

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКСЫНЫН УЛУТТУК ИЛИМДЕР АКАДЕМИЯСЫ
АКАДЕМИК Ж. ЖЕЕНБАЕВ АТЫНДАГЫ ФИЗИКА - ТЕХНИКАЛЫК ПРО-
БЛЕМАЛАР ЖАНА МАТЕРИАЛ ТААНУУ ИНСТИТУТУ

Д.01.16.537. Диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда
УДК 535.41: 778.38

Исманов Юсупжан Хакимжанович

**ЖЫЛЧЫКСЫЗ ЫКМАНЫН НЕГИЗИНДЕ КУБУЛМА ГОЛОГРАФИ-
ЯСЫНЫН ГОЛОГРАФИЯЛЫК ПРОЦЕССТЕРИН МОДЕЛДЕШТИРҮҮ**

01.04.05 – Оптика адистиги

Физика-математика илимдеринин докторлук
илимий даражасына изилдөөчүнүн диссертациясынын
авторефераты

Бишкек 2017

Кыргыз улуттук илимдер академиясы академик Ж. Жеенбаев атындагы физика-техникалык проблемалар жана материал таануу институтунда аткарылган иш

Илимий кеңешчи: техника илимдеринин доктору,
профессор Алымкулов С.А.

Сын пикирчи: физика-математика илимдеринин доктору,
профессор Отажонов Ш. О. (Ташкент)

техника илимдеринин доктору,
профессор Огнев И. В. (Москва)

физика-математика илимдеринин доктору,
доцент Джаманкызов Н. К.

Баш болуу уюму: Россия илимдер академиясынын физика-технологиялык институту, 117218, Москва, Нахимов проспектиси 34

Коргоо 22 февраль 2017 ж. саат 14-00 Кыргыз республикасынын улуттук илимдер академиясынын академик Ж. Жеенбаев атындагы физика-техникалык проблемалар жана материал таануу институтунда жана Б. Ельцин атындагы Кыргыз орус славян университетинин Д.01.16.537 астындагы диссертация кеңештин отурумунда болот, дареги: 720071, Бишкек шаары, Чүй проспектиси 265а

Диссертация менен Кыргыз республикасынын улуттук илимдер академиясынын борбордук илимий китепканасынан танышууга болот.

Автореферат «_____» январь 2017 ж. таратылган.

Диссертациялык кеңештин
илимий катчысы
ф.-м. и. д.

Фоломеев В. Н.

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу: Азыркы мезгилде голография ыкмасы илимдин ар кандай тармагында гана колдонбостон, техникада дагы кеңири колдонулууда, технологиялык процесстерде жана башкаларда колдонулууда. Мында голограммаларды жазуунун жаңы ыкмасы жана калыбына келтирүүсү, бир жагынан голографиялык процессти жөнөкөйлөштүрөт, экинчи жагынан аны максималдуу ылдамдатуу багытында маанилүү жана *актуалдуулугу* талашсыз. Голографиялык процесстер таяныч жана предметтик толкундардын булактарынын өз ара жайланышкан, каттоочу чөйрөлөрдүн, ошондой эле бул толкундардын фронтунун формасы жана каттоочу чөйрөлөрдүн параметрлери жазылган голограммалар ар кандай касиеттерге ээ болот. Бул белгилер Габордун октук, Лейттин, Фурьенин бир окто жатпаган, Бентондун кубулжу жана Денисюктун көлөмдүк голограммаларынын негизги типтеринин классификациясынын ыкмаларын аныктайт. Бул голограммаларды жазуу атайын голографиялык жабдыктарды, лазерди жана каттоочу чөйрөлөрдү талап кылат башкача айтканда чоң материалдык чыгымдар менен коштолот. Азыркы мезгилде альтернативдик жол табылган – бул компьютердик моделдөө. Бул иште кубулжу голограммаларын (кубулжу голографиясынын жылчыксыз ыкмасы) жазуу ыкмасы компьютердик моделдөө менен изилдейт. Бул ыкма Габор жана Лейт голограммаларын жазуу ыкмаларынын байланышын көрсөтөт. Бул ыкма менен жазылган голограммалар бир эле убакта Габордун, Лейттин, Фурьенин, Бентондун жана кээ бир жаңы касиеттерди камтыйт. Бул ыкманын андан ары өнүгүшү бир эле убакта Габордун, Лейттин, Бентондун, Денисюктун жана кээ бир жаңы өзгөчө касиеттерин жазуунун мүмкүнчүлүгүнө алып келди. Каралып жаткан голограммалардын кеңири мүмкүнчүлүктөрү жалпак жана калың катмарлуу (Денисюктун голограммасы) голограммалардын биргелишкен касиеттери көрсөтүлгөн ыкма үч өлчөмдүү объектилердин голограммаларын синтездөө үчүн колдонууга мүмкүнчүлүк берет. Берилген ыкма боюнча голограммаларды жазуунун компьютердик моделдөөсү анчалык чоң эмес материалдык чыгымсыз эле изилдөөгө бул ыкманын мүмкүнчүлүгү бар, ошондуктан өз мезгилинде бул ыкманын кеңири жайылтуу процессин тездетүүгө мүмкүндүк берилет. Жылчыксыз голография ыкмасына негизделген голографиялык процесстерди окуу үйрөнүү көз -карашынын (аспектиси) негизи - бул голограммаларды жарыктандырганда көрүнгөн, кайталанып туруучу объектилердин алардын голографиялык варианттарында өзүн-өзү жаратуу эффектисин бул ыкма менен жазылган голограммаларды интерферометриялык максаттарда колдонулушу. Интерференциялык кубулуш өтө жогорку сезгичтүүлүккө ээ жана өтө чоң, алар жаратылышынан инерциясыз, изилденүүчү чөйрөлөрдү жана объектерди бузбай туруп текшерүүгө

мүмкүндүк берет. Бул бардык касиеттери интерференциялык ыкмаларды илимий максаттарда жана ошондой эле практикада колдонуунун себеби болду. Голографиялык интерферометриянын пайда болушу – бул оптикалык диапозондо иштеген лазердин жаратуунун, Лейт жана Упатниекс менен иштеп чыккан бир окто жатпаган голограммаларды жазуунун жыйынтыгы. Интерференция ыкмасын татаал динамикалык тунук чөйрөлөрдү, мисалы, аэродинамикалык агымдарды убакыт жана мейкиндик боюнча турактуу өзгөрүүчү жогорку температурадагы жана төмөнкү температурадагы плазмалардын мүнөздөмөлөрдүн, атмосферада жана көлмөлөрдөгү тыгыздыктардын жана температуралардын бөлүштүрүлүшүн жана башкаларды изилдөөгө мүмкүнчүлүк берет. Жалпыга белгилүү болгон интерферометриялык ыкмаларды колдонуп мындай чөйрөлөрдү изилдөөдө толук көлөмдүү маалымат берүүгө мүмкүндүк бербейт, себеби изилдөөлөр бир мааниге ээ болгон сезгичтиктеги интерферометрлер менен жүргүзүлөт. Эгерде, мисалга, өзүн-өзү жаратуу эффектисине негизделген интерферометрлерди колдонууда өзгөрүүчү чөйрөнү окуп үйрөнүүдөгү негизги фактор - амплитудалык модуляцияга начар реакция кылган айкын өзгөчөлүктөргө ээ болуп, бирок алар төмөнкү сезгичтикке ээ болгон кемчилдиктери бар. Динамикалык чөйрөлөрдүн мүнөздөмөлөрүнүн эң начар өзгөрүшүн аныктоодогу жогорку сезгичтик – бул голографиялык интерферометриялык ыкмалар. Бирок убакыт боюнча өзгөргөн татаал тунук чөйрөлөрдүн өзгөчөлүктөрү мындайча, аларды ар кандай сезгичтиктеги интерферометрлер менен бир убакта изилдөө керек. Мындай жол менен баруу изилденип жаткан чөйрө жөнүндө толук маалымат алууга мүмкүндүк берет. Убакыт боюнча өзгөргөн татаал тунук чөйрөлөрдү изилдөөдө бир убакта ар кандай сезгичтиктеги интерферометрлердин убакыт боюнча көйгөйлөрүн жаратат, бир убакта мындай чөйрөлөрдү так изилдөө маселесин көйгөйлүү кылат, ал эми бир эле убакта колдонулуп жаткан интерферометриялык топторду эбегейсиз чоңдугу татаалдыгы келип чыгат. Мындан интерферометрлерди иштеп чыгуу маселесинин шексиз *актуалдуулугу* келип чыгат. Бул төмөнкү сезгичтеги диапозондо да жогорку сезгичтеги голографиялык интерферометр режиминде да изилденүүчү чөйрө жөнүндө чыныгы убакытта маалымат алууга мүмкүнчүлүк болот. Мындай мүнөздөмөгө ээ болгон интерферометр – анын сезгичтиги жеткиликтүү кеңири диапозондогу өзгөрүшү керек, жогорку режимде да ошондой эле төмөнкү сезгичтикте да алынган интерферометриялык маалыматтар, чыгуучу каналдары болгон жер аркылуу алынат. Голографиялык интерферометрдин чыгуучу каналдарынан алынган интерферограммалар дешифровка кылуу көз карашы боюнча өтө татаал. Бул себептен, мындай интерферограммаларды алдын ала иштеп чыгуу, андан ары дешифровкалоо максатында, жеткиликтүү жана жөнөкөй эффективдүү ыкмасынын маселеси актуалдуу болуп эсептелет.

Изилдөөнүн максаты жана маселеси. Жылчыксыз ыкманын негизинде голографиялык процесстердин теориялык моделдерин иштеп чыгуу. Ишти аткаруунун жүрүшүндө төмөнкү негизги маселелер чечилди:

Үч өлчөмдүү объектилердин голограммасын жазууда жана калыбына келтирүү процесстерин математикалык моделин иштеп чыгуу, Кирхгофтон диффракциялык интегралын Френелдин эки өлчөмдүү өзгөртүп түзүүсүнө чейин жөнөкөйлөтүүгө негизделген. Бул бөлүштүрүлүштөрдүн жана фазалардын үч өлчөмдүү объектилердин беттерин тегиздикте бул объектиге тиешелүү кайра эсептөөдө геометриялык оптиканын ыкмаларын эсептөө учурунда эсептөөгө болот.

Кубулжу голограммасын жазуу жана калыбына келтирүү процесстеринин математикалык моделин иштеп чыгуу, бул голограмманы жазууда кошумча жылчыкчанын жокко чыгарылышына мүмкүндүк берет.

Голографиядагы өзүн-өзү жаратуу жалпыланган эффектисинин теориялык негизделиши, кадимки өзүн-өзү жаратуу эффектисинин өзгөчө айырмасы бул кайталануучу объектинин калыбына келүү голограммасынын баардык үч диффракциялык катарларда калыбына келген кайра объектилердин кадимки эле калыбына келүү эффектисинин удаалаштыктын болушу, бул удаалаштык мейкиндиктеги минималдык, ошондой эле чыныгы аймактарында пайда болот.

Татаал чагылдыруучу жана өткөрүүчү чөйрөлөрдү изилдөөдө бир канча чыгуучу каналдары болгон универсалдык голографиялык интерферометрдин математикалык моделин иштеп чыгуу.

Жарык талаасынын ургалдуулугунун мааниси сызыктуу өзгөртүүлөрүнү божомолдоого негизделген, когеренттүү эмес жарыкта сүрөттөлүштөрдүн оптикалык системалардан алынган когеренттик эмес жарыкта сүрөттөлүштүн пайда болуу процесстерин математикалык моделин иштеп чыгуу.

Алынган жыйынтыктардын илимий жанылыктары:

Геометрикалык ыкмалары менен голографиянын үч өлчөмдүү маселесинен анын эки өлчөмдүү түрүнө өтүү ыкмасы иштеп чыгылган.

Биринчи жолу жардамчы жылчыкчаны колдонбой туруп кубулжу голограммасын жазуу жана калыбына келтирүү жөндөмдүүлүгүнүн математикалык негизи сунушталган.

Биринчи жолу мейкиндикте баардык диффракциялык катардагы минималдык, ошондой эле чыныгы аймактарда кайталануучу объектердин голограммаларын калыбына келтирүү учурунда өзүн-өзү жаратуу эффектисинин математикалык пайда болушу негизделген жана байкалган.

Биринчи жолу татаал түзүлүш же бетке ээ болгон чагылдыруучу же өткөрүүчү чөйрөлөрдү изилдөөгө багытталган ар түрдүү сезгичтиктеги бир

канча чыгуу каналга ээ болгон универсалдык голографиялык интерферометрдин математикалык модели сунушталган.

Биринчи жолу когеренттик эмес нурдануунун жарыктын ургалдуулугунун сызыктуу өзгөрүшүнүн негизинде сүрөттөлүштүн жаралышынын математикалык модели сунушталган.

Алынган жыйынтыктардын практикалык мааниси:

Голографиянын үч өлчөмдүү маселесинин эки өлчөмдүү вариантына өтүү Кирхгофтун интегралы менен жарык талааларын эсептөөдө, Френелдин же Фурьенин интегралын колдонуп эсептөө ыкмасына өтүүгө мүмкүндүк берет. Мындай өтүү сандык эсептөөлөрдө эсептөө ресурстарын байкалаарлык кыскартат жана компьютерде голографиялык процесстерди моделдөөдө аны байкалаарлык ылдамдатат, бул чыныгы убакытта санариптик голографиялык интерферометрдин иштеп чыгуу ыкмаларында өтө олуттуу мааниге ээ.

Кубулжу голограммасын жазуу процессиндеги бул голограммалардын касиеттерин өтө кымбат туруучу оптикалык жабдыкты колдонбой туруп окуп үйрөнүүгө мүмкүндүк берет, мындай голограммаларды компьютердин жардамы менен синтездөөгө болот, моделди тажрыйбада ишке ашыруу учурунда голограммаларды жазуу этабында экспозиция убактысын байкалаарлык кыскартууга мүмкүндүк берет, а бул голограммаларды калыбына келтирүүдө калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн көрүү бурчун байкалаарлык чоңойтот.

Кайталануучу объектинин голограммасын калыбына келтирүүдө пайда болгон өзүн-өзү калыбына келтирүү эффектиси, универсалдуу голографиянын интерферометрди иштеп чыгууда колдонулган.

Сунушталган универсалдуу голографиялык интерферометрдин математикалык модели татаал түзүлүштөгү бети бар чачыратуучу чөйрөлөрдүн жана статикалык же динамикалык мүнөздөөчү татаал тунук чөйрөлөрдү изилдөөдө голографиялык интерферометрлерди иштеп чыгууда колдонулат.

Когеренттүү эмес жарыктын сүрөттөлүшүнүн пайда болуусунун математикалык модели жана ушул математикалык моделдин негизинде иштелип чыккан компьютердик модель ар кандай абберациянын таасиринин когеренттүү эмес оптикалык системалардын иштөөгө тийгизген таасирин изилдөөгө мүмкүндүк берет. Андан башка бул модель интерферограммаларды машинаны кайрадан иштеп чыгуу системаларында, образдарды таанып билүү түзүлүштөрүндө жана башка маалыматты кайрадан автоматаштырылган системаларда колдонууга болот.

Коргоого алынып чыгарылган диссертациянын негизги жоболору.

Үч өлчөмдүү объектилердин голограммаларын жазуу жана калыбына келтирүү процесстеринин математикалык модели, бул Кирхгофтун дифракциялык интегралын Френельдин эки өлчөмдүү кайра түзүүсү, ал

кайра бөлүштүрүүнүн кйрадан эсептелиши жана фазалардын үч өлчөмдүү объектинин бетинин тегиздикте, ушул объекте тиешелүү жөнөкөйлөтүүгө негизделген. Сунушталган модель машинага кетирилген убакытты байкалаарлык кыскартат жана аны голографиялык процести компьютерде моделдөө жеткиликтүү ылдамдатат, бул чыныгы убакыттагы санариптик голографиялык интерферометриянын ыкмаларды иштеп чыгууда олуттуу мааниге ээ болот.

Кубулжу голограммаларды жазуу жана калыбына келтирүү процесстеринин математикалык модели, экинчи таяныч шооласын колдонгондо мындай голограммаларды жазууда жардамчы жылчыкты жокко чыгарууда мүмкүндүк берет. Сунушталган модель голограммаларды жазуу этабында экспозиция убактысын бир топ кыскартат, ал эми мындай голограммаларды калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн көрүү бурчун жеткиликтүү чоңойтот.

Голографиядагы жалпыланган өзүн-өзү жаратуу эффектисинин теориялык негизи бул кадимки өзүн-өзү жаратуу эффектисинин түп тамыры менен айырмаланат, мында бардык үч дифракциялык катарлардагы кайталануучу объектинин өлчөмдүү өзүн-өзү жаратуунун удаалаштыгынын болушу эсептелет, бул удаалаштык мейкиндиктин минималдык жана ошондой эле чыныгы аймактарда пайда болот.

Голограммаларды жылчыксыз ыкма менен жазуу үчүн бир канча чыгуу каналдары болгон универсалдуу голографиялык интерферометрдин математикалык модели. Сунушталган интерферометрдин модели динамикалык мүнөздөөчү чөйрөлөрдүн татаал фазаларын, ошондой эле татаал бетке ээ болгон кайталанбаган чачыратуучу объектилерди изилдөөгө мүмкүнчүлүк берет.

Когеренттүү эмес жарыкта оптикалык системалардагы сүрөттөлүштөрдүн жаралыш процессин математикалык моделдөө, бул жарык талаасынын ургалдуулук маанисин сызыктык өзгөртүп түзүшүнүн ыктымалдуулугуна негизделген. Модель оптикалык системага ар кандай ар түрдүү абберацияларды киргизүүгө мүмкүндүк берет, муну менен аны чыныгы оптикалык системага жакындатат.

