 2019. gada apkopotajiem datiem par 2015. gada jūniju līdz 2017. gada novembrim pacientiem, kuriem bija veikta YAG lāzera vitrektomija tika salīdzināts viņu komforta stāvoklis un vispārējā acs veselība pirms un 6 mēnešus pēc operācijas. Kopā tika apkopti dati par 50 pacientiem – 25 sievietēm un 25 vīriešiem, kuru vidējais vecums bija 60,34 gadi, un operācija tika veikta uz 55 acīm. Pirms operācijas smagi apduļķojuma simptomi tika novēroti 17 acīm, vidēji smagi - 21 un viegli - 17 acīm. Tika arī nomērīts apduļķojuma daļiņu radītais ēnas laukums, kas svārstījās no 0,29-12,85 cm², ar mediānu 1,41 cm². Pēc 6 mēnešiem simptomi bija uzlabojušies 43 acīm, 8 acīs apduļķojums bija pilnībā izzudis, bet 4 acīs izmaiņu nebija. Stiklveida ķermeņa apduļķojumu daļiņu lielums krietni saruka, esot robežās no 0 līdz 2,77 cm², mediānu 0,12 cm². Šai operācijai ir diezgan augsts apmierinātības un izdošanās procentuālais

lielums, jo izmaiņas nenovēroja 4 pacienti. Vienam no pacientiem, veicot šo operāciju, radās viegls tīklenes bojājums, bet netika novērotas nekādas komplikācijas pēc operācijas veikšanas (Sun et al., 2019).

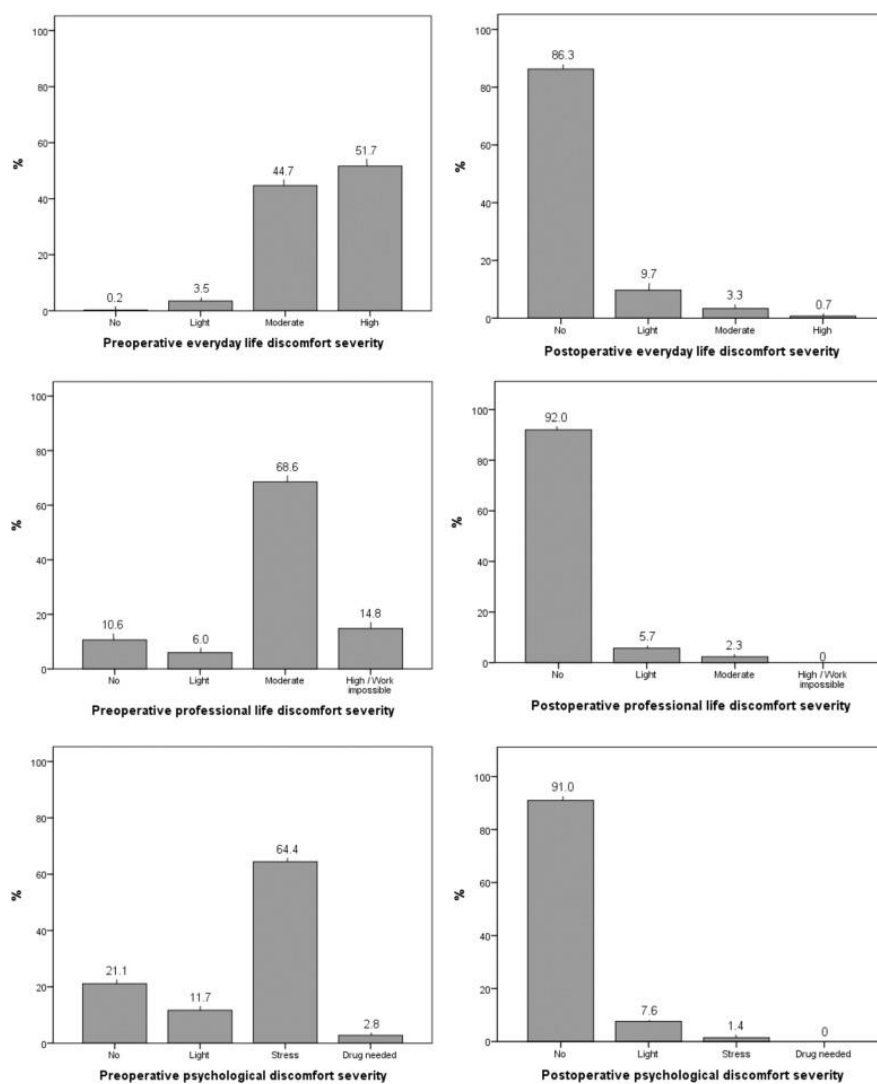


1.3 att. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņu laukums pirms un 6 mēnešus pēc YAG lāzera vitreolīzes (Sun et al., 2019).

1.7.2 Pars Plana vitrektomija

Pars plana vitrektomija (PPV- Pars Plana Vitrectomy) ir plaši izmantota vitreoretinālās ķirurģijas metode, kas dod piekļuvi aizmugurējam acs segmentam, lai kontrolētā, slēgtā sistēmā varētu ārstētu tādus stāvokļus kā tīklenes atslāņošanās, stiklveida ķermeņa asiņošana, endoftalmīts un makulas caurumi (Gong et al., 2022).

Pēc 2020. gada maijā sniegtās informācijas kurai datus sniedza 48 pars plana vitrektomijas ķirurgi par 581 aci uz kurām šī procedūra tika veikta datu analīze par procedūras efektivitāti un apmierinātību. No šiem datiem ieguva, ka 92% no visiem operētajiem bija apmierināri ar procedūras iznākumu un 86,3%, ka simptomi ar, kuriem bija saskārušies bija pilnībā izzuduši. Pars plana sniedza augstu apmierinātības līmeni kā arī ausgtu ulzabojumu pacientu ikdienišķajā un profesionālajā dzīvē (skat. att.), var ļoti labi redzēt kā mainās pacientu atbildes pirms un pēc operācijas par simptomu mazināšanos vai vispārēju izzušanu. (Zeydanli et al., 2020)



1.4 att. Stiklveida ķermeņa apduļķojumu ietekme uz pacientu ikdienas dzīvi, profesionālo dzīvi un psiholoģisko stāvokli pirms un pēc operācijas (Zeydanli et al., 2020)

