

**Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер академиясынын академик
Ж.Жеенбаев атындагы Физика институту жана Б.Ельцин атындагы
Кыргыз-Россия Славян университети**

Д 01.21.633 диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда
УДК 535.41: 778.38

Тынышова Толгонай Дайырканкожоевна

Фазалык чөйрөлөрдүн санариптик голографиялык интерферометриясы

01.04.05 – Оптика

Физика-математика илимдеринин кандидаты
илимий даражасына изилдөөчүнүн диссертациясынын
авторефераты

Бишкек - 2021

**Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура
университетинде аткарылган диссертациялык иш**

Илимий жетекчи: Исманов Юсупжан. Хакимжанович
физика-математика илимдеринин доктору,
доцент, Н.Исанов атындагы КМКТАУ «Физика жана
колдонмо химия» кафедрасы

Расмий оппоненттери: Чен Борис Борисович, физика-математика
илимдеринин доктору, профессор, Б.Н.Ельцин атындагы
Кыргыз – Орус Славян университетинин физика-
микроэлектроника кафедрасы

Байтереков Алымбек Токоевич, физика-математика
илимдеринин кандидаты, доцент, Ж. Баласагына
атындагы Кыргыз мамлекеттик университетинин
электроника жана теориялык физика кафедрасы

Жетектөөчү мекеме: Федералдык мамлекеттик бюджеттик илим мекемеси
К.А. Валиев атындагы Россия Илимдер Академиясынын Физика жана
Технологиялар Институту, 117218, Россия, Москва, Нахимовский проспекти,
36, корпус 1

Диссертацияны коргоо «21» октябры 2021ж. саат «16-00» Кыргыз
Республикасынын Улуттук Илимдер академиясынын академик Ж. Жеенбаев
атындагы Физика институтунда жана Б. Ельцин атындагы Кыргыз - Россия
Славян университетинин Д01.21.633 астындагы диссертация кеңештин
отурумунда болот, дареги: 720071, Бишкек шаары, Чүй проспектиси 265а.
Zoom-webinar программасында диссертацияны коргоонун онлайн берүүсүнүн
идентификациялык коду https://vc.vak.kg/b/d_0-pj7-m6b-mev

Диссертация менен Кыргыз республикасынын улуттук илимдер
академиясынын борбордук илимий китепканасынан танышууга болот
info@iobjournal.org

Автореферат «___»_____ 2021 ж. жөнөтүлдү.

Диссертациялык кеңештин
окумуштуу катчысы
ф-м. и. д., профессор

Касмамытов Н. К.

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Е. Лейт, Ч. Вест, К. Стэтсон, Ю. И. Островский, А. А. Акаев, А. Марипов ж.б. окумуштуулар тарабынан азыркы голографиялык интерферометриянын ыкмалары иштелип чыккан жана андан ары өнүктүрүлгөн. Классикалык интерферометрлерде толкун фронтторун жазуу эмес, аларды салыштыруу жүрзүлгөндүктөн, мындай приборлор реалдуу убакта иштешет, бул оптикалык элементтерден жогорку стабилдүүлүктү жана изилденип жаткан сүрөттөлүштүн ушундай эле жогорку деңгээлдеги стабилдүүлүгүн талап кылат. Голографиялык интерферометрде салыштырылып жаткан толкун фронттору эс тутумда калат, дагы бир өлчөмдү, тагыраак айтканда, убакыт ичинде киргизүүгө мүмкүндүк берет. Бул айтылгандардын баары голографиялык интерферометриянын эски ыкмаларын өнүктүрүүнүн жана жаңы ыкмаларын иштеп чыгуунун шексиз *актуалдуулугун* баса белгилейт.