Изилдөөчүнүн өздүк салымы: Автордун өздүк салымы болуп маселенин коюлушу, жылчыксыз ыкмалардын негизинде жазылган кубулжу голограммаларынын голографиялык процесстеринин компьютердик модели жана математикалык жактан иштелип чыккан чыгарылышы, ошондой эле алынган жыйынтыктардын анализи.

Изилденген жыйынтыктардын апробациясы: Диссертациянын негизги жыйынтыктары баяндалды: международная конференция «Развитие информационно-коммуникационных технологий в информационном обществе», Бишкек, 2004 г.; республиканская научная конференция, посвященная Всемирному году физики и 80-летию профессора Л. В. Тузова, Бишкек, 2005г.; международная научно-техническая конференция «Инновации в об-

разовании, науке и технике», Бишкек, 2006 г.; международная научно-практическая конференция «Информационные технологии в образовании: состояние, проблемы и перспективы», Бишкек, 2011 г.; II Международная конференция «Оптика и фотоника-2013», Самарканд, 2013 г.; International conference on IT Promotion in Asia (ITPA 2014), Bishkek, Kyrgyzstan, 2014 г.; научно-практическая конференция «Строительное образование и наука Кыргызстана; перспективы интеграции, инновации и партнерства», Бишкек, 2014 г.; международная научно-практическая конференция «Современное состояние физико-технических проблем и материаловедения», посвященная 60-летию академика К. М. Жумалиева, Бишкек, 2016 г.

Диссертациянын жыйынтыктарынын толук публикацияларда чагылдырылышы: Изилдөөнүн негизги жыйынтыктары 42 илимий жарыяларда жарыяланган 2 монографияны кошкондо.

Диссертациянын түзүлүшү жана көлөмү: Диссертация киришүүдөн, 6 бөлүмдөн, 197 аталыштагы адабияттардын тизмесинен турат. Диссертациянын жалпы көлөмү 254 бет, анын ичинен 98 сүрөт.

ИШТИН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Киришүүдө диссертациянын темасынын актуалдуулугу ачып көрсөтүлөт жана негизделет, иштин максаты, илимий жаңылыгы жана практикалык баалуулугу, алынган жыйынтыктардын ишенимдүүлүгү жана коргоого алып чыгуучу жоболор баяндалат.

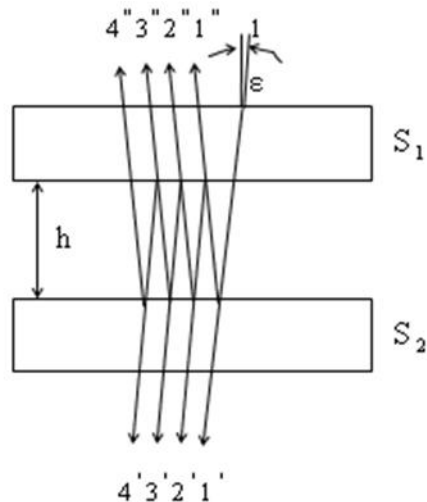
Биринчи бөлүмдө:

1. Классикалык интерферометрияда колдонулуучу негизги интерферометрлердин баяндамасы жазылган. Рэлейдин интерферометрлери, Майкельсондун жылдыздуу интерферометри жана анын заманбап модификациялары сыяктуу толкундун фронтун бөлүү принциптерине негизделген эки шоолалуу интерферометрлер каралган. Ошондой эле Физонун, Жамендин и Мах-Цандердин интерферометрлери сыяктуу амплитуданы бөлүү принциптерине негизделген интерферометрлер каралган. Көрсөтүлгөн интерферометрлердин баяндамасы, көрсөтүлгөн интерферометрлер жөнөкөй формадагы оптикалык системалардын тетиктерин жана башка татаал эмес өлчөөлөрдү көзөмөлдөө үчүн гана жеткиликтүү натыйжалуу экендигин көрсөттү.

Ошондой эле көп шоолалуу интерферометрлердин баяндамасы жазылган. Тегиз жарыш пластинкалар, же вариант катары, чагылуунун өтө жогорку ρ коэффициенти менен тегиздиктери бар болгон шынаа сыяктуу пластинкалар – бул көп шоолалуу интерферометрдин жөнөкөй схемасы. Пластинкага түшүүчү жарык толкуну бардык фронт боюнча амплитуда менен бөлүнөт. Бөлүүнүн жыйынтыгы көп шоолалуу интерференцияны пайда кылат. Пластинкалардын беттери бир гана түшүүчү жарыкты чагылдырбастан, жарым-жартылай өткөрөт жана бул өткөрүүнүн τ коэффициенти менен

берүүгө болот. Эми, аягында пластинкалардын беттери аркылуу жарык энергиясынын бир бөлүгү сиңирилет. Мындай сиңирүүнү α коэффициентинен аныктоого болот. Айтылгандардан $\rho + \tau + \alpha = 1$ деп корутунду кылууга болот.

Көп шоолалуу интерферометрде интерференциялык тилкелерди түзүү



1-сүрөт. Жалпак – жарыш пластинкадагы көп нурдуу интерференция

бурчу менен жарыктын жарыш тутамы (сүрөттө ушул шоолалардын бирөөсү көрсөтүлгөн) түшөт.

S_1 и S_2 күзгүлүү беттеринен көп жолку чагылуу түшүүчү жарык толкунунун амплитудасын бөлүүгө жана когеренттик интерференциялоочу шоолалардын көптүгүн түзүүгө алып келет, болгондо дагы шоолалардын ар бир жубу агымдын бирдей айырмасына ээ болот. Чагылдырылган жарыкта бул шоолалар $1', 2', 3', \dots$, өтүп жаткан жарыкта бул шоолалар $1, 2, 3, \dots$. Ушул шоолалардын кошулушу интерференциянын көп шоолалуу сүрөттү түзүүгө алып келет.

Баяндама көрсөткөндөй, ушундай интерферометрлердин чыга беришинде пайда болгон сүрөттө интерференциялык максимумдар ушул максимумдардын ортосундагы аралыктан бир кыйла төмөн болгон эндүүлүккө ээ болушат жана бул интерференциянын көп шоолалуу сүрөтүнүн маанилүү касиети болуп эсептелет. Интерференциянын көп шоолалуу сүрөтүнүн мындай өзгөчөлүгү аз каталыгы менен агымдын айырмасын өлчөөгө мүмкүндүк берет жана анын жыйынтыгы болуп эки шоолалуу интерферометрлер менен салыштырганда сезгичтиктин кескин жогорулашы эсептелет.

Классикалык интерферометрлердин баяндамасынын жыйынтыгы боюнча жасалган негизги тыянактар, бул интерферометриянын классикалык методдорунун бардык жетишкендиктери менен бирге, алардын бардыгына төмөнкү кемчиликтер таандык:

- а) жогорку сапаттагы оптиканы колдонуунун зарылчылыгы;
- б) убакыт боюнча дифференциалдуулугунун жоктугу, б. а. интерференциялануучу толкундарды мейкиндикте эмес, убакыт боюнча бөлүүнүн

мүмкүнчүлүгү – мындан динамикалык мүнөздөгү фазалык чөйрөсү менен жана беттин убакыт боюнча өзгөрүп турган мүнөздөмөлүү чагылуучу объекттери менен иштөө мүмкүн эместиги; в) жөнөкөй формалуу объекттер менен гана иштөөгө мүмкүнчүлүгү.

2. Кубулмалуу голограммаларды жазуунун негизги схемаларына баяндама жүргүзүлгөн, жана өткөрүүчү жана чагылдыруучу объекттердин голографиялык жана тальбот-интерферометрияларынын ыкмаларына, Тальботтун эффекти боюнча изилдөөлөрдүн заманбап абалына талдоо жүргүзүлгөн.

Кубулмалуу голограммалардын өзгөчөлүгү болуп, алардын ак жарыкта жөнөкөй эле булактардан калыбына келтирилиши эсептелет. Ушул голограммалардын мындай жөндөмдүүлүгү жазылган объекттердин бардык түстөр менен толтурулган ачык түстүү сүрөттөлүшүн алууга мүмкүндүк берет. Биринчиси, убакыт боюнча, Бентон аркылуу сунушталган кубулмалуу голограммаларды жазуунун схемасы эки баскычтан турган. Ушул схеманын биринчи баскычы голограмманы жазуунун жөнөкөй эле, октон тышкаркы схемасы болуп эсептелет. Сунушталган биринчи голограмманын энсиз тилкелүү схеманын экинчи баскычында чыныгы сүрөттөлүш калыбына келтирилет жана ал экинчи голограммада катталат. Эгерде көрсөтүлгөн схеманын экинчи баскычында энсиз апертуралык жылчык колдонулса, анда голограмманы калыбына келтирүү үчүн колдонулуучу когеренттик жарык боюнча талаптар анчалык маанилүү эмес болуп калат. Голограмманы жазуунун каралып жаткан схемасынын артыкчылыгы болуп, голограммада жазылган объекттин сүрөттөлүшү бул учурда кубулуунун түстөрүндө табигый жарыктын калыбына келтирилиши эсептелет.

Бул жазуу схемасынын кемчилиги болуп төмөнкү учурларды көрсөтсөк болот:

1. Ушул схемада колдонулуучу жазуу түзүлүшү пайдалануу учурунда энсиз жана эмгекти көп талап кылган түзүлүш болуп эсептелет, болгондо дагы голограмманы жазуунун ар бир баскычы үчүн өзүнчө оптикалык түзүлүштөр талап кылынат;

2. Апертуралык жылчыктын куушкугуна байланыштуу голограмманын экспозициясынын убакыты жазуунун экинчи баскычында 2-3 эсеге өсүп кетет;

С. Гровердин жана Х. Чендин иштеринде бир баскычтан турган жана жазуунун бир баскычтуу схемасы деп аталган кубулмалуу голограммаларды жазуунун бир аз жөнөкөй схемасы сунуш кылынган.

Бентондун схемасынан айырмачылыгы, бир баскычтуу схемада голограмманын тегиздигине линзанын жардамы менен кууш жылчык аркылуу чагылдырылган объекттин сүрөттөлүшүн жазуу болуп эсептелет. Бентондун схемасы эки баскычтан турат жана анда объект катары жазуунун биринчи баскычында алынган голограмманы калыбын келтирүү учунда алынуучу предметтин чыныгы сүрөттөлүшү каралат. Эки баскычтуу схема менен салыштырганда бир баскычтуу схеманын жөнөкөйлүгү ачык айкын. Голограмманын жазуу схемасын бир аз гана өзгөртүү менен аны калыбына келтирүү

учурунда объекттин сүрөттөлүшүн же псевдоскопиялык, же ортоскопиялык формасын алууга болот.

Бирок, бул ыкмада кубулмалуу голограммалардын жазуу схемаларына таандык болгон жалпы кемчиликтер сакталып калган – аларда кууш апертуралык жылчыктар катышат жана ал голограмманы жазуу учурунда экспозициянын убактысынын өтө тез өсүп кетүүсүнө алып келет жана өз кезегинде, колдонулуучу оптикалык каражаттын сапатына талап күчөйт.

Кубулмалуу голограмманын жазуу схемасындагы чыныгы жылчыктан кутулуу аракети жылчык сымал функцияны түзүү жолу менен чыныгы жылчыкты колдонуусуз кубулмалуу голограмманын жазуу схемасын иштеп чыгууга алып келди.

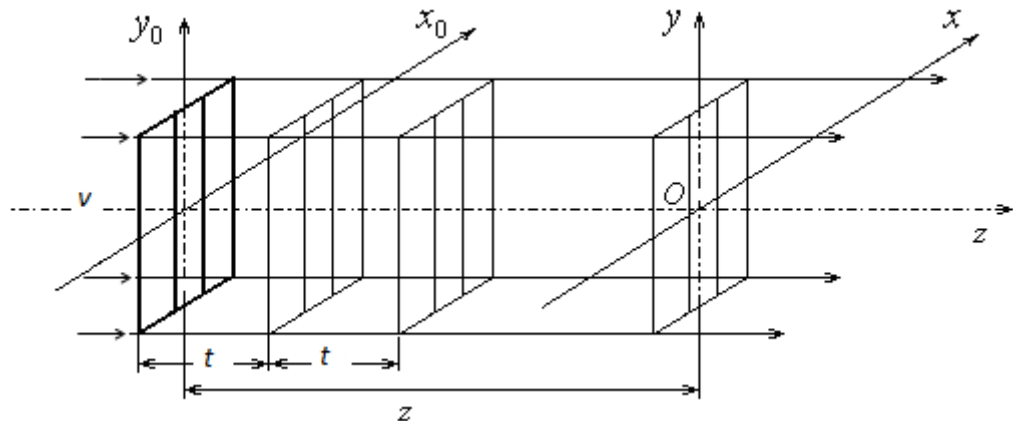
Жылчык сымал функцияны алуу үчүн предметтен түзүлгөн толкунду, же болбосо предметтин өзүн же предметтин алдында жайгашкан диффузорду үзгүлтүксүз же үзгүлтүктүү жылдыруусу сунуш кылынат.

Бул схемада предметтик толкун үзүлбөйт жана толук пайдаланылат. Бирок синтезделген жылчыкты түзүү үчүн объекти, объектик шооланы же сүрөттөй турган линзаны белгилүү бир закон боюнча жылдырууга мүмкүндүк берүүчү татаал кинематикалык түзүлүш керек болот. Кубулмалуу голограммаларды жазуунун белгилүү схемаларынын баяндамасы чыныгы жана синтезделген жылчыктарды эсепке албаган кубулмалуу голограммаларды жазуунун схемасын иштеп чыгуу маселесин коёт.

Теориянын, практикалык маселелердин жана интерференциялык голографиялык методдун потенциалдык мүмкүчүлүктөрүнүн негизги жоболорунун көпчүлүк бөлүгү Хормандын, Пауэллдин жана Стетсондын, Хейфлингера, Вуеркера и Брукстун (1965) мурунку иштеринде чагылдырылган. Бүгүнкү күндө голографиялык интерферометриянын ыкмалары фазалык чөйрөлөрдү изилдөө учурунда кеңири колдонулат. Классикалык интерферометриянын алдында голографиялыктын талашсыз артыкчылыгы болуп убакыттын ар кандай мезгилинде түзүлгөн толкундарды салыштыруу мүмкүнчүлүгү эсептелинет. Голография – эки же андан көп оптикалык толкундарды убакыт боюнча тартиби менен каттоого мүмкүндүк берген маанисинде, ал сызыктуу процесс жана алар аягында бир эле убакытта калыбына келтирилиши мүмкүн. Ошондуктан анын жардамы менен толкундардын топтомун убакыт боюнча суммалоого, кемитүүгө же кур дегенде орто маанисин табууга болот. Баяндамада реалдуу убакыттын, эки экспозициялар, жылдыруучу жана башка ыкмалар сыяктуу бардык бүгүнкү күндө белгилүү голографиялык интерферометриянын ыкмалары каралды жана талдоо жүргүзүлдү. Бирок, голографиялык интерферометрлердин азыркы схемаларына жүргүзүлгөн талдоо көрсөткөндөй, бул интерферометрлер жогорку сезгичтикке ээ болуу менен объекттерди, чөйрөнү (өткөрүүчү объекттер үчүн) же алардын беттерин (чагылдыруучу объекттер үчүн) изилдөө учурунда бир канча сарамжалдуу жана бир тектүү эместиктин начар өзгөрүүчү градиентине ээ. Бир тектүү эместиктин тез өзгөрүүчү градиенттүү чөйрөлөрдү изилдөө учурунда тальбот–интерферометрия ыкмалары сыяктуу азыраак сез-

гичтүү ыкмаларды колдонуу жакшы болот. Тальбот-интерферометриянын ыкмаларынын баяндамасынан, чөйрөнүн же беттин мүнөздөмөлөрү күчтүү өйдө-ылдый болгон объекттердин айланасында, алардын мүмкүнчүлүгү чектелгендиги келип чыгат. Бул ыкмалардын натыйжалуулугу, аларды татаал фазалык чөйрөлөрдү жана тез өзгөрүүчү мүнөздөмөлүү беттерди изилдөө учурунда жогору сезгичирээк ыкмалар менен айкалыштыруусуз өтө төмөн. Андан кийин, жүргүзүлгөн баяндаманын жыйынтыгына таянуу менен маселе коюлат - Тальботтун төмөн сезгичтүү интерферометринин касиеттерин жана голографиялык интерферометрдин жогору сезгичтүү мүнөздөмөлөрүн айкалыштыруучу интерферометрди түзүү.

Экинчи бөлүмдө кайталануучу объекттин өзүн-өзү жаратуунун эффекти, б.а. торчонун сүрөттөлүштөрүн линзасыз түзүү процесси каралган (сүрөт 2) жана жылчыксыз кубулмалуу голографиянын ыкмасы боюнча жазылган кайталануучу объекттин голографиясын калыбына келтирүү учурунда ушул эффекттин өзгөчөлүктөрүнө теориялык талдоо жүргүзүлгөн (сүрөт 3). Ушул өзүн-өзү жаратуу эффектинин негизинде жөнөкөй голографиялык эмес эффект жатат жана ал жылчыксыз кубулмалуу голографиянын ыкмасы боюнча жазылган кайталануучу объекттин голографиясын калыбына келтирүүсүнөн пайда болот. Мындан, ушул эффекттин голографиялык эмес көрүнүшүндөгү математикалык талдоосунун зарылчылыгы келип чыгат.



2-сүрөт. Бир тектүү торчодо өзүн-өзү жаратуу ыратуулугунун түзүлүшү. Өзүн-өзү

$$\text{жаратуу туруктуулугу } t = \frac{2d^2}{\lambda}; \quad z = nt (n = 1, 2, \dots).$$

Торчого (өтө жөнөкөй бир өлчөмдүү торчону алабыз) когеренттик жарыктын жарыш тутамын багыттабыз. Торчону анын сызыктары Oy огуна жарыш болгондой кылып (x_0, y_0) тегиздигине жайгаштырабыз (2-сүрөт).