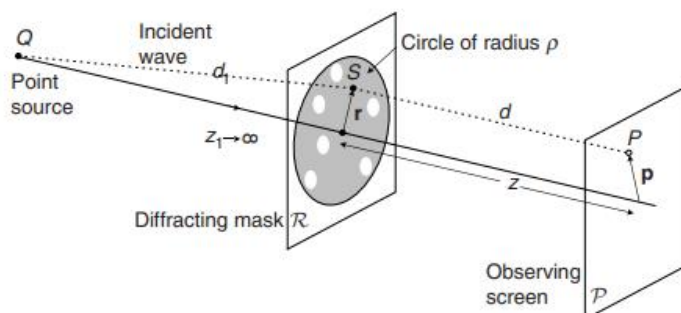
Tomēr tā nesniedza rezultātus bez nekādām komplikācijām, jo 16 acīs pēc operācijas veikšanas vidēji pēc 16 mēnešiem attīstījās katarakta. Atkarībā no griezumuma skaitu veikšanas ātruma bija atkarīga tīklenes atslāņošanās novērojāmības daudzums acīs, jo veicot mazāk kā 1500 griezumus minūtē 14 acīs aptuveni 3 mēnešus pēc procedūras bija novērojama tīklenes atslāņošanās, bet ja šis atrums bija virs 1500 griezumumiem minūtē, tad risku nesaskatīja šādam iznākumam, un tika arī novēroti gadījumi kad operācija laikā bija pilni tīklenes biezuma pārrāvumi, kas bija novēroti 29 acīs (Zeydanli et al., 2020).

1.8. Gaismas difrakcija

Difrakcijas efektus var ērti iedalīt Freneļa jeb tuvā lauka un Fraunhoferā jeb tālā lauka tipos atkarībā no tā, kā mainās fāze k_0d , šķērsojot masku R. Tas ir atkarīgs no attāluma d starp punktu S un novērojuma punktu relatīvajām vērtībām, no R lieluma, kuram $f(r)$ nav nulle (t. i., maskas pārraides apgabala lieluma), un viļņa garuma $\lambda = 2\pi/k_0$. Ja k_0d mainās lineāri

atkarībā no r , difrakciju sauc par Fraunhofera difrakciju; ja izmaiņas ir nelineāras un lielākas par $\pi/2$, tad difrakciju sauc par Freneļa difrakciju (Lipson et al., 2010)

Figure 7.3
Elements of a diffraction calculation in the Fresnel approximation.



1.5 att. Difrakcijas elementu aprēķinu Freneļa aproksimācijā (Lipson et al., 2010)

1.8.2. Freneļa difrakcija

Freneļa kā matemātiķa prasmes ļāva viņam pārvērst fizikas intuīciju spēcīgās un kodolīgās idejās. Iespējams, A.Freneļa lielākais sasniegums bija Hīgensā viļņu superpozīcijas principa adaptēšana matemātiskā formulā (Huygens' principle of wavelet superposition into a mathematical formula). Hīgensā princips apgalvo, ka viļņu fronti var uzskatīt par daudzām viļņu frontēm, kas izplatās un interferē, veidojot jaunas viļņu frontes (skat. 1.6. att.). Difrakcijas parādību tad saprot kā viļņu laušanas izkliedi ap šķēršļiem gaismas ceļā. (Peatross et al. 2023)

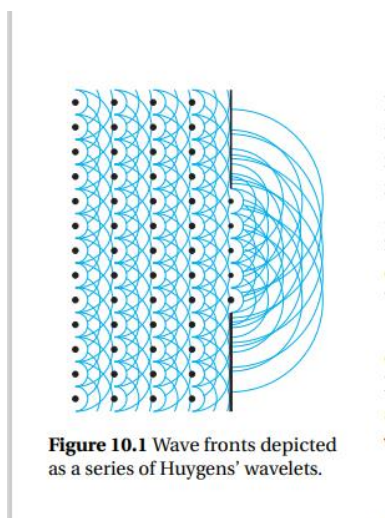


Figure 10.1 Wave fronts depicted as a series of Huygens' wavelets.

1.6 att. Viļņu frotē attēlotas kā Hīgensā viļņu virknes (Peatross et al. 2023)

Pēc tam, kad Hīgensā principu formulēja kā difrakcijas integrāli, A.Frenels, lai atvieglotu integrāciju, savai formulai pievienoja aproksimāciju, ko nosauca par Freneļa aproksimāciju. Freneļa tuvinājums jeb tuvā lauka difrakcija ir gaismas lauku apgabalā, kas atrodas aiz apertūras. Difrakcijas modelis var attīstīties sarežģītā veidā, palielinoties attālumam no apertūras. Attālumā tālu lejup no apertūras difrakcijas modelis iegūst galīgo formu, kas vairs neattīstās, izņemot to, ka pieaug proporcionāli attālumam. Šī tāla lauka robeža bieži izraisa interesi, un izrādās, ka šajā gadījumā Freneļa difrakcijas formulu var vēl vairāk vienkāršot.

Freneļa difrakcijas formulas tāla lauka robežu sauc par Fraunhoferu aproksimāciju. (Peatross et al. 2023)

Katram sfēriskajam viļņa garumam tiek piešķirts lauka stiprums un fāze tā rašanās vietā. Matemātiski šī summēšana izpaužas kā katra viļņlauža rādiuss, kad tas individuāli šķērso punktu (x, y, z) . Šo attēlu (10.1.) var saukt par Hīgensu un Freneļa difrakcijas formulu, lai gan par šīs integrālās formulas autoru tiek uzskatīts Frenelis. Koeficients $-i/\lambda$ integrāļa priekšā (skat 1.7 att. 10.1) nodrošina pareizo fāzi un lauka intensitāti, nemaz nerunājot par pareizajām vienībām. Apkopojot (skat 1.7 att.10.1), var aprēķināt lauku lejup pa straumi, ņemot vērā zināšanas par lauku apertūrā. Lauku katrā apertūras punktā (x', y') , kas var mainīties atkarībā no stipruma un fāzes, uzskata par sfēriskā viļņa avotu. Integrālis (skat 1.7 att.10.1.) summē visu šo viļņu ieguldījumu. (Peatross et al. 2023)

$$E(x, y, z) = -\frac{i}{\lambda} \iint_{\text{aperture}} E(x', y', 0) \frac{e^{ikR}}{R} dx' dy' \quad (10.1)$$

where

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + z^2} \quad (10.2)$$

1.7 att (Peatross et al. 2023)