Жогорку сезгичтик – интерферометриялык изилдөөлөрдүн негизи. Жалпысынан, интерферометриянын классикалык ыкмаларынын сезгичтигин жогорулатууга мүмкүн. Классикалык интерферометрияда толкун фронтунун кандай гана болбосун өзгөрүүсү оптикалык ыкма менен аныкталат, бул сезгичтикти жогорулатуунун дал оптикалык ыкмаларын пайдаланууга мүмкүндүк берет. Бирок маалымат технологияларынын өнүгүүсү ушундай натыйжаларга интерференциялык картинанын жазылган же санариптештирилген сүрөттөлүшүнүн ар кандай трансформацияларын колдонуу аркылуу жетишүүгө мүмкүндүк түздү. Маалымат технологияларынын заманбап өнүгүүсү интерферограммаларды иштетүүнүн санариптик ыкмаларына өтүүнү кыйла *актуалдуу* кылып жатат; бул, биринчи кезекте, голографиялык интерферометрияга тийиштүү, анткени голографиянын санариптик ыкмалары абдан жакшы иштеп чыгарылган, ал эми голографиялык интерферометриянын ыкмалары алда канча сезгич болууда. Башкача айтканда, фазалык чөйрөлөрдүн параметрлерин өлчөөнүн интерференциялык ыкмаларынын сезгичтигинин ар кандай варианттарын колдонуудагы жогорку натыйжалуулукка, - биринчи кезекте, голографиялык интерферометриянын санариптик ыкмаларын колдонуу аркылуу жетишүүгө

мүмкүн, - бул аталган ыкмаларды иштеп чыгуунун *актуалдуулугун* баса белгилеп турат.

Диссертациянын темасынын артыкчылыктуу илимий багыттар менен байланышы, ири илимий программалар (долбоорлор) жана негизги илимий-изилдөөчүлүк иштер менен байланышы, билим берүү жана илим мекемелери тарабынан жүргүзүлөт.

Сунушталып жаткан иш демилгелүү болуп саналат.

Изилдөөнүн максаты жана маселелери.

Санариптик голографиялык интерферометриялык тутумдардын натыйжалуулугун жогорулатуунун жолун иштеп чыгуу.

Ишти аткаруунун жүрүшүндө төмөндөгү негизги маселелер чечилди:

1. Голографиялык интерферометрлердин чыгууда пайда болгон татаал интерферограммаларды алдын-ала иштетүү жолун иштеп чыгуу.
2. Голографиялык интерферометриялык тутумдун сезгичтигин санариптик жазуунун жана голограмманы калыбына келтирүүнүн негизинде жогорулатуунун ыкмасын иштеп чыгуу.
3. Жөнөкөй фазалык ар түрдүүлүктөр үчүн көп каналдуу голографиялык интерферометрдин чыккы каналдарындагы өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин так абалын аныктоо.

Алынган натыйжалардын илимий жаңылыгы.

1. Татаал интерферограммаларды сүрөттөлүштөрдүн фокустарын ажыратуунун жардамы менен алдын ала иштетүү жолу иштелип чыкты.
2. Голографиялык тутумдун чыгуусунда пайда болгон, санариптештирилген интерференция сүрөттөлүштөрдү кайта кубултуунун жардамы менен голографиялык интерферометриянын сезгичтигин жогорулатуу ыкмалары иштелип чыккан.
3. Жөнөкөй фазалык ар түрдүүлүктөр үчүн көп каналдуу голографиялык интерферометрдин чыккы каналдарындагы өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин абалын так аныктоого мүмкүндүк берүүчү ара катыштар алынды.

Алынган натыйжалардын практикалык маанилүүлүгү.

1. Сүрөттөлүштөрдүн фокустарын ажыратууну интерферограммаларды алдын ала иштетүүнүн жолу катары колдонуу голографиялык интерферометрдин чыккысында пайда болгон татаал интерферограммаларды алдын иштетүүнүн жүрүшүн кыйла тездетүүгө мүмкүндүк берет, бул интерферограммаларды автоматтык түрдө иштетүү тутумунун натыйжалуулугун жогорулатууга алып келет.

2. Голографиялык интерферометриялык тутумдун сезгичтигин санариптик жазуу же голограмманы кайра калыбына келтирүүнүн негизинде жогорулатуу ыкмасы голографиялык интерферометрлердин сезгичтигин оптикалык схемага кымбат жана татаал модернизациялоону колдонбостон олуттуу жогорулатууга мүмкүндүк берет.