Мындай торчо үчүн өткөрүү коэффициенти Фурье катарын чагылдырат жана андагы өзгөрүлмө x координатасы болуп эсептелет.

$$\sigma(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp(2\pi i n x / d), \quad (1)$$

мында d – торчонун мезгили.

Монохроматтык жарыктын жарыш тутамы торчонун тегиздигине перпендикулярдуу z огуна жарыш өтөт, бирок ошондой болсо да, толкундун амплитудасы $v(x_0, y_0, z_0) = \exp(ikz_0)$ бирдигине барабар. Торчо координаталар-

дын башталышында жайгашат, б.а. $z_0 = 0$. Бул учурда талаа торчонун так эле алдында $v(x_0, y_0, z_0^-) = 1$ ге барабар. Торчодон кийинки талаа толкундук функция менен торчонун өткөрүү коэффициентинин көбөйтүндүсү катары кароого болот жана бул толкундун үзгүлтүксүздүгүн эске алуу менен гана мүмкүн болот:

$$v(x_0, y_0, z_0^+) = v(x_0, y_0, z_0^-) \sigma(x_0) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp(2\pi i n x / d). \quad (2)$$

Торчодон ар кандай z аралыгындагы жарык талаасы $v_z(x, y, z)$ ти эсептөө үчүн дифракциялык интегралды төмөнкү түрдө пайдалабыз:

$$v_z(x, y, z) = \iint_{\infty} dx_0 dy_0 v(x_0, y_0) H(x - x_0, y - y_0) \quad (3)$$

мында

$$H(x - x_0, y - y_0) = \iint_{\infty} \exp \left\{ i k \left[1 - (\eta \lambda)^2 - (\xi \lambda)^2 \right]^{0.5} \right\} z \times \\ \times \exp \left\{ i 2 \pi \left[\eta (x - x_0) + \xi (y - y_0) \right] \right\} d\eta d\xi \quad (4)$$

мында $\kappa = 2\pi/\lambda$ - толкундук сан.

Дифракциянын маселелери үчүн чечимдер (3) жана (4) катыштары аркылуу аныкталышат. Бул катыштар $z = 0$ учурунда дифракциялык аймактын ичиндеги талаа аркылуу z алыстыгында октун багытына перпендикулярдуу болгон таралуунун талаасынын комплектүү амплитудасы үчүн туюнтманы алууга мүмкүндүк беришет. Көрсөтүлгөн дифракциялык интегралды эсептөө жалпысынан бир топ татаал маселе. Ушул себептен (4) туюнтманы жөнөкөйлөтүш керек.

Бул учурда, колдонулуучу жакындатууну параксиалдык же френелдик жакындатуу деп аташат. Бул жакындатуу каралып жаткан аймактын өлчөмүн z аралыгы менен салыштырганда кичине болгон учурда гана туура. Ушул жакындатууну эске алып, торчонун тегиздигинен z аралыктагы талаа үчүн акыркы туюнтманы жазабыз.

$$v_z(x, y, z) = \frac{\exp(ikz)}{ikz} \iint_{\infty} v(x_0, y_0, z_0^+) \exp \left\{ \frac{i\pi}{\lambda z} \left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right] \right\} dx_0 dy_0. \quad (5)$$

(5) туюнтмасы – Френелдин өзгөртүүсү түрүндөгү диффракциялык интегралды көрсөтөт жана ал жалпы диффракциялык интегралдын параксиалдык жакындоосу болуп калат.

Биздин маселе үчүн (5)-чи диффракциялык интегралды аналитикалык түрдө эсептөөгө болот. Бул эсептөө торчонун тегиздигинен эркин берилген z аралыгындагы жарык талаасы үчүн акыркы туюнтмасын төмөнкү түрдө берет:

$$v_z(x, y, z) = \\ = \frac{\exp(ikz)}{ikz} \exp \left[i \frac{\pi}{\lambda z} (x^2 + y^2) \right] \exp \left[-i \frac{\pi}{\lambda z} (x^2 + y^2) \right] \lambda z \exp(i\pi/2) \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \times \\ \times \exp \left[i 2 \pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] = \frac{\lambda^2 \exp(ikz)}{i 2 \pi} \exp(i\pi/2) \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp \left[i 2 \pi \times \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right]. \quad (6)$$

(6) га $z = \frac{2d^2}{\lambda} m$ маанисин коёбуз. Бул чекиттердеги талаанын маанилери төмөнкү түрдү кабыл алат:

$$\begin{aligned} v_z(x, y, z) &= \frac{\lambda^2 \exp(ikz)}{i2\pi} \exp(i\pi/2) \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp\left[i2\pi \times \left(\frac{nx}{d} - n^2 m\right)\right] = \\ &= \frac{\lambda^2 \exp(ikz)}{i2\pi} \exp(i\pi/2) \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp(i2\pi nx/d) \exp(i2\pi n^2 m). \end{aligned}$$

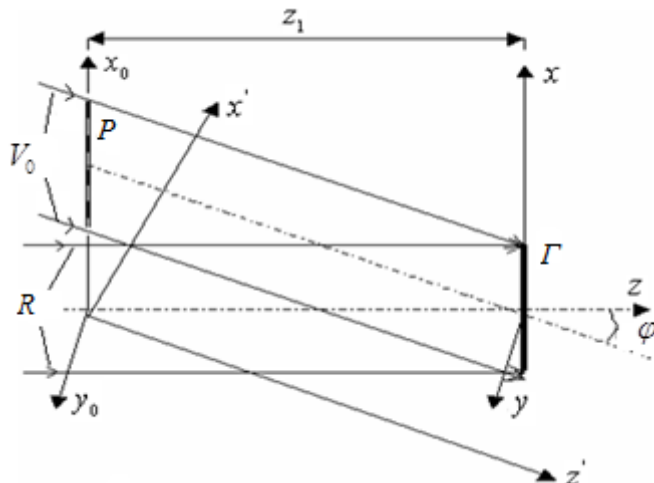
$n^2 m$ - бүтүн сан шартынан $\exp(i2\pi n^2 m) = 1$, келип чыгат жана

$$v_z(x, y, z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp(i2\pi nx/d).$$

Демек, $z = \frac{2d^2}{\lambda} m$, мында $m = 1, 2, 3, \dots$, туюнтмасы менен берилген аралыкта (6)-чы катыш, анчалык чоң эмес фазалык көбөйтүүчүгө чейинки тактыкта, (1)-чи торчосунан кийинки талааны бөлүштүрүү үчүн катыш болуп эсептелерин көрсөтөт. Б.а. калдыксыз бөлүнүүчү $t = \frac{2d^2}{\lambda}$ аралыктарында торчо өзүнүн сүрөттөлүштөрүн түзөт – жарык талаасынын бөлүштүрүүсүнүн сүрөтү пайда болот жана ал торчонун сүрөттөлүштөрүнүн (өзүн-өзү жаратуулардын) удаалаштыгын көрсөтөт.

Голографиялык учур үчүн өзүн-өзү жаратуу эффекти кубулмалуу голограммаларды жылчыксыз жазуу ыкмасын иштеп чыгуу учурунда белгилүү болгон. Бул кубулмалуу голограммаларды жылчыксыз жазуу ыкмасынын негизги артыкчылыгы болуп, бул учурда Лейт-Упатниекстин кадимки жазуу схемасына объектик V жана таяныя R толкундарынан башка кошумча, объектик толкунга окшош, Λ таяныч толкун киргизилет. Бул учурда голограмманын тегиздигине жакын жарык талаасынын ургалдуулугун бөлүштүрүү үчүн төмөнкү катышты жазууга болот:

$$\begin{aligned} I &= (V + \Lambda + R)^*(V + \Lambda + R) = (V^*V + \Lambda^*\Lambda + R^*R) + (V^*R + R^*V) + \\ &+ (V^*\Lambda + \Lambda^*V) + (\Lambda^*R + R^*\Lambda). \end{aligned} \quad (7)$$



3-сүрөт. Бир тектүү сызыктуу торчодогу мезгилдүү объектинин P голограммасын G жазуу схемасы. R -таяныч толкуну, V_0 -объекттик толкун

Биринчи кошулуучунун таасирин голограмманы жөнөкөй агартуу менен жок кылууга болот жана ал фазалык маалыматты гана калтырат. Экинчи кашадагы кошулуучулар Френелдин голограммасы жөнүндө маалыматты камтышат, үчүнчү каша – бул Габордун голограммасы.

Өткөрүүчү объекттердин өзгөчөлүгү (3-сүрөт) болуп, бул учурда объекттик толкунду эки түзүүчүлөрдүн: дифракцияланган жана дифракцияланбаган бөлүктө-рүнүн топтому катары кароого болот. Дифракцияланбаган бөлүктү предметтик толкунга окшош болгон таяныч толкун катары кароого болот. Б.а. сызыктуу торчонун голограммасын жазуу – бул, маңызы боюнча, жылчыксыз кубулмалуу голограмманын жазуу схемасы. Ушул себептен торчонун голограммасы, ак түс менен аны калыбына келтирүү учурунда, голограмманын тегиздигинде жайгашкан жана кубулмалуу түскө боёлгон торчонун ачык сүрөттөлүшүн берет. Эгерде голограмма адаттагыдай баштапкы опордук толкун менен калыбына келтирилсе, анда бул учурда торчонун өзүн-өзү жаратуу эффекттин анын голографиялык көрүнүшүндө байкоого болот.

Габордун ыкмасына ылайык каралуучу транспаранттын өткөрүүчү коэффициентин, биздин учурда – бир өлчөмдүү сызыктуу торчо, сумма катары төмөнкү түрдө кароого болот:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_n, \quad (8)$$

мында σ_0 - нөлдүк мейкиндиктик жыштыгы бар торчонун өткөрүүчү коэффициентинин белгиленген түзүүчүсү, ал эми σ_n - дифракцияга кабылган түзүүчү, же нөлдүк эмес жыштыктуу кошулуучу. (6)-чы катышына ылайык торчонун тегиздигинен z алыстыгында объекттик талаа төмөнкү түргө ээ:

$$\sigma_0 = b_0, \quad \sigma_n = \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[i 2 \pi x \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] \quad (9)$$

Талааны эсептөө, бул учур үчүн голограмманын тегиздигинин тегерегинде, төмөнкү түрдөгү катышты берет:

$$V_z(x, y, z) = V_0(x, y, z) + V_n(x, y, z) = l \exp(ikx \sin \varphi) b_0 + l \exp(ikx \sin \varphi) \times \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[i 2 \pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] \quad (10)$$

Голограмманын тегиздигине жакын талаанын ургалдуулугун бөлүштүрүү үчүн катыш:

$$I(x, y) = |R + V_z|^2 = |R + V_0 + V_n|^2 = (R + V_0 + V_n)(R + V_0 + V_n)^* =$$

$$\begin{aligned}
&= A^2 + A \exp(ikz) l^* \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[-i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] \exp(-ikx \sin \varphi) + \\
&+ A \exp(-ikz) l \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] \exp(ikx \sin \varphi) + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} b_0^2 + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} b_0 \times \\
&\times \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[-i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} b_0 \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] + \\
&+ \frac{\lambda^4}{4\pi^2} \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right] \sum_{n=-\infty, n \neq 0}^{\infty} b_n \exp \left[-i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right]
\end{aligned} \tag{11}$$

Эгерде ушул голограмманы жазуу учурунда $R = A \exp(ikz)$ таяныч толкун колдонуу менен жарык кылынса, анда ал голограмма үчүн дифракциялык тартиптерди көрсөтүүчү үч шооланы калыбына келтирет жана алардын багыты таяныч, объекттик толкундардын таркалуу шоолаларынын ортосундагы φ бурчунун мааниси менен аныкталат. Дифракциялык тартиптердин ар бирин өзүнчө кененирээк изилдейбиз.

- φ бурчу менен берилген жана дифракциянын -1-чи тартиби катары кароого мүмкүн болгон багыт боюнча (11) де биринчи кошулуучулары менен жазылуучу толкун таратылат. (11) катыш көрсөткөндөй, ушул багыт чыныгы, ошол эле учурда - байланыштуу болуп эсептелүүчү торчонун сүрөттөлүшүн калыбына келтирет. Байланыштуу торчо баштапкы объектке карата жарым мезгилге жылган фазалуу торчонун сүрөттөлүшү болуп эсептелет.

Каралып жаткан катыш, голограмманы жазуунун тышкы октуу схема-сын колдонуу учурунда чыныгы сүрөттөлүштү калыбына келтирүү зарыл болгон жерде гана калыбына келтирилген торчонун кадимки чыныгы сүрөттөлүшүнөн башка, торчонун өзүн-өзү жаратуунун бардык удаалаштыгын калыбына келтирүү жүргүзүлөрүн дагы көрсөтөт жана ал чыныгы мейкиндик аймагында гана эмес, торчо алдындагы мейкиндикте б.а. жалган мейкиндикте дагы жайылтылат.

Дифракциянын +1-чи тартибин карайбыз. Бул тартип голограмманын тегиздигине перпендикуляр болгон $+\theta$ багыты боюнча жарык толкунунун таркалуусуна туура келет жана ал төмөнкү катышы менен жазылат:

$$L \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \exp \left[i2\pi \left(\frac{nx}{d} - \frac{n^2 \lambda z}{2d} \right) \right] \exp(ikx \sin \varphi) \tag{12}$$

Бул багытта жазылган торчонун жалган сүрөттөлүшү кайра калыбына келтирилет. Өзүн-өзү жаратуунун удаалаштыгы ушул учур үчүн дагы мейкиндиктин жалган аймагынан чыныгы аймагына жайылтылат. (11) катышы дагы эгерде калыбына келтирүү процесси баштапкы таяныч толкунга байланыштуу болгон $R = A \exp(-ikz)$ толкунунун жардамы менен жүзөгө ашырылса, анда бул учурда дифракциянын ± 1 тартиптеринде объекттин чыныгы жана жорума жалган сүрөттөлүштөрү кээ бир жерлерде өзгөрүшөт. Эгерде торчонун өзүн-өзү жаратуусунун удаалаштыктары бардык мейкиндик боюнча, жалган бөлүгүндө дагы жана чыныгы бөлүгүндө дагы, жайгаштырылган, ал эми өзүн-өзү жаратуу торчонун кайсы бир сүрөттөлүшү катары караган учу-

рун эске алсак, анда бизге голограмманы түз жана байланыштуу толкундары менен калыбына келтирүү дифракциянын ± 1 тартиптеринде өзүн-өзү жаратуунун эки удаалаштыгын бир эле учурда көрүүгө мүмкүндүк берет.

(11)-чи туюнтмадан өзүн-өзү жаратуулардан турган орундарынын координаталарын аныктоого болот:

дифракциянын $+1$ -чи тартиби үчүн координаталар төмөнкү катнашы менен аныкталышат:

$$z_1 = -z_r + \frac{2d^2}{\lambda} k, \quad (13)$$

мында $k = l, l = 0, 1, 2, 3, \dots$;

дифракциянын -1 -чи тартиби үчүн:

$$z_1 = \frac{2d^2}{\lambda} n + \left[z_r - \text{int} \left(\frac{z_r}{t} \right) t \right], \quad (14)$$

мында $t = \frac{2d^2}{\lambda}$ - өзүн-өзү жаратуунун турактуулугу,

$n = l/2, (l = 0, 1, 2, 3, \dots)$;

дифракциянын 0 -чү тартиби үчүн:

$$z_1 = \frac{2d^2}{\lambda} n + \left[z_r - \text{int} \left(\frac{z_r}{t} \right) t \right]. \quad (15)$$

Үчүнчү бөлүмдө математикалык моделдин жардамы менен жылчыксыз кубулмалуу голографиянын ыкмасы боюнча жазылган, кайталануучу объекттин голограммасын калыбына келтирүү учурунда пайда болгон өзүн-өзү жаратуу эффекти, универсалдык голографиялык интерферометрди иштеп чыгуу учурунда, изилдөө үчүн татаал түрдөгү өткөрүүчү чөйрөлөр катары дагы жана чагылдуучу объекттер катары дагы пайдаланышы мүмкүн экендиги көрсөтүлгөн.

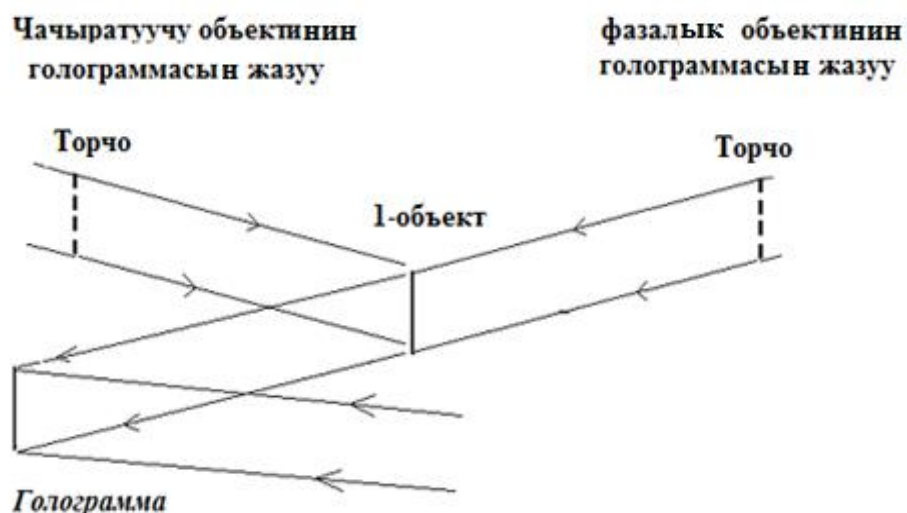
Өзүн-өзү жаратуу эффектисинин негизинде универсалдык голографиялык интерферометрдин иштөө принциби кадимки интерферометрдин иштөө принцибине окшош. Эң маанилүү өзгөчөлүгү болуп, экинчи сызыктуу торчонун ордуна сызыктуу торчонун жана объекттин (чагылдыруучу же өткөрүүчү) голограммаларынын жайгашышы эсептелет. Универсалдык голографиялык интерферометрде колдонулган голограмманын жалпыланган жазуу схемасы 4 -чү сүрөттө көрсөтүлгөн.