Ja apertūrai ir sarežģīta forma, difrakcijas integrāli (skat 1.7 att.10.1) var būt ērti sadalīt vairākās daļās. Kā piemēru var paņemt, ka mums ir apertūra, kas sastāv no apaļa šķēršļa kvadrātveida atverē, kā parādīts 10.5. attēlā. Tādējādi gaisma caurplūst caur apgabalu starp apli un kvadrātu. Var novērtēt kopējo difrakcijas modeli, vispirms novērtējot difrakcijas integrāli visam kvadrātam, ņemot vērā apaļo bloku, un pēc tam atņemot difrakcijas integrāli apaļai atverei, kurai ir bloka forma. Tādējādi tiek noņemta nevēlamā daļa no iepri

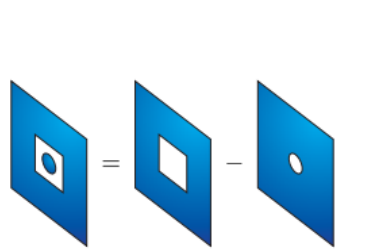


Figure 10.5 Aperture comprised of the region between a circle and a square.

1.7 att Aperatūra, kuru veido apgabals ap apli un kvadrātu (Peatross et al. 2023)

ekšējās integrācijas un iegūts kopējais rezultāts. To darot, ir svarīgi saskaitīt un atņemt integrāļus (t. i., laukus), nevis to kvadrātus (t. i., intensitāti). (Peatross et al. 2023)

Iespējams, sākumā nav tik acīmredzami, ka iepriekš minēto superpozīcijas metodi var izmantot, lai apstrādātu difrakciju no galīgiem šķēršļiem, kas pārtrauc bezgalīgi plašu plakano vilni. Vienkārši aprēķina bloķētās lauka daļas difrakciju, it kā tā nāktu no atvēruma maskā. Rezultātu pēc tam atņem no plakanā viļņa, plakano viļņu integrēšana nav nepieciešama (skat 1.8 att.). To sauc par Babinē principu (Babinet's principle). (Peatross et al. 2023)

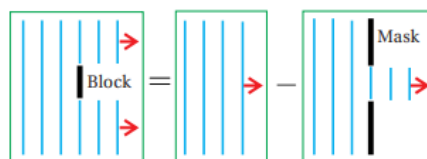


Figure 10.6 Side view of a circular block in a plane wave giving rise to **diffraction** in the geometric shadow.

1.8 att. Apaļā bloka skats no malas uz plakano vilni, kas rada difrakciju ģeometriskā ēnā (Peatross et al. 2023)

1.8.3. Fraunhofer difrakcija

Difrakcijas integrāļa papildu aproksimāciju padarīja slavens Jozefs fon Fraunhofers (Joseph von Fraunhofer). Fraunhofer aproksimācija ir A.Freneļa aproksimācijas ierobežojošais gadījums, kad lauks tiek novērots attālumā tālu aiz apertūras jeb tālo lauku. Difrakcijas modelis nepārtraukti attīstās gar z-virzienu, kā to apraksta Freneļa tuvinājums. Galu galā tas pārvēršas galīgajā difrakcijas rakstā, kas, turpinot izplatīties, saglabājas, lai gan tā izmērs palielinās proporcionāli attālumam. Tieši šo tālo difrakcijas rakstu iegūst, izmantojot Fraunhofer aproksimāciju. Tā kā Freneļa aproksimācija prasa, lai leņķi būtu mazi (t.i., paraksiskā aproksimācija - paraxial approximation), arī Fraunhofer aproksimācija ir šāda ēnā (Peatross et al. 2023)

Fraunhofer robeža atbilst gaismas maksimālajam difrakcijas apjomam, ko piedzīvo gaisma optiskā sistēmā. Fraunhofer aproksimācija attiecas uz difrakciju, ja izplatīšanās attālums no apertūras ir pietiekami liels. Matemātiski to iegūst, izmantojot divdimensiju Furjē transformāciju. Tāla lauka difrakcijas attēla intensitāte ir šāda:

$$I(x, y, z) = \frac{1}{2} c \epsilon_0 \left| \frac{1}{\lambda z} \iint_{\text{aperture}} E(x', y', 0) e^{-ik(\frac{x}{z}x' + \frac{y}{z}y')} dx' dy' \right|^2 \quad (11.1)$$

1.9 att Difrakcijas intensitāte (Peatross et al. 2023)

Ievērojams, ka difrakcijas atkarība no x , y un z izpaužas tikai ar kombināciju

$$\theta_x \cong x/z \text{ and } \theta_y \cong y/z.$$

1.10 att Difrakcijas atkarības kombinācija (Peatross et al. 2023)

Tāpēc Fraunhofera limita difrakcijas rakstu regulē divi leņķi θ_x un θ_y , un rakstu saglabā sevi neierobežoti ilgi. Gaismai turpinot izplatīties, raksts palielinās proporcionāli veiktajam attālumam, lai leņķa platums saglabātos (skat 1.11 att.). (Peatross et al. 2023)

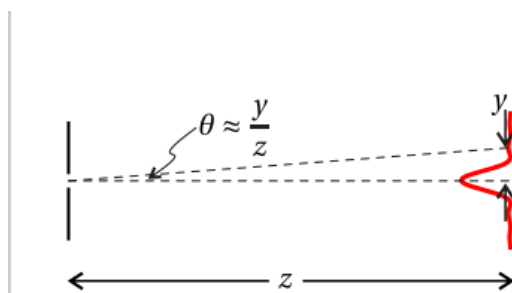


Figure 11.1 Diffraction in the far field.

1.11 att Difrakcija tālajā laukā (Peatross et al. 2023)

Aplūkojot lēcu ar fokusa attālumu f , kas novietota gaismas ceļā pēc apertūras (skat. 1.12. att.). Lai objektīvs ir novietots patvaļīgā attālumā L aiz diafragmas. Objektīvs rada Fraunhofera attēla attēlu jaunā vietā d_i pēc objektīva saskaņā ar attēla veidošanas formulu

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-(z-L)} + \frac{1}{d_i}. \quad (11.2)$$

1.12 att. Attēla veidošanas formula (Peatross et al. 2023)

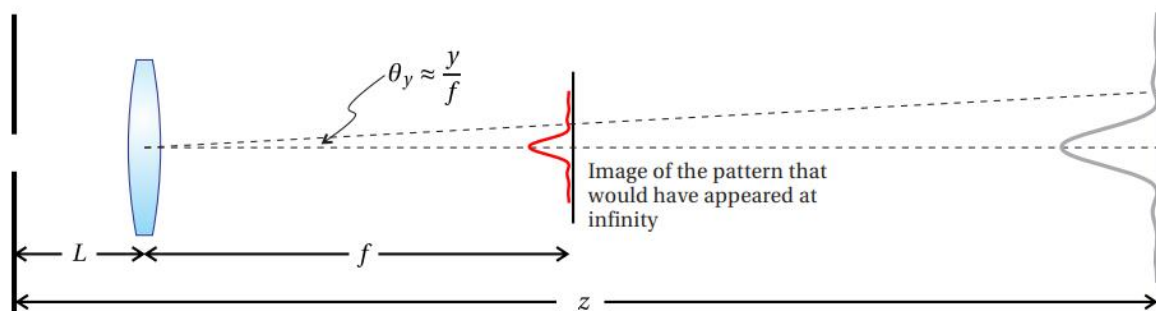


Figure 11.2 Imaging of the Fraunhofer diffraction pattern to the focus of a lens.

1.13 att Attēla viedošanās Fraunhoferā difrakcijas paternai uz lēcas fokusa (Peatross et al. 2023)

Paturot prātā, ka objektīvs pārtrauc gaismas plūsmu, pirms Fraunhoferā zīmējums ir iespējams izveidoties. Tas nozīmē, ka Fraunhoferā difrakcijas rakstu var uzskatīt par virtuālu objektu attālumā $z - L$ pa labi no lēcas. Tā kā Fraunhoferā difrakcijas raksts rodas ļoti lielos attālumos (t. i., $z \rightarrow \infty$), Fraunhoferā raksta attēls parādās objektīva fokusā:

$$d_i \cong f. \quad (11.3)$$

1.14 att Fraunhofer attēla raksta parādīšanās fokusā (*Peatross et al. 2023*)

Tādējādi lēca ļauj ļoti ērti novērot Fraunhofer difrakcijas rakstu pat no relatīvi lieliem atvērumiem. Gaismai nav jāļauj izplatīties kilometru garumā. Ir tikai jāspēj novērot attēls lēcas fokusā (skat 1.13 att.) Ievērojiet, ka šim secinājumam nav svarīgs attālums L starp apertūru un lēcu, lai gan mēs zinām, ka Fraunhofer difrakcijas attēls rodas objektīva fokusā, jautājums par attēla lielumu paliek atklāts. Lai atrastu atbildi, ir jāpārbauda palielinājumu, kas ir dots ar formulu:

$$M = -\frac{d_i}{-(z-L)} \quad (11.4)$$

Taking the limit of very large z and employing (11.3), the magnification becomes

$$M \rightarrow \frac{f}{z} \quad (11.5)$$

1.15 att Palielinājuma formula (*Peatross et al. 2023*)

Ievietojot objektīvu, difrakcijas attēla izmērs samazinās par lēcu f fokusa attāluma attiecību pret sākotnējo attālumu z līdz attālajam ekrānam. Tā kā Fraunhofer režīmā difrakcijas attēls ir proporcionāls attālumam (t. i., izmērs $\propto z$), attēls objektīva fokusā mēro proporcionāli fokusa attālumam (t. i., izmērs $\propto f$). Tas nozīmē, ka modeļa leņķa platums tiek saglabāts. Lai iegūtu lauka izteiksmi jāizmanto Freneļa difrakcijas formula. (*Peatross et al. 2023*)

1. Pētījuma daļa

Mērķis: Izmantot fāzu kompensācijas mehānismu acs entoptisko mehānismu mazināšanai

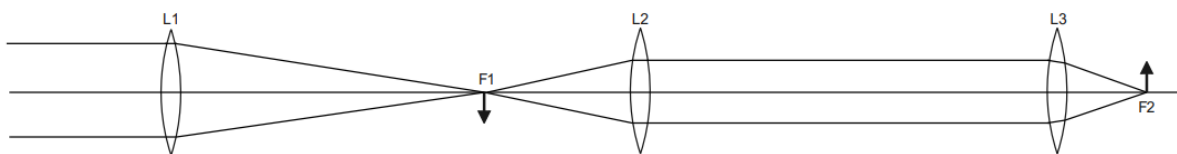
Uzdevumi:

1. Izstrādāt optisko sistēmu ar kuras palīdzību varēs vērot objektu talumā un apduļķojuma simulāciju
2. Simulēt apduļķojumus, izmantojot izkodinātos fāzu objektus
3. Koriģēt apduļķojumus ar pretfāzē izkodinātiem fāzu objektiem

2.1. Darba shēma

Lai spētu iegūt attēlu tika izveidota pēc šīs optiskās shēmas (att.2.1) optiskā sistēma. Šajā shēmā, skatoties no kreisās puses uz labo, mēs izmantojam lēcu (L1) ar kuras palīdzību mēs ieguvām ainavas attēlu. Tālāk ejot otrā lēca (L2) kopā ar acs lēcu (L3) veido teleskopu, kas dos palielinātu attēlu, kurš fokusēsies tiklens plaknē, kurā būs novietota kamera attēla skaidrai uztveršanai.

Pēc šī plāna tika izveidota optiskā sistēma (att. 2.2), kurā iepriekš minētas komponentes arī var redzēt.



2.1. att. (Optiskā shēma ar lēcām un to fokālajiem punktiem)

Lai iegūtu nepieciešamos fokālos attālumus tika izmantots plates interferometrs (att. 2.3) un lāzera stars (att. 2.4), kur ar plates interferometra un lāzera gaismu tika savietoti lēcu fokusi, kuri skatoties pēc optiskās shēmas (att 2.1) attēla ieguves lēcai L1 ir 30 mm, lēcai L2 150 mm, kura kopā ar acs lēcu L3 ar fokālo garumu 24mm, kalpo kā teleskops.