Чагылдыруучу дагы, өткөрүүчү дагы объекттер үчүн голограмманын тегиздигинде объекттик талаа торчону тешип өткөн жана объекттин чагылдыруу коэффициентине же өткөрүү коэффициентине көбөйтүлгөн жарык талаа катары жайгашат. Бирок, ушул учурлардын ар бири эске алганга зарыл болгон өзүнүн өзгөчөлүгүнө ээ.

Чагылдыруучу объекттер үчүн объекттен чагылган талаа төмөнкү түргө ээ болот:

$$V(x_2, y_2, z_2^+) = V(x_2, y_2, z_2^-) \sigma(x_2, y_2), \quad (16)$$

мында $V(x_2, y_2, z_2^-)$ - торчону теше өткөн жана объектке түшкөн толкун;



4-сүрөт. Чачыратуучу жана өткөрүүчү объектилердин голограммасын жазуунун жалпыланган схемасы.

$\sigma(x_2, y_2)$ -объектти чагылдыруунун коэффициенти жана анын түрү чагылдыруучу бетке түшкөнгөн жарык талаасынын өзгөчөлүктөрү менен жана чагылдыруучу беттин өзүнүн мүнөздөмөлөрү менен аныкталат.

Чагылдыруучу объекттер үчүн объекттин ары жагындагы жарык талаа дагы (16)-чы катнашы менен аныкталат, бул учурда $\sigma(x_2, y_2)$ гана чөйрөнү өткөрүүнүн коэффициенти болуп эсептелет.

Торчону өткөрүүнүн коэффициенти $\sigma_p = \sigma_{0p} + \Delta\sigma_p$ суммасы катары, ал эми изилденүүчү объектти чагылдыруунун коэффициенти же өткөрүүнүн коэффициенти $\sigma(x_2, y_2) = \sigma_0 + \Delta\sigma(x_2, y_2)$ суммасы катары көрсөтөбүз, мында биринчи түзүүчүлөр коэффициенттердин дифракцияланбаган түзүүчүлөрү болуп эсептелишет, ал эми экинчиси – ушул коэффициенттердин дифракцияланган түзүүчүлөрү. Бул учурда торчону теше өткөн жана объектти чагылдырылган же теше өтүүчү жарык талаасын төрт толкундардын суммасы катары көрсөтүүгө болот.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4. \quad (17)$$

Мында

$$W_1 = 0,5 \exp(ikz_3) b_0 \sigma_0, \quad (18)$$

$$W_2 = 0,5 \exp(ikz_3) \sigma_0 \sum_{s=-\infty, s \neq 0}^{\infty} b_s \exp \left[i2\pi \left(\frac{x_2 s}{d} - \frac{s^2 \lambda z_3}{2d^2} \right) \right], \quad (19)$$

$$W_3 = b_0 \frac{\exp(ikz_3)}{2i\lambda(z_3 - z_2)} \times \int \int_{-\infty}^{\infty} \Delta\sigma(x_2, y_2) \exp\left\{\frac{ik}{2(z_3 - z_2)}[(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2]\right\} dx_2 dy_2 \quad (20)$$

$$W_4 = \frac{\exp(ikz_3)}{2i\lambda(z_3 - z_2)} \int \int_{-\infty}^{\infty} \Delta\sigma(x_2, y_2) \times \sum_{s=-\infty, s \neq 0}^{\infty} b_s \exp\left[i2\pi\left(\frac{x_2 s}{d} - \frac{s^2 \lambda z_2}{2d^2}\right)\right] \exp\left\{\frac{ik}{2(z_3 - z_2)}[(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2]\right\} dx_2 dy_2 \quad (21)$$

(x_2, y_2, z_2) - объекттин тегиздигине туура келишкен координаталар, (x_3, y_3, z_3) - голограмма тегиздигинин координаталары.

Голограмманы жазуу учурунда дагы $R = A \exp(-i\theta)$ жалпак таяныч толкуну колдонулат, мында θ - таяныя жана предметтик толкундардын ортосунтагы бурч.

(18) – (21) ден көрүнүп турат, W_1 и W_2 түзүүчүлөрү объект жөнүндөгү маалыматты бербейт, ошондуктан мейкиндиктик фильтрация ыкмалары менен аларды жоготууга болот. Бул учурда голограмманын тегиздигинде жарык толкунунун ургалдуулугу, демек голограмманы өткөрүү коэффициенти дагы, төмөнкү түргө ээ болот:

$$I = W_3 W_3^* + W_3 W_4^* + W_3 A e^{i\theta} + W_4 W_3^* + W_4 W_4^* + W_4 A e^{i\theta} + W_3^* A e^{-i\theta} + W_4^* A e^{-i\theta} + A^2. \quad (22)$$

Бул голограмманы калыбына келтирүү өтө маанилүү бир өзгөчөлүккө ээ. Голограмма бир эле учурда төмөнкү түрдөгү эки жарык толкундары менен: баштапкы таяныя толкуну менен жана чагылдыруу учурунда же өзгөртүлгөн объектти тешип өткөн учурунда бузулган предметтик толкун менен, калыбына келтирилет.

$$W' = W'_3 + W'_4.$$

Голограмманы калыбына келтирүү төмөнкү түрдөгү жарык талаасын түзөт:

$$V = I(W'_3 + W'_4 + A e^{-i\theta}) = (W_3^* A^2 + W_4^* A^2) e^{-i2\theta} + (W_3^* W'_3 A + W_4^* W'_3 A + W_3^* W'_4 A + W_4^* W'_4 A + W_3 W_3^* A + W_3 W_4^* A + W_4 W_3^* A + W_4 W_4^* A + A^3) e^{-i\theta} + (W_3 W_3^* W'_3 + W_3 W_4^* W'_3 + W_4 W_3^* W'_3 + W_4 W_4^* W'_3 + A^2 W'_3 + W_3 W_3^* W'_4 + W_3 W_4^* W'_4 + W_4 W_3^* W'_4 + W_4 W_4^* W'_4 + A^2 W'_4 + W_3 A^2 + W_4 A) e^{i0} + (W_3 W'_3 A + W_4 W'_3 A + W_3 W'_4 A + W_4 W'_4 A) e^{i\theta}. \quad (23)$$

(23)-чү катнашынан келип чыгат, голограмманы калыбына келтирүү төрт толкундардан пайда болот жана алар $-2\theta, -\theta, 0$ и θ бурчтары менен аныкталуучу багыттары боюнча таркалышат (5-сүрөт).

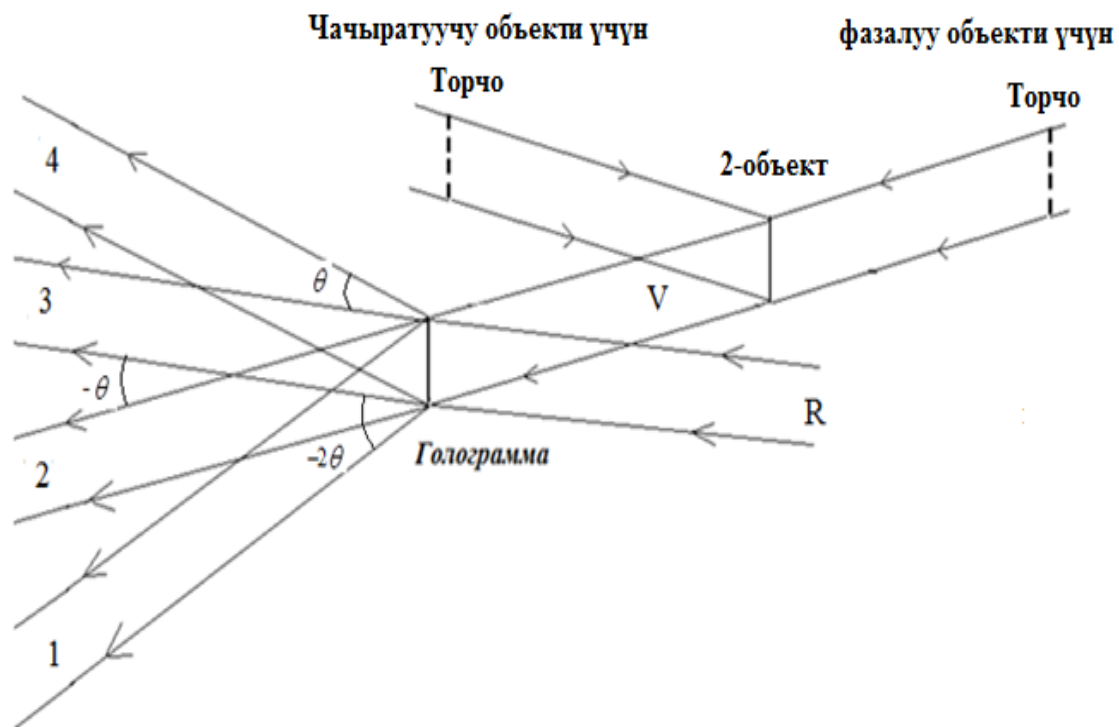
1, 2, 3, 4 багыттарынын ар бири үчүн жарык талааларынын түрүн өзүнчө баалайбыз.

Жарык талаа 1-чи багытта төмөнкү катнашы менен берилет:

$$V_1 = (W_3^* + W_4^*) A^2 = (W_3 + W_4)^* A^2 e^{-i2\theta}. \quad (24)$$

(24) катнашы, бул каналда чыныгы, бирок бул учурда баштапкы, сызыктуу торчо менен баштапкы бузулбаган фазалык объекттин айкалышын көрсөтүүчү комплексттик объекттин байланыштуу сүрөттөлүшү экендигин

көрсөтөт. Торчо объект менен бузулган жана ал беттин же изилдөөчү объекттин түрү жөнүндөгү сапаттык баалоо жүргүзүүгө мүмкүндүк берет.



5-сүрөт. Чачыратуучу жана өткөрүүчү объектилерди изилдөө үчүн универсалдык голографиялык интерферометрдин принципталдуу схемасы.

(23) ылайык жарык талаасы 2 – нурду бойлото катышы берилет

$$V_2 = W_3^* W_3' A + W_4^* W_3 A + W_3^* W_4' A + W_4^* W_4 A + W_3 W_3^* A + W_4 W_3^* A + W_4 W_4^* A + A^3 =$$

$$= [(W_3 + W_4)^* (W_3 + W_4 + W_3' + W_4') + A^2] A. \quad (25)$$

Көбөйтүүчү $W_3 + W_4 + W_3' + W_4'$ - бул объектинин сүрөттөлүшүнүн суммасынын баштапкы жана сырткы абалдарынын таасирлеринен өзгөрүлгөн абалдар, голограмманын артындагы мейкиндик аймагында калыбына келет, башкача айтканда бул чыныгы сүрөттөлүш. Бул каналда пайда болгон картина, эки ар кандай абалдагы бир объектиден алынган эки толкундун суперпозициясы, б.а. изилденүүчү объектинин өзгөрүштөрүн алып жүрүүчү маалыматтын интерферограммасы. Берилген дифракциялык катарда интерференциялык картинанын өзгөчө татаалдаштырат, себеби баштапкы объектинин сүрөттөлүшүнө байланышкан интерференциялык картинага $(W_3 + W_4)^*$, көбөйтүүчүсүнүн корреляциясы таасир этет. Бул өз учурунда эки объектинин камтыйт: изилденүүчү фазалык объект жана жардамчы сызыктуу торчо. Жыйынтыгында картинаны татаал интерферограмма катары кароого болот, ал сызыктуу торчонун сүрөттөлүшүндөй модулдаштырылган – бул Муар картинасы.

Берилген каналдагы жарык толкундардын кароодо өзүн –өзү жаратуу эффектисин эске алуу керек, буга ылайык торчонун негизги сүрөттөлүшүнөн башка дагы торчонун сүрөттөлүшүнүн чексиз катарларпы да калыбына келет.

Бул эффект голограммада каалаган аралыктагы контрастуу интерференциялык картинаны алууга мүмкүндүк берет, эгерде экран өзүн-өзү жаратуу тегиздиктердин бирөөсүндө жайгашкан шартында. Баштапкы учурда каралгандай бул канал жогорку сезгичтиктеги голографиялык канал болуп эсептелет., мында фазалык объектинин сүрөттөлүштөрүнүн баштапкы жана өзгөрүлгөн абалдары салыштырылат.

3-каналда белгиленгендей нөлдүк дифракциялык катар үчүн жарык толкунун (23) көрүнгөндөй төмөнкү түрдө берилет:

$$V_3 = W_3 W_3^* W_3' + W_3 W_4^* W_3' + W_4 W_3^* W_3' + W_4 W_4^* W_3' + A^2 W_3' + W_3 W_3^* W_4' + W_3 W_4^* W_4' + W_4 W_3^* W_4' + W_4 W_4^* W_4' + A^2 W_4' + W_3 A^2 + W_4 A^2 = (W_3' + W_4')(W_3 + W_4)(W_3 + W_4)^* + A^2(W_3 + W_4 + W_3' + W_4'). \quad (26)$$

Кошулуучуларды (26) $A^2(W_3 + W_4 + W_3' + W_4')$ изилденүүчү объектинин баштапкы жана өзгөртүлгөн абалдарынын сүрөттөлүштөрүн көрсөткөн жарык толкунунун суперпозициясы.

Биринчи кошулуучуда төмөнкү жыштыкты түзүүчү муар түрүндө кезигет, ал голографиялык интерференциялык картинанын фонунда көрүнөт. Төмөнкү жана жогорку жыштыктардын түзүүчүлөрүн бул дифракциялык катардан так даана жогорку жана төмөнкү жыштыктар үчүн фильтрлерди колдонуу менен бөлүп алууга болот. Сызыктуу торчонун өзүн-өзү жаратуу тегиздиктеринин болушу интерференциялык картиналардын локализация көйгөйүн чечүүгө болот.

4-акыркы каналдагы толкун төмөнкү катыш менен берилет

$$V_4 = (W_3 W_3' A + W_4 W_3' A + W_3 W_4' A + W_4 W_4' A) = (W_3 + W_4)(W_3' + W_4') A. \quad (27)$$

Бул айтылгандардан көрүнгөндөй каралып жаткан интерферометр ар кандай сезгичтиктеги төрт чыгуучу каналга ээ, мында ар бир канал үчүн интерференциялык картинанын локализациялануу көйгөйү максималдуу жөнөкөй чечилген себеби картинанын так даана көрүнүшү өзүн-өзү жаратуу тегиздигинде эң чоң.

Ошондой эле бул бөлүмдө универсалдык голографиялык интерферометрлердин иштөөсүн компьютердеги моделинин жыйынтыктары көрсөтүлгөн. Бул компьютердик модельдин негизинде жогоруда көрсөтүлгөндөй интерферометрдин модели жатат.

Компьютердик моделге киргизүү үчүн сызыктуу торчонун ижана изилденүүчү объектини алдын ала дискретизация кылган. Дискретизация процесси эң жөнөкөй схема менен жүзөгө ашырылган, мында киргизилген объектини сүрөттөөчү үзгүлтүксүз функция $E(x, y)$, дал келүүчү $E(l, s)$ эсептөө матрицасы менен алмашылган. Эсептөөлөр x жана y окторун бойлото, Δx жана Δy кадамдары төрт бурчтуктун жактары боюнча берилген. Дискретизация кадамы эсептөөлөрдүн теоремасынын италабына дал келет. Берилген шарт өтүүнүн тескери учур үчүн сүрөттөлүштүн дискреттик формасынан анын үзгүлтүксүз формасына өтүүдө сүрөттөлүштү жоготуусуз калыбына келтирүү мүмкүнчүлүгүн берет. $E(l, s)$ эсептөө матрицасынын $E(x, y)$ үзгүлтүксүз функциясына тескери өтүү дискретизация точкалары

үчүн сызыктуу интерполяция түрү аркылуу ишке ашат. Математикалык көз карашы менен көрсөтүлгөн операция удаалаштыктын бириктирилишин төмөнкү түрүндө берилет

$$E(x, y) = \sum_{l=0}^{M_x-1} \sum_{s=0}^{M_y-1} E(l, s) \delta(x - l\Delta x) \delta(y - s\Delta y) \quad (28)$$

$\Psi(x, y)$ -кандайдыр бир интерполяция функциясы менен. Берилген конкреттүү абал үчүн голографиялык процесстерди сүрөттөөдө sinc-функция, мында $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$ жетишеерлик эффективдүү. Көрсөтүлгөн интерполяция функциясынын эффективдүүлүгү баштапкы функцияны төрт чарчы аймагында дискретизация учурунда $E(l, s)$ функциясын дискреттүү сүрөттөөдө функциянын өзгөрүүсү бир гана дискретизация точкаларында болуп өтөт, ал эми аралыктарында функциясынын мааниси туруктуу боюнча калат (28 кара)) Фурье – өзгөтүп түзүү үчүн (28) барабардыктан мурда каралган sinc - функциясы менен түрүлгөн (свертка) алабыз. (28) формуладагы функциясы Дирактын $\delta(x)$ функциясын берет. l жана s тин, маанилеринин өзгөрүү диапозону, ошондой эле M_x жана M_y маанилери транспаранттын өлчөмү жана дискретизациянын кадамы менен берилет. $E(x, y)$ тин 0 дөн айырмалуу шартында $[-X_{\max}, X_{\max}; -Y_{\max}, Y_{\max}]$, төрт чарчы аймакта төмөнкүнү алабыз

$$M_x = \text{int}(2X_{\max}/\Delta x), \quad M_y = \text{int}(2Y_{\max}/\Delta y), \quad (29)$$

мында int аргументтин бүтүн бөлүгүн көрсөтөт.