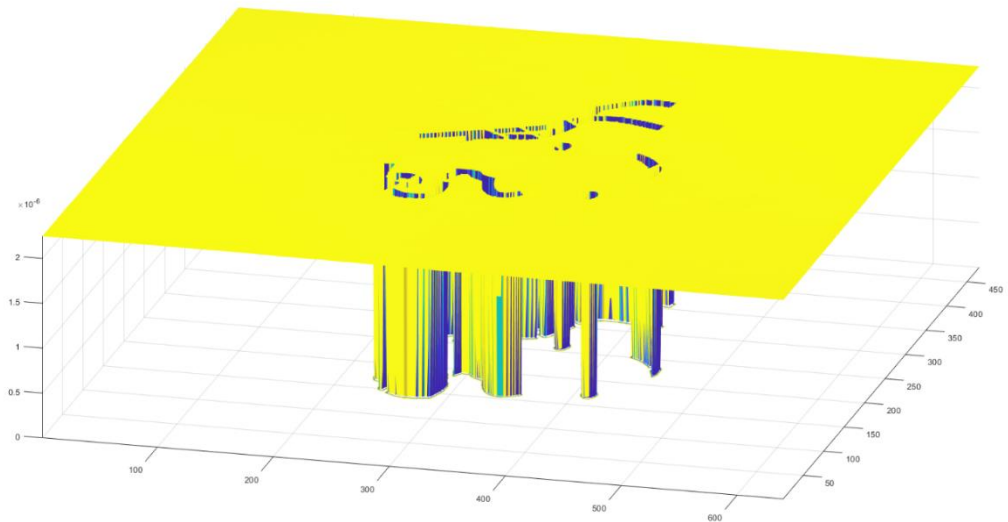
2.2.att. (Optiskās sistēmas izveide pēc optiskās shēmas)

Lai spētu iegūt skaidri saskatāmu attēlu un simulēt stiklveida ķermeņa apduļķojuma radīto tika izmantota web-kamera, kura tika pievienota aiz acs lēcas, optiskās sistēmas beigās. Šai kamerai tika cieši klāt pielikta plāksnīte ar izkodinātām struktūrām, priekš apduļķojuma simulācijas, tā lai staro kameru un plāksnīti nebūtu nekādas brīvas telpas. Objekts kurš tika izmantots bija ainava pretējā daugavas krastā skatā no cietvielu fiziaks institūta

2.2 Struktūru veidošana

2.2.1 Reaktīvā jonu kodināšana

Reaktīvā jonu kodināšana ir plazmas process, kurā radiofrekvences izlādes ierosinātas daļiņas šajā gadījumā joni kodina substrātu vai plānas plēves zemspiediena kamerā. Reaktīvā jonu kodināšana ir sinerģisks process, kur abu substrātu kopējais radītais efekts ir lielāks nekā katra individuālais efekts kopēji. Šajā procesā ķīmiski aktīvās vielas un enerģētiskie joni bombardē. Reaktīvā jonu kodināšana ir ātrāks nekā tīra fizikālā jonu bombardēšana vai spontāna ķīmiskā kodināšana. Tā kā jonu bombardēšana ir virzīta, reaktīvā jonu kodināšanai ir anizotrops raksturs ar samazinātu sānu kodināšanas ātrumu un vertikālām vai gandrīz vertikālām sānu malām. Reaktīvā jonu kodināšana ir būtiska, ja ir vajadzīgas šauras līnijas vai kanāli vai ja ir jāgatavo struktūras ar augstu aspektu attiecību. Pēc šīs metodes tika izkodināta gan apduļķojumu simuējošā plāksnīte, gan plāksnīte koriģēšani, kura tika kodināta pretfāzē. Kodinājuma topogrāfiskais plāns (att. 2.3) (*Franssila et al. 2008*)



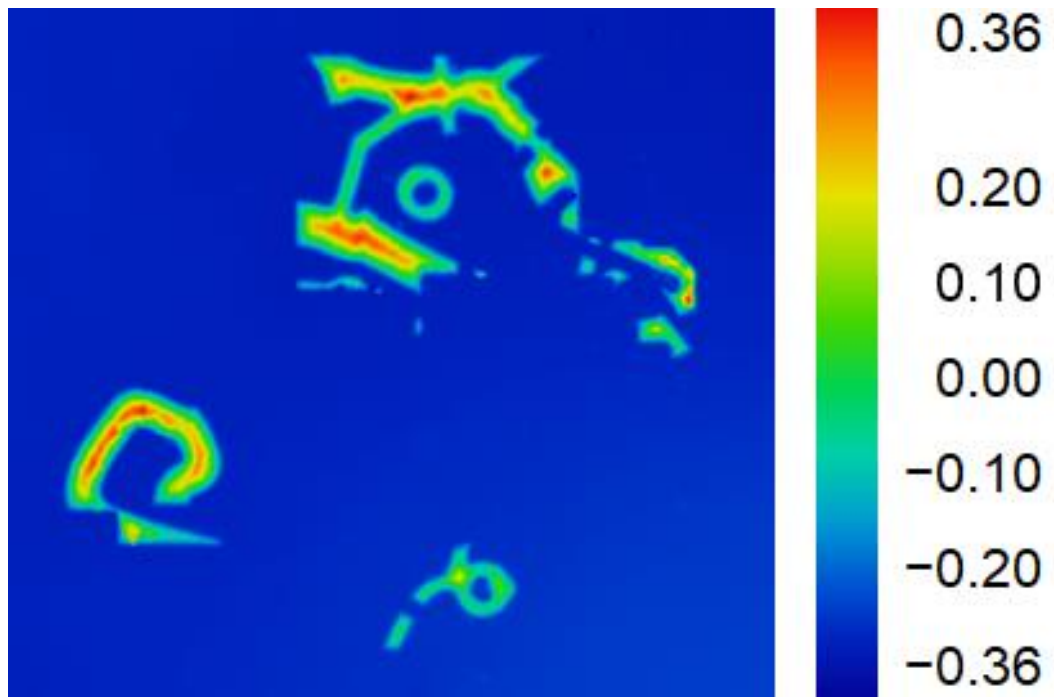
2.3.att Reaktīvās jonu kodināšanas plāksnītes topogrāfiskais skats

2.2.2 Optiskā litogrāfija

Optiskā litogrāfija jeb fotolitogrāfija ir veids kā var izveidot mazas struktūras vai elementus uz stikla plāksnītes, izmantojot fotorezistu, kas ir plāna gaismjutīga polimēra plēve. Kodinot ar UV gaismu, no fotorezista tiek izveidoti iepriekš modelēti elementi. (Uniyal 2022)

Sagatavojot plāksnīti kodināšanai to sākumā iegremdē fluorūdeņradī un noskalo ar dejonizētu ūdeni un izžāvē ar slāpekli, paralēli veicot vēl iepriekšēju apdedzināšanu, lai no virsmas tiktu novākts jebkāds atlikušais ūdens un pārklāta ar heksametildisizilānu (HMDS), kas uzlabo fotorezista pievienošanu plāksnītei. (Uniyal 2022, *Integrated micro materials*)

Plāksnīti lēnam griež un tai pa to laiku tiek uzklāts fotorezista klājums, kura biezums ir atkraīgs no griešanas ātruma. Pēc klājuma uzklāšanas tiek veikta plāksnītes mīkstā apdedzināšana 90-110°C temperatūrā, kas padarīs struktūras izturīgākas. Talāk tiek veikta ekspozīcija, kad plāksnīti atdzesē līdz istabas temperatūrai, lai pēc tām varētu to pakļaut UV gaismai, un pēc tam ar izgatavošanas ķīmiju tiek izšķīdinātas fotorezista šķīstošās zonas. Pēc šī procesa tiek veikts pēdējais solis- cietā cepšana, kuru veic 140-150 °C temperatūrā, kas nodrošinās struktūru termisko izturību. (Uniyal 2022, *Integrated micro materials*)



2.4.att Struktūras kodinātas buferizētā fluorūdeņražskābē

2.3 Eksperimenta gaita

Pirms eksperimentālās daļas uzsākšanas, lai spētu nosimulēt acs redzes lauku, tika iegūts izvirpots metāla disks ar spraugu vidū 4 mm, lai simulētu zīlīti. Šis disks pirms optiskās sistēmas salikšanas tika ievietots acs modelis, lai iegūtais attēls būtu tuvu tādām, kādu redzētu pats cilvēks. Kā arī tika izgatavots statīvs kamerai, kurš dotu kameras tiešu novietojumu pretī makslīgās acs cetram, skaidrai attēla ieguvei. Tika iegūts attēls ar 6.25 reižu lielu palielinājumu

Pēc sistēmas salikšanas kamerai tika piespiesta klāt statīvā plaksnīte ar izkodinātām struktūrām izmantotjot reaktīvo jonu kodināšanu (**skat 2.2.1**) un tika iegūta stiklveida ķermeņa apduļķojuma simulēts attēls(**att 2.5**)

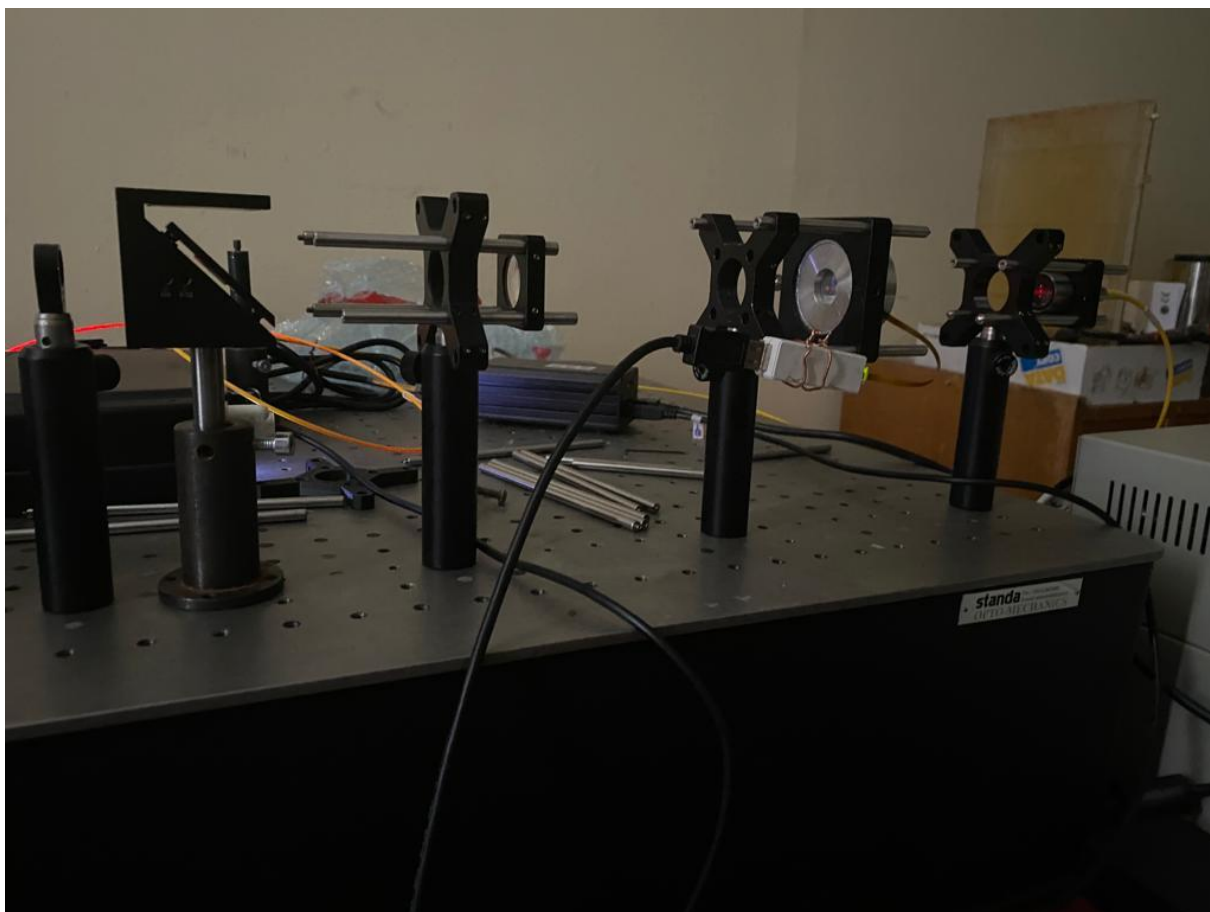


Att 2.5 (Simulēts stiklveida ķermeņa apduļķojums izmantotjot struktūras iegūtas ar reaktīvo jonu kodināšanu)

Cenšoties koriģēt radītā apduļķojumu simulāciju tika saplēsta koriģējošā plāksnīte un tādēļ eksperimenta laika trūkuma dēļ tika mainīta metode, lai spētu koriģēt simulēto apduļķojumu un tādējādi arī tika mainīta simulējošā plāksnīte.

Jaunās plāksnītes tika iegūtas izmantojot optisko litogrāfiju (**skat 2.2.2**) un eksperimenta gaiti varēja turpināt. Svarīgi bija kodināt abas plāksnītes gan apduļķojuma simulējošo, gan koriģējošo pēc vienas metodes, jo šīm kodināšanas metodēm ir atšķirīga precizitāte un kontrolējamība.