Голограмманы калыбына келтирүүдө аны баштапкы таяныч толкун жана өзгөрүлгөн предметтик толкун менен бир эле мезгилде жарыктандырылган. Предметтик толкундун маанисин голограмманын тегиздигинде Френелдин өзгөртүп түзүүсү аркылуу эсептелиген. Голографиялык процесстин акыркы этабында интерферометрдин чыгуучу каналдарынан жарык талаасынын бөлүштүрүлүшү Френелдин кайра түзүүсүн көбөйтүүдөн болгон көз карандылыгынан алабыз.

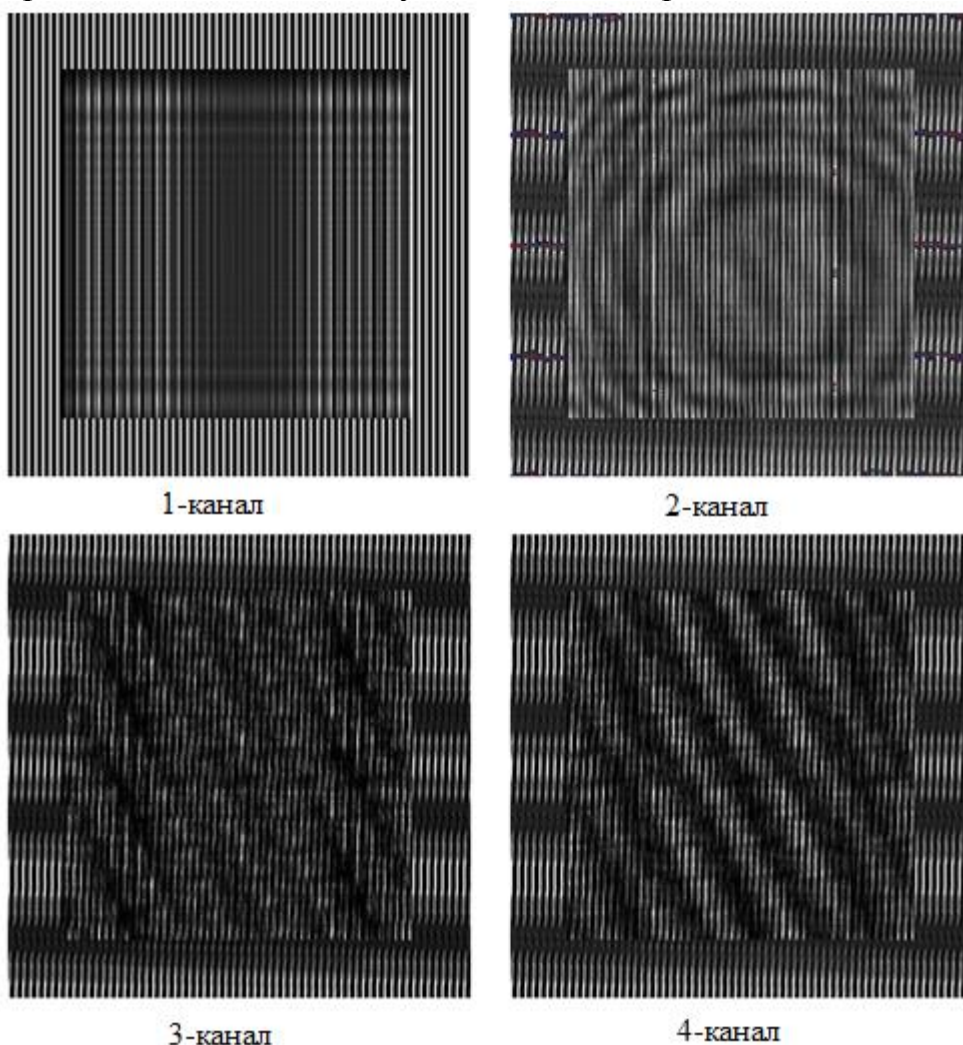
$$V = I(W'_3 + W'_4 + Ae^{-i\theta}). \quad (30)$$

6-сүрөттө жука линза тибиндеги өткөрүүчү объект үчүн универсалдык голографиялык интерферометрдин чыгуучу каналдарынан түзүлгөн интерференциялык картиналардын мисалы келтирилген. Баштапкы объект жана торчонун голограммасы объекттик толкун менен калыбына келген, мында баштапкы торчо өзүнүн тегиздигинде кандайдыр бир бурчка кайра кайрылган. Кайра кайрылган бурчу өтө кичине алынган. 6-сүрөттө бул бурч $\gamma = 0,06$ радианга барабар.

6-сүрөттөгү ички квадрат фазалык чөйрөнү камтылган учурдагы интерференциялык картинаны берет. Ички квадраттын сыртындагы интерференциялык картина фазанын чөйрө жок кезде алынган, мында интерферограмманын тартуудагы бардык башка параметрлеринин өзгөрбөө учурунда. 6- сүрөттө көрүнгөндөй (1-канал) фазалык чөйрө жука линза тибинде болгондогу торчонун сүрөттөлүшү бурмаланат. Берилген

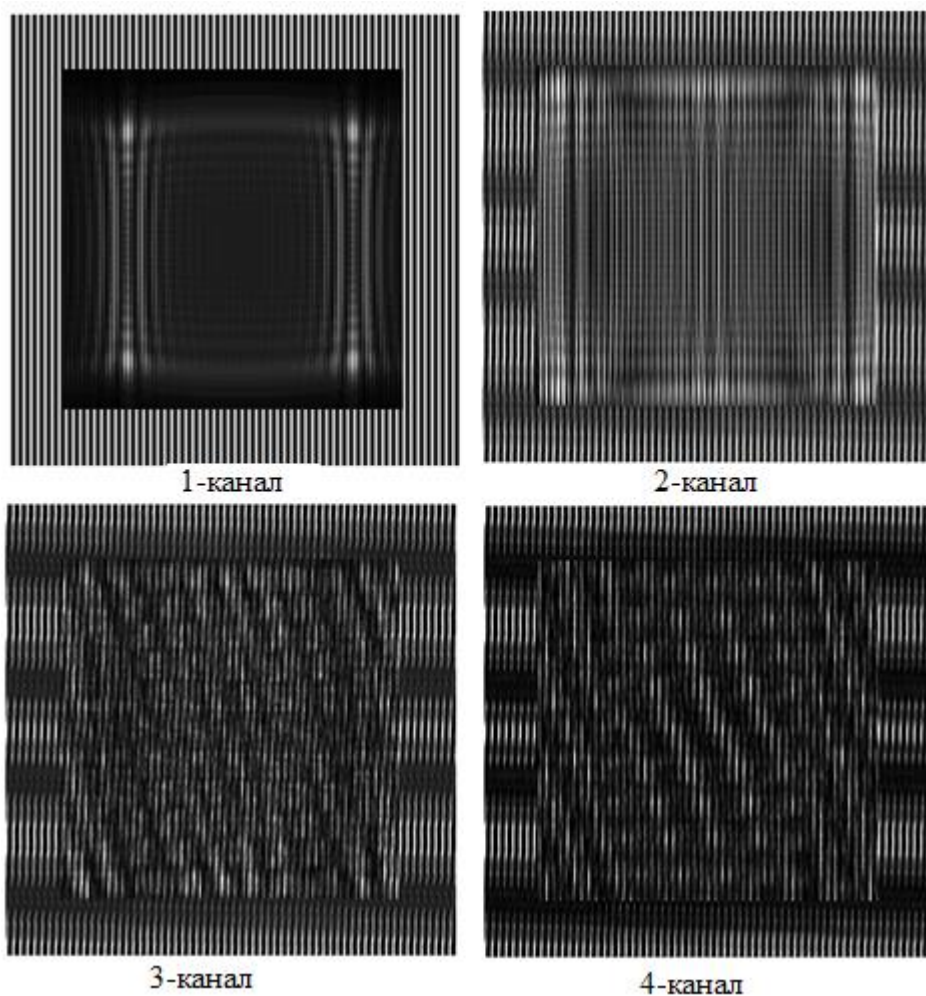
бурмалоонун мүнөзү торчонун сызыктарынын симметриялык жылышы интерференциялык картинанын борборунан башталат, бул бир эле мезгилде торчонун мезгилинин чоңойушу менен коштолот. Берилген каналдагы торчонун бурмаланышын жука линзанын мүнөздөмөсүнө сапаттуу баа берүүгө мүмкүндүк берет. Канал начар сезгичтикке ээ.

4-каналда муардын жантак сызыктарга ээ болгон интерференциялык картина камтылган. Бул канал Тальботтун кадимки интерферометрине окшош, мында интерференциялык картинанын маалыматтык бөлүгү болуп муар картинасы эсептелинет. Бул канал да начар сезгичтикке ээ.



6-Сүрөт. Линза бул объект. $z = 8t$ каралып жаткан тегиздиктен голограмманын тегиздигине чейинки аралык. 0 рад. жана 0,06 рад. дал келген баштапкы жана акыркы торчонун буруу бурчу.

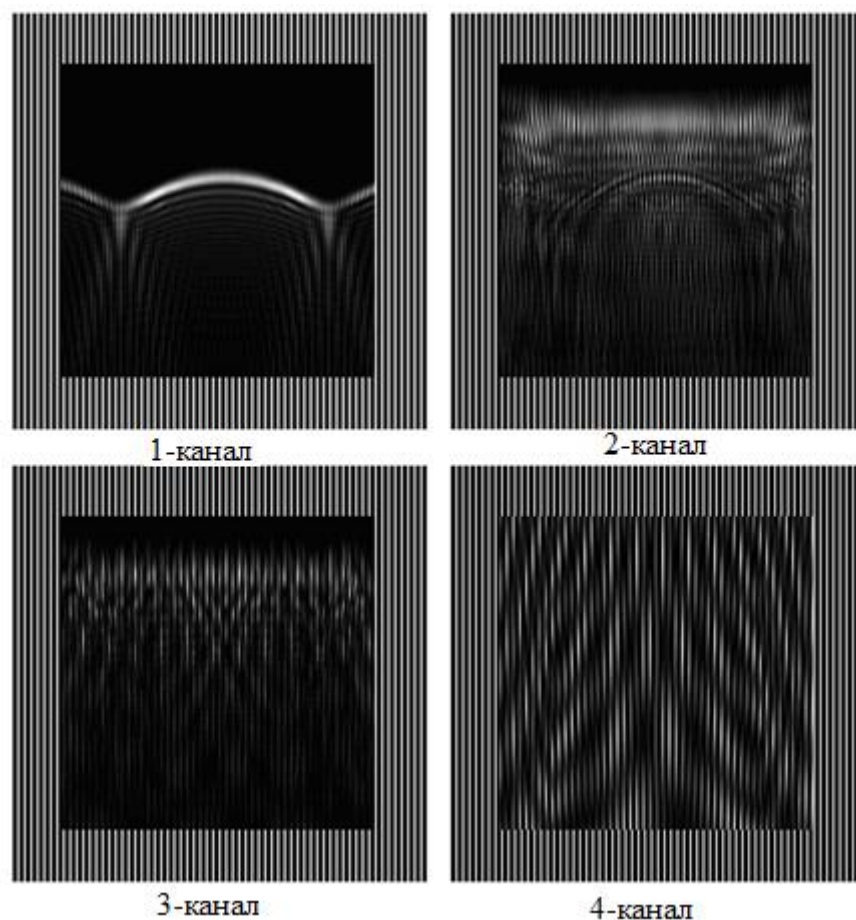
Голографиялык каналдар берген 2- жана 3- каналдардагы толкундар изилденүүчү фазалык чөйрөнүн баштапкы жана өзгөргөн абалдарынан келген толкундар кошулат. Интерференциялыкмуар менен модуляцияланат, мында берилген каналдарга торчо үчүн өзүн-өзү жаратуу ыраттуулугу баштапкы жана бурулган абалдарында пайда болот. Бул канал жогорку сезгичтикке ээ.



7-Сүрөт. Сфералык абберациясы менен объект -линза. $z = 8t$ каралып жаткан тегиздиктен голограмманын тегиздигине чейинки аралык. 0 рад. жана 0,06 рад. дал келген башталгыч жана акыркы торчонун буруу бурчу.

Когеренттүү эмес жарыкта сүрөттөлүштүн калыптанышы оптикалык системанын компьютердик моделинин иштөө учурундагы алынган жыйынтыктары 7-8- сүрөттө көрсөтүлгөн. 7-сүрөттө изилденүүчү объектке (линзага) сфералык абберация киргизилген. 8-сүрөт изилденүүчү объектке кома тибиндеги абберация киргизгендеги интерферометрдин чыгуучу каналдарынан алынган интерференциялык картиналарды көрсөтөт.

Төртүнчү бөлүмдө когеренттүү эмес жарык кылуу учурунда иштөөчү оптикалык системанын математикалык модели каралган. Ушундай оптикалык системанын математикалык моделинин базасында иштелип чыккан компьютердик модел маалыматты оптикалык иштетүүнүн автоматташтырылган системасында колдонулушу мүмкүн, анын ичинде голографиялык интерферометрдин иштөө принциби жылчыксыз кубулмалуу голографиянын ыкмаларына негизделген универсалдык голографиялык интерферометрдин чыга беришинен алынган татаал интерферограммаларды талдоо учурунда колдонулат.



8-Сүрөт. Кома тибиндеги абберациясы менен объект-линза. . $z = 8t$. каралып жаткан тегиздиктен голограмманын тегиздигине чейинки аралык. 0 рад. жана 0,06 рад. дал келген башталгыч жана акыркы торчонун буруу бурчу.

Эгерде когеренттүү эмес жарык кылуу объекти жарык кылуу үчүн пайдаланылса, анда кайра кубултуучу оптикалык система жарыктын ургалдуулугунна карата сызыктуу система катары каралышы керек. Когеренттүү эмес жарык кылуу учурунда жарыктын ургалдуулугун кайра өзгөртүүнү төмөнкү түрдөгү свертка катары көрсөтсө болот:

$$I_2(x_2, y_2) = g \iint_{-\infty}^{\infty} |h(x_2 - x_1, y_2 - y_1)|^2 I_k(x_1, y_1) dx_1 dy_1, \quad (31)$$

мында I_k - идеалдуу сүрөттөлүштүн интенсивдүүлүгү үчүн геометриялык оптиканын жакындашы; h - импульсдук элес, б.а. (x_2, y_2) координаты бар болгон чекит үчүн (x_1, y_1) чекитинде жайгашкан чекиттик булактын таасири учурундагы сүрөттөлүштүн жайгашуу тегиздигиндеги амплитуда; g - чыныгы турактуу чоңдук; I_2 - (x_2, y_2) координаталуу чекиттеги сүрөттөлүштүн интегралдуулугунун мааниси.

Көрсөтүлгөн оптикалык системалардын жыштыктык талдоосу көрсөткөндөй, аларда жарык талаасынын ургалдуулугунун маанилери үчүн сызыктуу кайра өзгөртүү ишке ашырылат. Ушул факты эске алып I_k и I_2 маанилерин бөлүштүрүүнүн жыштык спектрлерин киргизүүгө болот жана

алар идеалдык спектрге карата нормага келтирилет, алардын маанилери төмөнкү катнаштар менен берилишет:

$$\Omega_k(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_k(x_1, y_1) \exp[-i2\pi(\xi x_1 + \eta y_1)] dx_1 dy_1}{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_k(x_1, y_1) dx_1 dy_1} \quad (32)$$

$$\Omega_2(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_2(x_2, y_2) \exp[-i2\pi(\xi x_2 + \eta y_2)] dx_2 dy_2}{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_2(x_2, y_2) dx_2 dy_2} \quad (33)$$

Мында ξ, η - жыштык аймагындагы координаталар. Ушул сыяктуу эле системанын өткөрүп берүү функциясын нормалаштырууга болот:

$$\Omega_2(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_2, y_2)|^2 \exp[-i2\pi(\xi x_2 + \eta y_2)] dx_2 dy_2}{\int \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_2, y_2)|^2 dx_2 dy_2} \quad (34)$$

Эгерде свёртка теоремасын (31) туюнтмасына колдонсок, анда төмөнкү катнашты алабыз:

$$\Omega_2(\xi, \eta) = \Omega(\xi, \eta) \Omega_k(\xi, \eta) \quad (35)$$

$\Omega(\xi, \eta)$ функциясы оптикалык системанын (ОСФ) өткөрүп берүү функциясы болуп эсептелет.

Белгилүү оптикалык когеренттик өткөрүп берүү функциясы $G(\xi, \eta)$ үчүн төмөнкү формула боюнча оптикалык өткөрүп берүү функциясын эсептөөгө болот

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} G(\mu', \tau') G^*(\mu' + \xi, \tau' + \eta) d\mu' d\tau'}{\int \int_{-\infty}^{\infty} |G(\mu', \tau')|^2 d\mu' d\tau'} \quad (36)$$

мында $G(\xi, \eta) = Fu\{h\}$ - Фурье - h элесинин функциясынын сөлөкөтү.

$\mu = \mu' + \frac{\xi}{2}, \tau = \tau' + \frac{\eta}{2}$ өзгөрүлмөлөрүн алмаштыруудан кийин төмөнкү туюнтмага ээ болобуз:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} G\left(\mu - \frac{\xi}{2}, \tau - \frac{\eta}{2}\right) G^*\left(\mu + \frac{\xi}{2}, \tau + \frac{\eta}{2}\right) d\mu d\tau}{\int \int_{-\infty}^{\infty} |G(\mu, \tau)|^2 d\mu d\tau} \quad (37)$$

Когеренттик система учурунда

$$G(\xi, \eta) = Z(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta),$$

мында $Z(x, y)$ – карек функциясы; λ - толкундун орточо узундугу; d_2 – линза менен сүрөттөлүштүн ортосундагы аралык.