Igūstot jauno apduļķojumu simulēšo plāksnīti pēc jaunās kodināšanas metodes, tā tika pielīmēta priekšā kamerai un pievienota optiskajai sistēmai apduļķojuma simulēšanai un koriģēšanai



att 2.6 (optiskās sistēmas kalibrēšana ar plātes interferometru)

Pēc sistēmas nokalibrēšanas, ievietojām apduļķojuma simulējošo stiklīņu sistēmā un varējām novērot apduļķojuma simulāciju (att 2.). Lai spētu skaidri saskatīt apduļķojuma daļiņas priekšā visai sistēmai tika novietoti divi polarizējošais filtri, kas deva kontroli par ienākošā apgaismojuma spilgtumu



2.7 att. (Stiklveida ķermeņa apduļķojuma simulēts attēls izmantojot optisko litogrāfiju)

3. Rezultāti

Ievietojot sistēmā klāt koriģējošo plāksnīti tika novērotas difrakcijas ainas, kas norāda uz to, ka šo fenomenu ir iespējams mēģināt koriģēt. Katra baltā sadaļa norāda uz difrakcijas ainu. Izmantojot Freneļa skaitļa formulu $F = a^2 / \lambda * z$, kur a - attālums starp struktūrām (50 mikroni), λ - gaismas viļņa garums pie zaļās gaismas (55nm), z - attālums starp struktūram un tīkliem (0.5mm), tātad iegūts Freneļa skaitlis ar lielumu 9,09, kas norāda, ka ir novērojama Freneļa difrakcija, šim skaitlim esot lielākam par 1,00



2.8 att (Stiklveida ķermeņa apdullķojums ar koriģējošajām struktūrām)

4.Diskusija

Igūtais Freneļa skaitļa lielums 9,09 norāda uz difrakcijas novērojamību un par to, ka šī metode strādā, novērojamā korekcija bija ar mazu novērojamo efektu, ko varēja izraisīt optiskās litogrāfijas kodināšana, kuras process ir mazāk kontrolējams, nedodot iespēju izkodināt pretfāzes objektus tiešo pretfāzē apduļķojuma simulējošajiem objektiem.

Varētu mēģināt arī izmantot koriģējošos fāzu objektus ar lielākiem izmēriem, gan laukumā gan kodinājuma dziļumā, jo koriģējot apduļķojumu nebija

Derētu uzlabot arī optiskās sistēmas koriģējošās plāksnītes piebīdes mehānismu uz apduļķojuma simulācijas attēlu, jo darba ietvaros spējām precīzi kontrolēt koriģējošās plāksnītes kustību virzienos uz augšu, leju un sāniem kā arī spējām mainīt tās rotācijas leņķi, bet nebija aparatūra ar kuras palīdzību būtu iespējams bīdīt plāksnīti tuvāk un tālāk, jo to mēs veicām, bīdot visu koriģējošo plāksnītes balsta mehānismu paši, kas, varbūtās, arī nedeva ļoti precīzu novietojumu pret apduļķojuma simulāciju.

Igūtie attēli nebija ar labāko kvalitāti, ko ietekmēja kopējā izmantotās kameras un izmantotā datora displeja izšķirtspēja. Derētu izmantot kādu kameru ar labāku izšķirtspēju, bet tas vienīgi varētu radīt problēmas ar ievietoanu sistēmā, ja kamera paliek lielāka.

Secinājumi

1. Pēc pareizu lēcu fokālo garumu savienošanas un pieslēgšanas datorizētai lēcai, ir iespējams izgatavot optisko sistēmu ar kuras palīdzību var tikt novērots objektu tālumā kā arī apduļķojums.
2. Izmantojot reaktīvās jonu kodināšanas un optiskā litogrāfijas metodes ir iespējams izkodināt fāzu objektus ar kuru palīdzību varam simulēt apduļķojuma daļiņas.
3. Kā noverojams attēlā 2.8, apduļķojuma simulācijas koriģēšana ir iespējama, jo katra baltā līnija, kura ir novērojama norāda uz difrakcijas ainu optiskajā sistēmā.

Nobeigums

Darba ietvaros apduļķojuma simulēšanai ar fāzu objektiem tika izmantotas divas metodes, lai spētu radīt šo simulāciju - optiskā litogrāfija un reaktīvā jonu kodināšana. Abas šīs metodes ļāva iegūt redzamu simulētu apduļķojumu.

Šīs metodes pielietojums dzīvē būtu aktuāls. Tā būtu neinvazīva metode ar kuras palīdzību varētu mazināt stiklveida ķermeņa apduļķojuma radītos efektus personām, kurām nav pieeja pie ķirurģiskajām procedūrām apduļķojuma ārstēšanai. Lai varētu pilnībā izkorigēt apduļķojumu būtu nepieciešama optiskās shēmas izveidi un jāseko acu kustībām.

Pateicība

Vēlos izteikt pateicību darba vadītājam fizikas doktoram Varim Kritānam par sniegto palīdzību bakalaura darba izstrādē, pacietību un sniegto atbalstu.

Pateicos Latvijas Universitātes optometrijas un redzes zinātnes nodaļai par sniegtajām zināšanām un par iespēju aizstāvēt darbu.

Paldies ģimenei un draugiem par morālo atbalstu darba izstrādes laikā.

Izmantotā literatūra

- Ahmed, F., Tripathy, K., (January 2022) Posterior Vitreous Detachment Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33085420/> (Skatīts 20.01.2023)
- Ankamah, E., Sebag, J., Ng, E., Nolan, J. M., (December 20, 2019) Vitreous Antioxidants, Degeneration, and Vitreo-Retinopathy: Exploring the Links Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7022282/> (Skatīts 20.01.2023)
- Asimellis, G., (2022) *Visual optics; lectures in optics* (4th ed.) SPIE
- Bergstrom, R., Czyz, C., N.(January 2022) Vitreous Floaters. Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29262091/> (Skatīts 05.01.2023)
- Baumane, K., Haringtone, A., Klindžāne, M., Konstantinova, D., Laganovska, G., Lūkina, L., Markevica, D., Oša, B., Petrova, T., Purviņa, S., Radecka, L., Rasa, I., Šepetiene, S., Treija, A., Trendeckā, J., Trēziņa, I., Valeiņa, I., Valeiņa, S., Vaļkova, I., Vaļkova, I., Vlatere, R., Vanags, J., Volksonē, L., Zālīte, S., & Zvirgda, Z.,(2008) *Acu slimības* (Guna Laganovska).SIA Nacionālais apgāds
- Floaters and spots (2023) Pieejams: <https://www.aoa.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/floaters-and-spots?sso=y> (Skatīts 20.01.2023)
- Forrester, J. V., Dick, A. D., McMenamin, P. G., Roberts, F., & Pearlman, E., (2016) *The eye: basic science ir practice* (4th ed.) Elsevier
- Garcia-Aguirre, G., Henaine-Berra, A.; Salcedo-Villanueva, G. (September 20, 2022) Visualization and Grading of Vitreous Floaters Using Dynamic Ultra-Widefield Infrared Confocal Scanning Laser Ophthalmoscopy: A Pilot Study Pieejams: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/19/5502> (Skatīts 20.01.2023)
- Gong, D., Kozak, A., Shah, V. A., Kim, L. A.,(December 20, 2022) Pars plana vitrectomy Pieejams: https://eyewiki.aoa.org/Pars_Plana_Vitrectomy (Skatīts 20.01.2023)
- Huang, L. C., Yee, K., M.P., Wa, C. A., Nguyen,J. N., Sadun, A. A., & Sebag J.(2015.06),, Vitreous Floaters and Vision: Current Concepts and Management Paradigms” Pieejams: <https://www.vmrinstitute.com/wp-content/uploads/2015/06/Chapter-V.B.8.-FLOATERS-corr-copy.pdf> (Skatīts 20.01.2023)

- Lahham, M., Shniter, I., Thompson, M., (April 12, 2019) Point-of-Care Ultrasonography in the Diagnosis of Retinal Detachment, Vitreous Hemorrhage, and Vitreous Detachment in the Emergency Department Pieejams: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/article-abstract/2730478> (Skatīts 20.01.2023)
- Lipson, A., Lipson, S. G., & Lipson, H., (2010) *Optical physics* (4th) Cambridge University Press Pieejams: [https://library.uoh.edu.iq/admin/ebooks/55611-ariel-lipson,-stephen-g.-lipson,-henry-lipson---optical-physics,-4th-edition-\(2010,-cambridge-university-press\)--libgen.lc.pdf](https://library.uoh.edu.iq/admin/ebooks/55611-ariel-lipson,-stephen-g.-lipson,-henry-lipson---optical-physics,-4th-edition-(2010,-cambridge-university-press)--libgen.lc.pdf) (Skatīts 25.05.2023)
- Milston, R., Madigan M.C., Sebag, J., (December 8, 2015) Vitreous floaters: Etiology, diagnostics, and management Pieejams: <https://www.vmrinstitute.com/wp-content/uploads/2018/10/Floaters-Survey-Ophthalmol-2016.pdf> (Skatīts 20.01.2023)
- Nikolay, K., Kim, L. A., Tripathy, K., Grigoriy, V., (September 12, 2022) Laser vitreolysis Pieejams: https://eyewiki.aaopt.org/Laser_vitreolysis (Skatīts 20.01.2023)
- Franssila, S., & Sainiemi, L., (2008) *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*
- Peatross J., & Ware J., (2023) *Physics of Light and Optics* (revised) Lulu.com <file:///C:/Users/ualon/Downloads/opticsbook.pdf> (skatīts 25.05.2023)
- Remington, A. L., (2012) *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System* (3rd ed.). Linda Duncan
- Snowden, R., Thompson, P., & Troscianko, T., (2012) *Basic vision an introduction to visual perception* (Revised ed.) CPI group Ltd
- Sevšek, M., & Lumi, X., (2022) Entoptic phenomena, photopsias, phosphenes. *Slovenian medical journal* 91(0)69-78 Pieejams: https://www.researchgate.net/profile/Xhevat-Lumi/publication/360747205_Entoptic_phenomena_photopsias_phosphenes_Entoptic_phenomena_photopsias_phosphenes_Entopticni_pojavi_fotopsije_in_fosfeni/links/6287cb1fcd5c1b0b34e96742/Entoptic-phenomena-photopsias-phosphenes-Entoptic-phenomena-photopsias-phosphenes-Entopticni-pojavi-fotopsije-in-fosfeni.pdf (skatīts 26.05.2023)
- Springer Pieejams: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-48998-8_1344 (Skatīts 25.05.2023)

- Sun, X., Tian, J., Wang, J., Zhang, J., Wang, Y., Yuan, G., (January 27, 2019)YAG Laser Vitreolysis for Symptomatic Vitreous Floaters: Application of Infrared Fundus Photography in Assessing the Treatment Efficacy. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6369481/> (Skatīts 20.01.2023)
- Švede, A., Krūmiņa, G., & Fridrihsons, J.,(2008) Acs stiklveida ķermenis. Pārupe A.(Ed.) *Pamatizmeklēšanas metodes optometriijā* (pp. 175-178). LU Akadēmiskais apgāds
- Uniyal, M., (August 26, 2022). Photolithography: what is photolithography? Pieejams: <https://byjusexamprep.com/photolithography-i> (skatīts 26.05.2023)
- Litography process overview *Integrated micro materials* Pieejams: <https://www.imicromaterials.com/technical/lithography-process-overview> (skatīts 26.05.2023)
- Webb, B.F., Webb J.R., Schroeder, M.C., North, C.S., (June 18, 2013) Prevalence of vitreous floaters in a community sample of smartphone users Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32313173/> (Skatīts 20.01.2023)
- Zeydanli, E.O., Parolini, B., Ozdek, S., Bopp, S., Adelman, R.A., Kuhn, F., Gini, G., Sallam, A.B., Aksakal, N.(April 20, 2020) Management of vitreous floaters: an international survey the European VitreoRetinal Society Floaters study report. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7182575/> (Skatīts 20.01.2023)

Bakalaura darbs „, Optisko fāzi kompensējošās struktūras pielietojums stiklveida ķermenī peldošo elementu traucējošo efektu mazināšanai” izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: _____ Uvis Alonderis

(studenta paraksts)

Rekomendēju/nerekomendēju bakalaura darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: profesors Dr. phys. Varis Karitāns _____ .

(vadītāja paraksts)

(datums)

Recenzents: profesors Dr.phys.Māris Ozoliņš

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____ .

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Inita Šneidere _____

(personiskais paraksts)

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. _____ .2023. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____ . _____

(personiskais paraksts)