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} Z\left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) Z\left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) d\mu d\tau}{\int \int_{-\infty}^{\infty} Z(\mu, \tau) d\mu d\tau} \quad (38)$$

мында, Z функциясы 1 же 0 барабар экенин эске алып, бөлүмүндөгү Z^2 ты Z ге алмаштырабыз.

(38) туюнтмасы идеалдуу оптикалык системаны чагылдырат жана анда абберрация жок болот. Абберрацияны эсепке алган учурда чыга бериштеги каректин тегиздигинде (x, y) координаталуу чекитте фазанын каталыгын $kV(x, y)$ катары эсептөө зарыл, мында k - толкундук сан, ал эми V жолдун узундугунун натыйжалуу каталыгын берет. Бул учурда өткөрүүчү коэффициентти төмөнкү түрдө жазууга болот:

$$Z_j(x, y) = Z(x, y) \exp[ikV(x, y)] \quad (39)$$

$Z_j(x, y)$ - жалпы түрдө карек функциясынын жазылышы. Эгерде абберрацияны эске алсак, анда когеренттик өткөрүп берүү функциясы үчүн төмөнкү катнашты жазууга болот:

$$G(\xi, \eta) = Z(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta) \exp[ikV(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta)] . \quad (40)$$

$Z\left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right)$ жана $Z\left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right)$ функцияларынын тосуу аймагын ар кандай функция $B(\xi, \eta)$ катары беребиз.

Интеграл алдындагы функция карек функцияларынын көбөйтүндүсү болуп эсептелет жана алар $\lambda d_2 \xi$ га жана $\lambda d_2 \eta$ га туура келген μ жана τ координаталарынын окторунун багытында бири-бирине карата жылдырылган. (38) ден көрүнүп тургандай, бул функция карек функциялары тосулган гана аймакта нөлгө барабар эмес. Бул башка аймактардагы функциялардын ичинен бирөөсүнүн мааниси 1 ге барабар, башкасында 0 го барабар, же эки мааниси тең 0 го барабар болгондугунун натыйжасынан келип чыгат.

Башкача айтканда, оптикалык системанын өткөрүп берүү функциясы абберрациялардын жок болуу учурунда төмөнкү түргө ээ болот:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\iint_{B(\xi, \eta)} d\mu d\tau}{\iint_{B(0,0)} d\mu d\tau} .$$

$\iint_{B(0,0)} d\mu d\tau$ интегралы – бул которуштуруу жок учурундагы карек функциясынын интегралы. Бирок, карек функциясы тосуу аймагында 1-ге барабар деп эсептейбиз, б.а. тосуу аймагы бул учурда каректин аянтына барабар. Бардык айтылгандар, каралган интеграл сан жагынан каректин аянтына барабар экенин белгилейт. Абберрациялардын болушун эсепке алуу оптикалык өткөрүү функциясы үчүн төмөнкү туюнтманы берет:

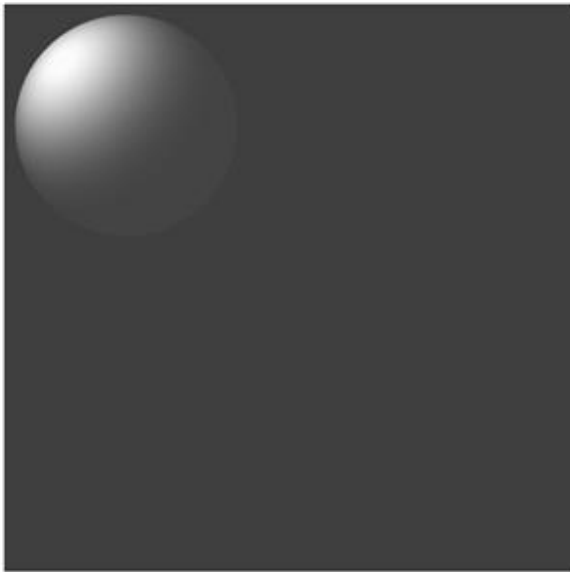
$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\iint_{B(\xi, \eta)} \exp \left\{ ik \left[V \left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2} \right) - V \left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2} \right) \right] \right\} d\mu d\tau}{\iint_{B(0,0)} d\mu d\tau} \quad (41)$$

Бешинчи бөлүмдө экинчи таяныч толкунун (жылчыксыз кубулмалуу голография) пайдалануу менен жазылган үч өлчөмдүү объекттердин голограммаларын жазуу жана калыбына келтирүү процесстеринин математикалык модели каралат. Бул моделди иштеп чыгуу учурунда алдын ала кадимки, октон тышкаркы схемасы боюнча үч өлчөмдүү объекттердин голограммаларын жазуу жана калыбына келтирүү модели түзүлгөн.

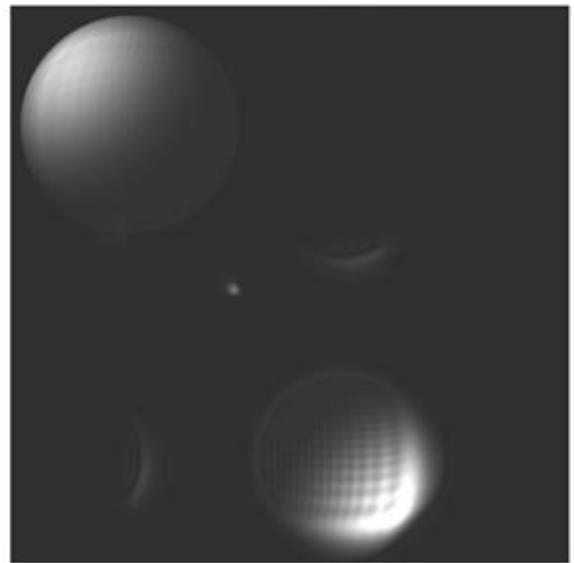
Эгерде объекттин тегиздигинде жарыктын амплитудалык жана фазалык бөлүштүрүүсүн $L(x, y, z) \exp[i\gamma(x, y, z)]$ катнашы менен берсек, анда кээ бир каалагандай тегиздик үчүн жарык талаасы төмөнкү интегралдык туюнтманын жардамы менен жазылат.

$$F(v, \mu, \tau) = \int_{H(x, y, z)} L(x, y, z) |g(x, y, z)| \exp\{i[\gamma(x, y, z) + \alpha(x, y, z)]\} \Omega(x, y, z, v, \mu, \tau) dx dy dz \quad (42)$$

Мында $g(x, y, z)$ - объекттин тегиздиги боюнча амплитудалык коэффициенти, $F(v, \mu, \tau)$ – математикалык голограмманы чагылдырган функция. Мындай голограмманы эсептеп чыгуу өтө татаал маселе. Ошондуктан (42)-чи интегралды жөнөкөйлөтүү үчүн тегиздикте үч өлчөмдүү



9-Сүрөт. Сферанын сүрөттөлүшү.



10-Сүрөт. Сфера үчүн Френелдин голограммасынын калыбына келүү жыйынтыгы (9-Сүрөт).

объекттин амплитудаларын жана фазаларын бөлүштүрүүсүн кайра эсептөө усулу сунуш кылынган. Кайра эсептөө тегиздиги дифракциялык эффекттерин көңүлгө албаган жана геометриялык оптиканын закондорун пайдаланган объектке тийешелүү болуш керек.

Сунуш кылынган ыкма үч өлчөмдүү интегралды Френелдин эки өлчөмдүү интегралга келтиргенге мүмкүндүк берди.

$$F(\nu, \mu) = \int_{(x,y)} g_1(x, y) \exp\{i\pi\lambda^{-1}d^{-1}[(x-\nu)^2 + (y-\mu)^2]\} dx dy \Gamma(\lambda, \eta) \sim \int_{(x,y)} \quad (43)$$

Мындай интегралды эсептөө бир аз жөнөкөй, себеби бул интеграл Фурьенин өзгөртүп туюнтуусуна келтирүүгө болот жана ал сандык эсептөө учурунда Фурьенин тез өзгөртүп туюнтуусун колдонууга мүмкүндүк берет. Сунуш кылынган математикалык моделдин негизинде компьютердик модел иштелип чыккан, анын иштөөсүнүн жыйынтыктары 9-чу жана 10-чу сүрөттөрүндө көрсөтүлгөн.

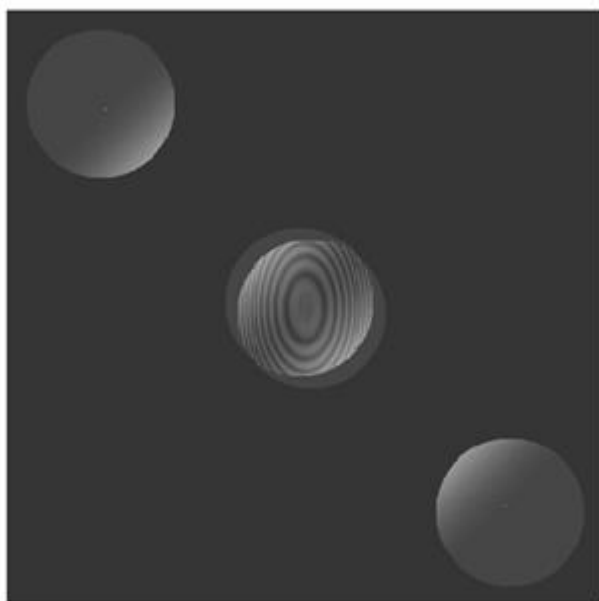
9-чу сүрөттө сферанын сүрөттөлүшү көрсөтүлгөн, анын амплитудалары жана фазалары сферанын бетине тиешелүү болгон тегиздикте кайра эсептелген. 10-чу сүрөттө сферанын голограммасын калыбына келтирүүнүн жыйынтыгы көрсөтүлгөн, анын кирүүдөгү сүрөттөлүшү 9-чу сүрөттө келтирилген. Голограмма Френелдин зонасында жазылган. Жазуу учурунда жалпак таяныч толкун пайдалынган. Калыбына келтирүү үчүн баштапкы жалпак таяныч толкуну пайдаланылган, ошондуктан сүрөттө бир гана фокусталган сүрөттөлүш көрүнүп турат - сферанын чыныгы сүрөттөлүшү. Жалган сүрөттөлүштүн жайгашуу орду фокусталбаган так менен белгиленген. Сүрөттө көрүнүп турат, дифракциянын нөлдүк тартибинде баштапкы таяныч толкун гана калыбына келтирилет. Алынган жыйынтык Френелдин голограммасын жазуу жана калыбына келтирүү боюнча оптикалык тажрыйбалардын жыйынтыктары менен жакшы дал келет.

Объекттик толкунга окшош болгон экинчи таяныч тутамын пайдалануу менен жазылган голограммаларды жазуу жана калыбына келтирүү процесстерин компьютердик моделдештирүү жогоруда каралган математикалык моделдин негизинде жүргүзүлгөн. Голограмманы жазуу жана калыбына келтирүү Френелдин зонасында жүргүзүлдү, б. а. математикалык голограмманы түзүү үчүн Френелдин өзгөртүп туюнтуусу колдонулду. Объекттик толкунга окшош болгон таяныч тутамын түзүү үчүн объекттен күзгүлүү түзүүчү чагылган толкундун багыты алынган. Сунуш кылынган моделде экинчи таяныч толкунун күчөтүү үчүн көлөмдүү объект чагылдырылган тегиздикте күзгү жайгаштырылат. Ушундай жазуу схемасы объекттик толкун менен багыты боюнча туура келген жарыктын жогорку интенсивдүү тутамын алууга мүмкүндүк берет. 11-12 сүрөттөрүндө моделдештерүүнүн жыйынтыктары берилген. 11-чи сүрөттө экинчи таяныч тутамын пайдалануу менен жазылган голограмма менен калыбына келтирилген сферанын сүрөттөлүшү көрсөтүлгөн. Тегиздикте көлөмдүү объекттин чагылуу сүрөтү жайгашкан чекиттик таяныч булагы үчүн Френелдин өзгөртүп туюнтуусунун жыйынтыгы катары түзүлгөн сфералык таяныч толкуну аркылуу калыбына келтирүү иш жүзүнө ашырылды. Б. а. экинчи таяныч толкунунун таасирлөө факторун эске алуу менен Фурьенин квазиголограммасы үчүн алынган жыйынтык окшош. 11-чи сүрөттөн көрүнүп тургандай, экинчи таяныч толкундун бар болушу бир таяныч толкуну бар болгондо чыныгы жана жалган сүрөттөлүштөрүн (± 1 тартиптери) гана калыбына келтирбестен, нөлдүк тартипте чыныгы жана

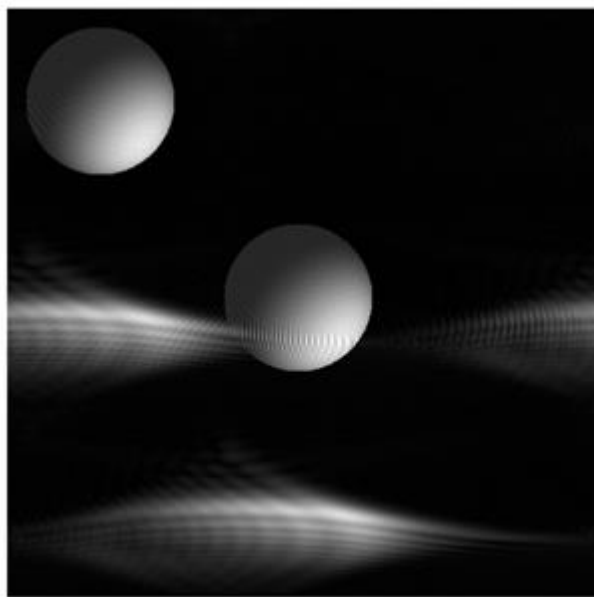
жалган сүрөттөлүштөрүн калыбына келтирет жана алар эки сүрөттөлүштөрдү теңөө учурунда интерференциялык сүрөттү түзөт.

12-чи сүрөттө голограмманын тегиздигинен чакан аралыкта жайгашкан сферанын сүрөттөлүшүнүн голограммасынан калыбына келтирилгендер көрсөтүлгөн. Голограмманы жазуу жана калыбына келтирүү жалпак таяныч толкуну аркылуу жүзөгө ашырылат. Б.а. таяныч толкуну чексиздикте жайгашкан чекиттик булакты кайра өзгөртүүнүн натыйжасынан түзүлгөн.

Сүрөттөн көрүнүп турат, бул учурда бирөөсү гана – сферанын чыныгы сүрөттөлүшү (дифракциянын +1чи тартиби) калыбына келтирилет, ал эми экинчиси – жалган сүрөттөлүш (дифракциянын -1чи тартиби) – өтө фокусталбаган – сүрөттө бул сүрөттөлүш өтө ачык эмес, созулган так түрүндө көрүнүп турат.



11-Сүрөт Калыбына келген сферанын сүрөттөлүшү (баштапкы объект 9-сүрөттө көрсөтүлгөн). Объект толкуну менен бир окто жана экинчи таяныч шооласын колдонуу менен жазылган голограмма. Сфералык таяныч толкуну менен калыбына келтирүү.



12-Сүрөт. Сферанын сүрөттөлүшүнүн калыбына келиши. Жалпак таяныч толкуну менен калыбына келтирүү.

Мындан башка дагы, нөлдүк тартипте сферанын эки сүрөттөлүштөрү калыбына келтирилет. Анын ичинен бирөөсү өтө фокусталбаган. Бардык сүрөттөлүштөр монохроматиялык таралыш менен калыбына келтирилген, ошондуктан кубулмалуу эффект жок. Эгерде таяныч толкуну катары баштапкыга айкалышкан толкунду алсак, анда калыбына келтирүү сүрөтү күзгү өзгөрөт – өтө фокусталбаган чыныгы жана даана жалган сүрөттөлүш. Нөлдүк тартипте дагы чыныгы жана жалган сүрөттөлүштөрдү алмаштыруу жүргүзүлөт.

Алтынчы бөлүмдө жылчыксыз методу боюнча жазылган кубулмалуу голограммаларды ак түс менен калыбына келтирүү процессин моделдештерүү мүмкүнчүлүгү каралган. Эгерде жазуу схемасына экинчи

таяныч толкунун кошсок, анда фотопластинкага бир эле учурда үч толкун түшөт: $R = A \exp(-i\gamma)$ – таяныч толкуну; $U_0 = c_0 \exp(-i\alpha_0)$ – когеренттик фон (ал предметтикке окшош экинчи таяныч толкунунун ролун аткарат); $U_1(x, y) = c_1(x, y) \exp[-i\alpha_1(x, y)]$ – предметтик толкун. Мында $A, U_0, U_1, \gamma, \alpha_0, \alpha_1$ тиешелүү түрдө, ушул толкундардын амплитудалары жана фазалары. Бул учурда жарыктын ургалдуулугу голограмманын тегиздигинде төмөнкүгө барабар:

$$I(x, y) = |R \exp(-i\lambda) + U_0 \exp[-i(\alpha_0 + \psi)] + U_1 \exp[-i(\alpha_1 + \psi)]|^2 = R^2 + U_0^2 + U_1^2 + 2U_0U_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_0) + 2RU_1 \cos(\psi + \gamma - \alpha_1) + 2RU_0 \cos(\psi + \gamma - \alpha_0), \quad (44)$$

мында $\psi = 2\pi\beta x$, $\beta = \sin \theta / \lambda$ – мейкиндиктик жыштык, λ – жазылуучу толкундун узундугу, R^2 жана U_0^2 – ургалдуулуктар, U_1^2 – объекттин терс фотографиясы.

(44)-чү туюнтмада интерференциялык мүчөлөрдүн ар бирин өзүнчө голограмма катары карасак болот: $2U_0U_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_0)$ – Габордун голограммасын чагылдырат, $2RU_1 \cos(\psi + \gamma - \alpha_1)$ – Лейттин голограммасына туура келет, $2RU_0 \cos(\psi + \gamma - \alpha_0)$ – кайталануучу голографиялык торчо (РГТ), R жана U_0 эки таяныч толкундарынын эсебинен түзүлгөн β мейкиндиктик жыштыгы менен жарыш сызыктар түрүндө интерференциялык сүрөттү чагылдырат. Жалпы учурда мындай интерференциялык сүрөт Френелдин зоналык торчосун көрсөтөт. Ал голографиялык линза болуп эсептелет. Голограмманы ак түс менен жарыктандыруу учурунда бул линза дифракциялык торчо катары иштейт жана ал ак түстү спектрге бөлөт. Спектрдин түзүүчүлөрүнүн ар бири объекттин өзүнүн сүрөттөлүшүн калыбына келтирет, ал эми ушул сүрөттөлүштөрдүн айкалышы, кубулмалуу түстөргө боёлгон объекттин жалпы калыптанган сүрөттөлүшүн берет. Бирок, спектрдин түзүүчүлөрүнөн бир гана толкун, анын узундугу баштапкы таяныч толкунунун узундугу менен дал келген, объекттин так сүрөттөлүшүн калыбына келтирет. Спектрдин калган түзүүчүлөрү объекттин бузулган сүрөттөлүшүн калыбына келтиришет.

Жарык менен голограмманы калыбына келтирүү, андагы толкундун узундугу жазылуучу толкундун узундугунан айырмалуу, сүрөттөлүштөрдүн эки зор маанилүү мүнөздөмөлөрүнүн өзгөрүшүнө алып келет: сүрөттөлүштөрдүн масштабынын ченеми жана өзгөрүүсү.

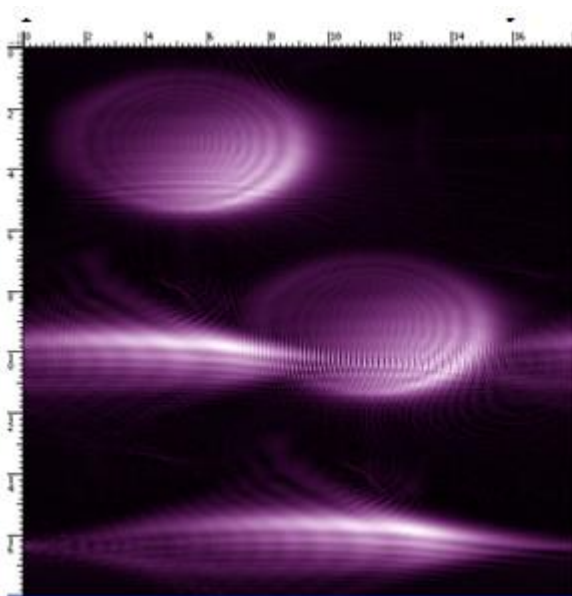
Компьютердик моделдештерүүнүн максаты, калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн ченеми жана абалы калыбына келтирилүүчү толкундун узундугунан болгон көз карандылыгын изилдөө. Мындай изилдөөнүн зарылчылыгы, ал ар кандай узундуктагы толкундардын спектри болуп эсептелүүчү кубулмалуу голограмма ак түс менен калыптанышанан келип чыгат. Кубулмалуу голограммаларды калыбына келтирүү учурунда кубулмалуу, б.а. көп түстүү сүрөттөлүш пайда болот жана ал, маңызы боюнча, ар кандай узундуктары менен калыбына келтирилген толкундардын көптөгөн сүрөттөлүштөрүн коюу болуп эсептелет. Калыбына келтирилүүчү

толкундун жазылуучу толкунга салыштырмалуу өзгөрүшүнүн таасирин деталдуу изилдөө ак түстөгү кубулмалуу голограммаларды калыбына келтирүүнү жүзөгө ашырууга мүмкүндүк берет.

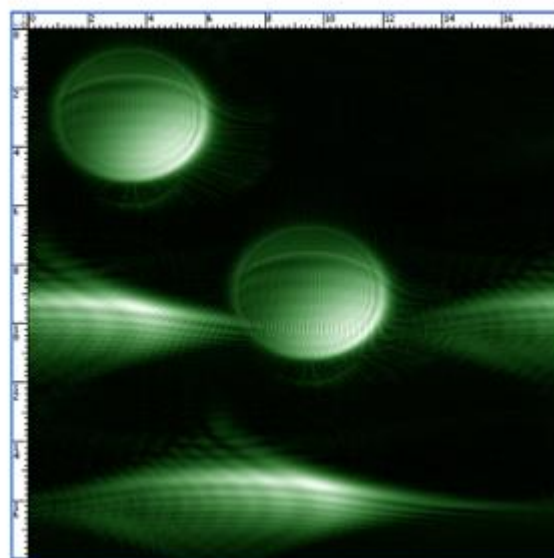
Көрсөтүлгөн изилдөөнү иш жүзүнө ашыруу, монохроматтык нурландыруу менен жылчыксыз кубулмалуу голограммаларды жазуу жана калыбына келтирүү процесстерин изилдөө үчүн иштелип чыккан компьютердик моделдин негизинде жүргүзүлөт.

Жазуу үчүн объект катары, сферанын бети боюнча амплитуданы бөлүштүрүүдөн башка дагы, сферанын бетинин ар бир чекити үчүн фазанын маанилерин дагы берүү мүмкүн болгондой кылып түзүлгөн, сферанын үч өлчөмдүү сүрөттөлүшү алынган. Кирүүдөгү объект жөнүндөгү мындай маалымат үч өлчөмдүү сүрөттөлүштү эки өлчөмдүүгө которгонго мүмкүндүк берген жана ал сүрөттөлүш Френелдин кайра өзгөртүүсүн иш жүзүнө ашыруусуна, андан ары, кайра өзгөртүүдөн кийин, үч өлчөмдүү сүрөттөлүштү кайра чыгарууга мүмкүндүк берген.

Толкундардын узундуктары алардын диапозону 0,4 – 0,7 ге барабар болгондой кылып нормалоо жүргүзүлгөн, ал божомол менен, толкундардын узундуктарынын көрүнгөн диапозонуна туура келет. Программа, калыбына келтирилген объекттин түсү, божомол менен, калыбына келтирүүчү толкундардын узундугуна туура келгендей кылып түзүлгөн.



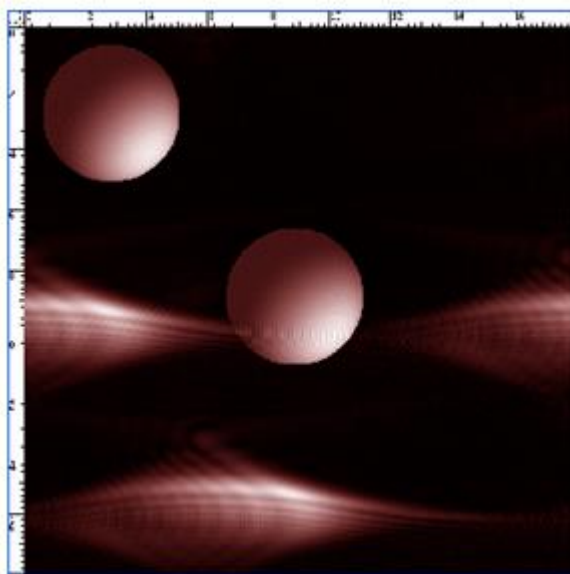
13-Сүрөт. Толкун узундугу $\lambda = 0.4$ барабар болгон жарык менен голограммааны калыбына келтирүү.



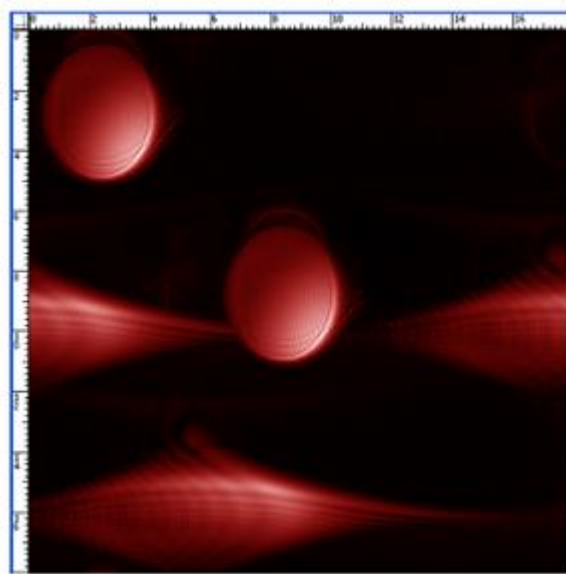
14-Сүрөт. Толкун узундугу $\lambda = 0.55$ барабар болгон жарык менен голограммааны калыбына келтирүү.

Калыбына кетирилген объекттин өлчөмдөрүндөгү жана абалындагы өзгөрүштөрдү тагыраак аныктоо үчүн, калыбына келтирилүүчү толкундун узундугунун өзгөрүшү учурунда, сүрөттөлүш талаасынын четтерине горизонталдык жана вертикалдык сызгыч катуу бекитилген.

13-16 чы сүрөттөрүндө фокусталган сүрөттөлүштүн тегиздигинде голограмманы калыбына келтирүүнүн жыйынтыктары көрсөтүлгөн. Бул, голограммадан баштапкы объект турган аралыкчалык аралыкта жайгашкан тегиздик экенин белгилейт.



15-Сүрөт. Толкун узундугу $\lambda = 0.63$ барабар болгон жарык менен голограмманы калыбына келтирүү.



16-Сүрөт. Толкун узундугу $\lambda = 0.7$ барабар болгон жарык менен голограмманы калыбына келтирүү.

Сүрөттөрдөн көрүнүп тургандай, калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн өлчөмдөрүнүн өзгөрүшү туурасынан кеткен багытта гана болот. Бул көрүнүш голограмма жалпак толкун менен калыбына келтирилгени менен жана анын фронту калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн өлчөмдөрүнүн өзгөрүшүнүн багытына туура келгендиги менен түшүндүрүлөт.

Голограмманы, толкундун узундугу баштапкы толкундун узундугунан кичирээк болгон, жарык менен калыбына келтирүү учурунда калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн өлчөмдөрү туурасынан кеткен багыт боюнча чоңойтулат, болгондо дагы чоңойтуу $\mu = \lambda_2 / \lambda_1$ катышы менен аныкталат, мында λ_1 и λ_2 - тиешелүү түрдө, калыбына келтирилүүчү жана жазуучу толкундардын узундуктары.

Сүрөттөрдө дагы жакшы көрүнүп турат, калыбына келтирилүүчү толкундун узундугун узартуу учурунда голограмманын огунан калыбына келтирилген сүрөттөлүштөрдүн жылышы күчөйт. Бул кубулуш жеңил түшүндүрүлөт, эгерде голограмма, маңызы боюнча, дифракциялык торчо болуп эсептелерин эске алсак, ал үчүн жарык кылуучу толкундун узундугун узартуу менен жарыктын дифракциясынын бурчунун кеңейиши мүнөздүү. Сүрөттөлүштөрдүн бузулушу жана жылышы 15-чи сүрөттө гана жок, анда узундугу баштапкы, жазылуучу толкундун узундугуна туура келген толкун менен калыбына келтирүүнүн жыйынтыгы көрсөтүлгөн.

Ошондой эле, бардык сүрөттөрдө көрүнүп тургандай, жалган сүрөттөлүш гана калыбына келтирилет (сферанын сүрөттөлүшү жогорку сол жак бурчунда). Чыныгы сүрөттөлүш өтө фокусталбаган – бул сүрөттөлүштөн түзүлгөн фон гана бизге көрүнүп турат. Мындан тышкары, ортосунда, мында жарык тагынын сүрөттөлүшүнөн (калыбына келтирилген таяныч шооласы) башка эч нерсе катышпайт, калыптанган даана жалган жана өтө фокусталбаган чыныгы сүрөттөлүштөр. Бул өзгөчөлүк когеренттик толкун менен калыбына келтирилген жылчыксыз кубулмалуу голограммалар үчүн мүнөздүү.

ЖЫЙЫНТЫКТАР

1. Френелдин зоналары (френелдин голограммасы) үчүн голографиялык процесстердин алгоритми жана компьютердик модели иштелип чыккан. Негизинде геометриялык оптиканын ыкмалары жаткан, берилген объектиге тиешелүү үч өлчөмдүү нерселерди тегиздикте алардын амплитудаларын жана фазаларын эсептөөнүн ыкмалары иштелип чыккан. Сунуш кылынган ыкма үч өлчөмдүү объектилердин голограммаларын, Френелдин өзгөртүп түзүүсүн колдонуп жазууга жана калыбына келтирүүгө мүмкүндүк берет. Жөнөкөй үч өлчөмдүү объектилердин (сфера жана конус) тажрыйбалык модели жүргүзүлгөн. Тажрыйбанын жыйынтыктары көрсөткөндөй жалпак таяныч толкуну менен, Френелдин голограммасын жазууда жана калыбына келтирүүдө берилген объектинин эки сүрөттөлүшү кайра түптөлөт, анын бирөө фокусталган, ал эми экинчиси фокусталбаган, мында калыбына келтирүүчү толкундун багытын өзгөртүүдө фокусталган жана фокусталбаган сүрөттөлүштөрдүн орду алмашып калат.

Ушундай эле тажрыйба жүргүзүлгөн схемасын сфералык таяныч толкунуна колдонулса, берилген объектинин эки фокусталган жалган жана чыныгы сүрөттөлүштөрүн берет, башкача айтканда анын жыйынтыгы, Френелдин голограммасын калыбына келтирүүгө окшош болот.

2. Объектик толкунга октош (бир окто жаткан), экинчилик таяныч нурун колдонуп голограммаларды жазуу жана калыбына келтирүү процесстеринин математикалык модели иштелип чыккан. Сунуш кылынган модель мындай голограммаларды калыбына келтирүүдө объектинин бир гана чыныгы жана жалган сүрөттөлүштөрү калыбына келбестен анын нөлдүк тартипте бириктирилген эки сүрөттөлүштөрү дагы калыбына келеерин көргөзөт. Иштелип чыккан математикалык моделдин негизинде компьютердик модель жаралган, анын жардамы менен жөнөкөй үч өлчөмүү объекти (сфера) үчүн моделдик тажрыйбалар жүргүзүлгөн. Моделдик тажрыйбалардын жыйынтыктары, сунуш кылынган схема менен жүргүзүлгөн оптикалык тажрыйбалардын жыйынтыктарына жакшы дал келет.

Алынган жыйынтыктар сунуш кылынган голографиялык процесстердин компьютердик модели иштиктүү экендигин жана аны кубулжу голограмманы жылчыксыз ыкма менен жазуу процессин мөдөлдөөгө колдонуу мүмкүнчүлүгүн көрсөтөт.

Кубулжу голограммаларын калыбына келтирүү модели сунушталган, мында калыбына келтирүү ак жарык башкача айтканда ар кандай узундуктагы толкундардын спектри менен болот, мында кубулжу голограммасы ак жарыктагы ар кандай узундуктагы толкундар аркылуу калыбына келтирүүнүн удаалаштыгы менен алмашылган. Берилген объектинин сүрөттөлүшүнүн калыбына келген ар кандай түстөгү удаалаштыгы алынган, эгерде биз муну горизонтал боюнча жылдырып, калыбына келген кубулжу сүрөттөлүштөрдү ар кандай бурчтар менен караганыбызда көрүнгөндөй болмок.

Алынган жыйынтыктар кубулжу голограммаларды ак жарык менен калыбына келтирүү боюнча оптикалык тажрыйбалардын жыйынтыгына дал келет, эгерде калыбына келген объектинин кубулжу сүрөттөлүшүндө түстөрдүн өзгөрүштөрүнүн закон ченемдүүлүктөрүн эске алсак, сунушталган компьютердик моделди голографиялык процесстердин жана анын мүмкүнчүлүгүн кубулжу голограммасын жылчыксыз ыкма менен жазуу процессин моделдөөдө колдонуу жөндөмдүүлүгүн көрсөтөт.

3. Кайталанып туруучу объектинин голограммасын кайра калыбына келтирүүдө объектинин бир гана минус бир жана плус бир диффракциялык катардагы жалган жана чыныгы сүрөттөлүшү калыбына келбестен объектинин диффракциянын нөлдүк катарындагы жалган жана чыныгы сүрөттөлүштөрү да калыбына келет, ошондой эле диффракциянын бардык катарында өзүн-өзү жаратуу удаалаштыгы болот. Биринчи жолу, өзүн-өзү жаратуу удаалаштыгы, бир гана объектинин негизги сүрөттөлүштөрү калыбына келген жерде болбостон, бул удаалаштыктар жалган областан чыныгысына чейин мейкиндиктин бардык жагына тарала тургандыгы көрсөтүлгөн. Бул эффект диффракциянын бардык катарларында байкалат.

Кайталанып туруучу объектинин апертурасынын чектелишинин өзүн-өзү жаратууну так калыбына келтирүүнүн санына тийгизген таасиринин начар экендигинин математикалык далили берилген, бул практикалык мааниси үчүн удаалаштыктын узундугун баалоо маселесин бир топ жөнөкөйлөтөт.

4. Чагылтуучу жана ошондой эле өткөрүүчү объектилерди изилдөө үчүн арналган универсалдуу голографиялык интерферометрдин математикалык модели сунушталган.

Сунушталган интерферометрдин модели, ар кандай маанидеги сезгичтиги бар төрт чыгуучу каналга ээ. Биринчи канал-бул сезгичтиги төмөн канал, ал өткөрүүчү чөйрөнүн бир тектүү эместигин же чагылтуучу чөйрөнүн бетинин өзгөчөлүгүнүн сапатын гана баалоого мүмкүндүк берет. Эки учурда тең баалоо, калыбына келген кайталануучу объектинин бурмаланган түрү боюнча гана жүргүзүлөт. Экинчи жана үчүнчү каналдар өтө жогорку сезгичтикке ээ болгон голографиялык каналдар болуп эсептелинет, алар өткөрүүчү чөйрөнүн оптикалык бир тектүү эместигинин кичинекей термелүүсүн (өзгөрүшүн) же өтөрүүчү чөйрөнүн бетинин эң кичинекей тегиз эместигин аныктоо мүмкүндүк берет.

Төртүнчү каналдагы интерференциялык сүрөттөр, Тальботтун жөнөкөй интерферометринде пайда болгонго окшош. Бул каналда Муар бар, анын көрүнүшү өткөрүүчү чөйрөдө бир тектүү эместиктин же чачыратуучу объектинин бети боюнча бөлүштүрүлүшүн аныктайт. Муардын сүрөттөрү жетиштүү төмөнкү жыштыкка ээ болгондуктан, бул канал экинчи жана үчүнчү каналдарга салыштырмалуу анчалык сезгич эмес.

Универсалдуу голографиялык интерферометрдин иштөөсү компьютерде моделденген. Компьютердик моделде алынган интерферограммалар, ушундай эле шартта оптикалык ыкмалар (Тальботтун кадимки интерферометри жана Ронки ыкмасы) аркылуу алынган интерферограммалардын жыйынтыктарына салыштырылган. Интерференциялык сүрөттөрдүн жакшы дал келиши алынган.

5. Когеренттүү эмес оптикалык системада сүрөттөлүштүн жаралыш процессинин математикалык модели иштелип чыккан. Берилген модель системага ар кандай түрдөгү абберацияларды киргизүүгө мүмкүндүк берет, бул, оптикалык система аркылуу когеренттик эмес жарык өткөндө абберациянын тийгизген таасирин изилдөөгө жардам берет.

ЖАРЫК КӨРГӨН ИШТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. **Ismanov Y.** Four-channel Wide-Range Holographic Interferometer [Текст] / A. Maripov, Y. Ismanov, K. S. Omurzakov // Optical Measurement Systems for Industrial Inspection III, Munich, Germany: Proceedings of SPIE. - Munich, 2003.-V. 5144.-P.606-610.

2. **Исманов Ю. Х.** Многоканальная голографическая интерферометрия [Текст] / Ю. Х. Исманов, К. С. Омурзаков // Известия КТУ.- 2004.-№ 6.- С. 72-75.

3. **Исманов Ю. Х.** Голографический интерферометр широкого диапазона чувствительности [Текст] / Ю. Х. Исманов // Материалы международной конференции «Развитие информационно-коммуникационных технологий в информационном обществе»: сб. науч. тр.- Бишкек, 2004.- С.116-120.

4. **Исманов Ю. Х.** Современное состояние голографической интерферометрии [Текст] / Ю. Х. Исманов // Наука и новые технологии.- 2005.-№ 4.- С. 5-11.

5. **Исманов Ю. Х.** Компьютерная голография трехмерных объектов [Текст] / Ю. Х. Исманов // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына.- 2005.-Сер. 3.- Вып. 3.- С. 77-79.

6. **Исманов Ю. Х.** Влияние фазовых сред на эффект Тальбота [Текст] / Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев //Известия КГТУ.- 2006.-№ 8.- С. 85-88.

7. **Исманов Ю. Х.** Моделирование процессов записи и восстановления голограмм, записанных с использованием второго опорного пучка [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. Маринов // Известия КГТУ им. И. Раззакова.- 2006.-№ 9.- Т. II.- С. 154-159.

8. **Исманов Ю. Х.** Радужная голография трехмерных объектов [Текст] / Ю. Х. Исманов // Известия КГТУ им. И. Раззакова.- 2008.-№ 14.- С. 87-91.
9. **Исманов Ю. Х.** Голограмма одномерной линейной решетки [Текст] /Ю. Х. Исманов // Известия КГТУ.- 2008.-№ 14.- С.87-91.
10. **Исманов Ю. Х.** Голографическая интерферометрия и ее развитие на основе метода бесщелевой радужной голографии [Текст]: монография / Ю. Х. Исманов, А. Марипов. К. С. Омурзаков. -Бишкек: Полиграфбумресурсы, 2009. - 228 с.-ISBN 978-9967-25-447-3.
11. **Исманов Ю. Х.** Некоторые особенности трехмерной цифровой голографии [Текст] / Ю. Х. Исманов // Известия КГТУ им. И. Раззакова.- 2011.- № 22.- С. 68-70.
12. **Исманов Ю. Х.** Зависимость между параметрами объекта и характеристиками ее интерферограммы [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. Марипов // Известия КГТУ.- 2011.-№ 22.- С.70-72.
13. **Исманов Ю. Х.** Эффект Тальбота для плоскопараллельной пластины [Текст] / Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев, Н. А. Тургумбаев// Вестник КГУСТА.- 2011.-№ 2 (32).- Т. 1.- С. 121-125.
14. **Исманов Ю. Х.** Интерпретация и идентификация интерференционных полос [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. Марипов // Известия КГТУ.- 2012.-№ 26.- С. 210-212.
15. **Исманов Ю. Х.** Влияние ограниченности апертуры решетки на эффект Тальбота [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. Марипов // Известия КГТУ.- 2013.-№ 29.- С. 294-296.
16. **Исманов Ю. Х.** Суперголограмма и голографическое кино [Текст] / А. Марипов, Ж. Абакирова, Ю. Х. Исманов // Материалы II Международной конференции «Оптика и фотоника-2013»: сб. науч. тр.- Самарканд, 2013.- С. 77-80.
17. **Исманов Ю. Х.** Голографический эффект Тальбота и научная голокинематография [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. Марипов // Вестник Ошского государственного университета. - 2013. -№ 2. - Вып. II.- С. 188-192.
18. **Исманов Ю. Х.** Регистрирующие среды для голографии и радужной голографии [Текст] / Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев, Н. А.Тургунбаев // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова.- 2014.-№1(43).-С.83-87.
19. **Ismanov Y.** Wide-range holographic interferometer [Текст] / Y. Ismanov, A. Abdulaev, N. M. Kulmurzaev // International conference on IT Promotion in Asia (ITPA 2014). - Bishkek, 2014.-P. 96-100.
20. **Ismanov Yu. H.** Hologram Recorded Using the Second Reference Wave [Текст] / Yu. H. Ismanov // International conference on IT Promotion in Asia (ITPA 2014). - Bishkek, 2014.-P. 171-176.
21. **Исманов Ю. Х.** Широкодиапазонный голографический интерферометр [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. А. Абдулаев, Н. М. Кулмурзаев // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. - 2014. -Т. II.-№3(45). -С. 199-204.

22. **Исманов Ю. Х.** Моделирование голографических процессов на основе метода бесщелевой радужной голографии [Текст]: монография / Ю. Х. Исманов. - Бишкек: Илим, 2014. - 202 с. - ISBN 978-9967-460-20-1.
23. **Исманов Ю. Х.** Голографический эффект Тальбота в научном голографическом кино [Текст] / Ю. Х. Исманов, А. А. Сагымбаев // Вестник Каз-НУ.-2015 .- №3(54).-С.64-71.
24. **Исманов Ю. Х.** Зависимость качества изображения от длины восстанавливающей волны [Текст] / А. А. Сагымбаев, Ю. Х. Исманов // Вестник КазНУ.-2015 .- №3(54).-С.72-78.
25. **Исманов Ю. Х.** Голографический эффект Тальбота в интерферометрии [Текст] / Ю. Х. Исманов // Вестник КРСУ.-2015 .- № 5(15).-С.101-103.
26. **Исманов Ю. Х.** Влияние длины волны на восстановленное изображение [Текст] / Ю. Х. Исманов // Вестник КРСУ.-2015 .- № 5(15).-С.104-106.
27. **Исманов Ю. Х.** Саморепродуцирование регулярных объектов с ограниченной апертурой [Текст] / Ю. Х. Исманов, С. А. Алымкулов // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана.- 2015.-№7.-С.3-5.
28. **Исманов Ю. Х.** Моделирование воздействия восстанавливающей волны на изображение [Текст] / Ю. Х. Исманов // Приволжский научный вестник.-2016.-№ 2(54).-С.6-9.
29. **Исманов Ю. Х.** Эффект Тальбота в голографической интерферометрии [Текст] / Ю. Х. Исманов // Приволжский научный вестник.-2016.-№ 2(54).-С.10-13.
30. **Исманов Ю. Х.** Фазовые искажения решетки средой с линейной зависимостью показателя преломления [Текст] / Ю. Х. Исманов // Проблемы современной науки и образования.-2016.-№3(45).- С.19-23.
31. **Исманов Ю. Х.** Формирование расфокусированных изображений при некогерентном освещении [Текст] / Ю. Х. Исманов // Проблемы современной науки и образования.-2016.-№3(45).-С.23-26.
32. **Исманов Ю. Х.** Использование явления саморепродукции в интерферометрических исследованиях [Текст] / Ю. Х. Исманов // Альманах современной науки и образования.-2016.-№3(104).-С. 54-56.
33. **Исманов Ю. Х.** Радужная голография в интерферометрии [Текст] / Ю. Х. Исманов // Альманах современной науки и образования.-2016.-№ 3(104).-С. 57-59.
34. **Исманов Ю. Х.** Фазовые искажения последовательности саморепродукций плоскопараллельной пластиной [Текст] / Ю. Х. Исманов // Вестник науки и образования.-2016.-№ 3(15).-С. 4-6.
35. **Исманов Ю. Х.** Радужная голография в интерферометрии [Текст] / Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев // Научная перспектива.-2016.-№ 3(73).-С. 57-58.
36. **Исманов Ю. Х.** Искажения последовательности саморепродукций в среде типа линза [Текст] / Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев // Научная перспектива. -2016. -№ 3(73). -С. 59-61.

37. **Исманов Ю. Х.** Методы рентгеновской голографии с внутренним источником [Текст] / Ю. Х. Исманов, Д. А. Исмаилов // Наука, техника и образование.-2016.-№ 3(21).-С. 19-22.

38. **Исманов Ю. Х.** Формирование последовательности саморепродукций одномерной линейной решеткой [Текст] / Ю. Х. Исманов, Д. А. Исмаилов, С. А. Алымкулов// Academy.-2016.-№ 6(9).-С. 6-10.

39. **Исманов Ю. Х.** Моделирование в голографии с использованием второго опорного пучка [Текст] / Ю. Х. Исманов, Д. А. Исмаилов, С. А. Алымкулов // Academy.-2016.-№ 6(9).-С. 10-12.

40. **Исманов Ю. Х.** Эффективность флуоресцентной рентгеновской голографии [Текст] / Ю. Х. Исманов, Д. А. Исмаилов // Физика.-2016.-№ 1.-С. 247-251.

41. **Исманов Ю. Х.** Голографическая память на основе синтезированных голограмм [Текст] / Д. А.Исмаилов, Ю. Х. Исманов, К. М. Жумалиев, А. Д. Аккозов // Проблемы современной науки и образования.-2016.-№17(59).-С.6-9.

42. **Исманов Ю. Х.** Френелевские голограммы трехмерных объектов [Текст] / Д. А.Исмаилов, Ю. Х. Исманов, С. А. Алымкулов // Проблемы современной науки и образования.-2016.-№17(59).-С.9-11.

Исманов Юсупжан Хакимжановичтин «Жылчыксыз ыкма менен жазылган кубулжу голографиянын негизинде голографиялык процесстерди моделдештирүү» деген темадагы 01.04.05 – Оптика адистиги боюнча физика-математика илимдеринин докторлук даражасына талап кылынган диссертациясына

РЕЗЮМЕ

Негизги сөздөр: жылчыксыз кубулжу голографиясы, компьютердик моделдештирүү, экинчилик таяныч нуру, голографиялык интерферометрия, голографиядагы өзүн-өзү жаратуу эффектиси, өзүн-өзү жаратуу, универсалдуу голографиялык интерферометр, когеренттүү эмес оптикалык система, интерферограмма, голограмма.

Изилдөөнүн объектиси: болуп жылчыксыз ыкма менен жазылган кубулжу голограммасы; кайталанып туруучу объекттин голограммасын кайрадан калыптандыруудагы өзүн-өзү жаратуу эффектиси; чачыратуучу жана өткөрүүчү объектилерди изилдөөдө универсалдуу голографиялык интерферометр; когеренттүү эмес оптикалык системалар эсептелинет.

Иштин максаты: жылчыксыз ыкма менен жазылган үч өлчөмдүү объектилердин жана кубулжу голограммаларын жазуу жана кайрадан калыптандыруу процесстерин моделдөө.

Изилдөөнүн ыкмалары: каралып жаткан оптикалык процесстердин жана системалардын математикалык моделин иштеп чыгуу. Алынган математикалык моделдердин ишке ашысын компьютерде окшоштуруу (имитациялоо): компьютердик моделдөөнүн жыйынтыктарын оптикалык ыкмалар менен алынган натыйжалар менен салыштыруу.

Алынган натыйжалар: жылчыкты (чыныгы жана синтезделген) колдонбой туруп жазылган кубулжу голограмма ыкмасынын математикалык жана компьютердик модели иштелип чыккан. Кайталанып туруучу объектинин голограммасын калыбына келтирүү үчүн өзүн-өзү жаратуу кубулушу – жаңы оптикалык эффекттин математикалык негизделиши берилген. Чачыратуучу жана өткөрүүчү объектилерди изилдөөдө универсалдуу голографиялык интерферометрдин математикалык жана компьютердик модели иштелип чыккан; Когеренттүү эмес оптикалык системасынын иштөөсүнүн математикалык жана компьютердик модели иштелип чыккан.

Колдонуу боюнча сунуштар: жылчыксыз ыкма менен жазылган кубулжу голограммаларды бардык жерде колдонуу, кадимки эле кубулжу голограммаларын колдонгондой эле эффективдүү. Универсалдуу голографиялык интерферометр статикалык жана ошондой эле динамикалык татаал чачыратуучу жана өткөрүүчү объектилердин түрлөрүн изилдөөдө колдонууга болот; когеренттүү эмес оптикалык системалардын компьютердик модели, оптикалык системалардын абберациясы, сүрөттөлүштүн төмөнкү жыштыктагы фильтрациясы, образдарды таанып билүү, ж.б. изилдөөлөрүндө колдонууга болот.

РЕЗЮМЕ

диссертации Исманова Юсупжана Хакимжановича на тему: «Моделирование голографических процессов на основе метода бесщелевой радужной голографии» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Ключевые слова: бесщелевая радужная голография, компьютерное моделирование, второй опорный пучок, голографическая интерферометрия, эффект саморепродуцирования в голографии, саморепродукция, универсальный голографический интерферометр, некогерентная оптическая система, интерферограмма, голограмма.

Объектами исследования являются радужные голограммы, записанные по бесщелевому методу; эффект саморепродуцирования при восстановлении голограммы регулярного объекта; универсальный голографический интерферометр для исследования отражающих и пропускающих объектов; некогерентные оптические системы.

Целью работы является: моделирование процессов записи и восстановления голограмм трехмерных объектов и радужных голограмм на основе бесщелевого метода.

Методы исследования: разработка математических моделей рассматриваемых оптических процессов и систем; реализация на основе полученных математических моделей их компьютерной имитации; сравнение результатов компьютерного моделирования с результатами, полученными оптическими методами.

Полученные результаты: разработаны математическая и компьютерная модели процессов записи и восстановления голограмм трехмерных объектов и процесса записи радужных голограмм без использования щели (реальной или синтезированной); дано математическое обоснование нового оптического эффекта – явления саморепродуцирования при восстановлении голограммы регулярного объекта; разработаны математическая и компьютерная модели универсального голографического интерферометра для исследования отражающих и пропускающих объектов; разработаны математическая и компьютерная модели работы некогерентной оптической системы.

Рекомендации по использованию: более высокая эффективность бесщелевого метода записи радужных голограмм позволяет использовать его везде, где используются обычные радужные голограммы; универсальный голографический интерферометр может быть использован для исследования сложных отражающих и пропускающих объектов как статического, так и динамического вида; компьютерная модель некогерентной оптической системы может быть использована для исследования аберраций оптических систем, низкочастотной фильтрации изображений, распознавания образов и др.

RESUME

of Ismanov Yusupzhan Hakimzhanovich's dissertation on "Simulation of holographic processes on the basis of slitless rainbow holography" for the degree of doctor of physical and mathematical sciences, specialty 01.04.05 – optics

Keywords: slitless rainbow holography, computer simulation, second reference beam, holographic interferometry, self-reproduction effect in holography, self-reproduction, universal holographic interferometer, incoherent optical system, interferogram, hologram.

The objects of study are rainbow holograms recorded by the slitless method; self-reproduction effect in regular object hologram reconstruction; universal holographic interferometer for research of reflecting and transparent objects; incoherent optical system.

The aim is to: simulation of recording and reconstruction of holograms of 3D objects and rainbow holograms recorded by using of slitless method.

Research methods: creation of mathematical models of optical processes and systems under consideration; development of computer simulations on the basis of the mathematical models; comparing the results of computer simulation and results obtained by optical methods.

Results: The mathematical and computer models of the method of rainbow hologram recording without using of slit (real or synthetic) were developed; a mathematical description of a new optical effect - self-reproduction phenomenon in regular object hologram reconstruction is given; mathematical and computer models of the universal holographic interferometer based on the phenomenon self-reproduction in holography were developed; a mathematical and computer models of an incoherent optical system operation were developed.

Recommendations for use: for higher efficiency of rainbow hologram slitless recording method you can use it anywhere a normal rainbow holograms are used and, in addition, in holographic interferometry; universal holographic interferometer can be used to study the complex reflective and transparent objects both static and dynamic type; a computer model of the incoherent optical system can be used to study the aberrations of optical systems, image low-pass filtering, image recognition et al.