3. Голографиялык интерферометрдин каналдарындагы өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктери интерферометриялык картинаны локалдаштыруу тегиздиктери менен дал келгендиктен, көп каналдуу голографиялык интерферометрдин чыккы каналдарындагы өзүн-өзү пайда кылуу

тегиздиктеринин так абалын аныктоо голографиялык интерферометрдин чыккысында кыйла сапаттуу интерферограммаларды алууга мүмкүндүк берет.

Диссертациянын жактоого алып чыгарылган негизги жоболору.

1. Голографиялык интерферометрлердин чыккысында пайда болгон татаал интерферограммаларды алдын ала иштетүү ыкмасы.

2. Голографиялык интерферометриялык тутумдун сезгичтигин интерференциялык картинанын санариптелген сүрөттөлүшүн өзгөртүүнүн жардамы менен жогорулатуу ыкмасы.

3. Жөнөкөй фазалык ар түрдүүлүктөр болууда, көп каналдуу голографиялык интерферометрдин чыгаруу каналдарындагы, өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин абалдарын аныктоого мүмкүндүк берүүчү ара катыштар.

Издөнүүчүнүн өздүк салымы. Диссертацияда сунушталган натыйжалар автордун жеке изилдөөлөрүнүн жыйынтыгы болуп саналат. Жеке салым болуп төмөнкүлөр саналат: маселени коюуда катышуу, математикалык моделдерди иштеп чыгуу жана аларды компьютердик түрдө ишке ашыруу, алынган натыйжаларды талдоо.

Изилдөөлөрдүн жалпы багыты илимий жетекчи тарабынан сунушталган.

Изилдөөнүн натыйжаларын апробациялоо.

Диссертациянын негизги натыйжалары боюнча төмөнкү докладдар жасалган:

1. Фотоника жана маалыматтык оптика боюнча VII Эл аралык конференция, Москва, 2018-ж.;

2. Фотоника жана маалыматтык оптика боюнча VIII Эл аралык конференция, Москва, 2019-ж.;

3. Фотоника жана маалыматтык оптика боюнча IX Эл аралык конференция, Москва, 2020-ж.;

4. Фотоника жана маалыматтык оптика боюнча X Эл аралык конференция, Москва, 2021-ж.;

Диссертациянын натыйжаларынын басылмаларда чагылдырылышынын толуктугу.

Изилдөөлөрдүн негизги натыйжалары 15 илимий статьяда жарыяланган.

Диссертациянын түзүмү жана көлөмү

Диссертация кириш сөздөн, 3 бөлүмдөн, корутундудан, 144 аталышты камтыган колдонулган адабияттын тизмесинен турат. Диссертациянын көлөмү 123 бетти, 31 сүрөттү камтыйт.

ИШТИН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Кириш сөздө диссертациянын темасынын актуалдуулугу ачылып көрсөтүлөт жана негизделет, изилдөөнүн максаты жана маселелери, илимий жаңылыгы жана иштин практикалык маанилүүлүгү, ошондой эле жактоого алып чыгарылган жоболор баяндалып жазылды.

Биринчи бөлүмдө Интерферометриядагы голографиялык ыкмалар, интерферометрияларды фазалык чөйрөлөрдүн голографиялык интерферограммаларды алуунун негизги ыкмаларынын обзору жүргүзүлдү. Интерференциялык-голографиялык ыкманын теориясынын негизги жоболорунун, практикалык маселелеринин жана потенциалдуу мүмкүндүктөрүнүн көпчүлүк бөлүгү Хормандын, Пауэллдин жана Стетсондун, Хефлингердин, Вуеркердин жана Брукстун (1965) алгачкы иштеринде чагылдырылган. Бүгүнкү күндө голографиялык интерферометрия ыкмалары фазалык чөйрөлөрдү изилдөөдө кеңири колдонулат. Голографиялык интерферометриянын классикалык интерферометрияга салыштырмалуу шексиз артыкчылыгы – убакыттын ар кандай моменттеринде калыптанган толкундарды салыштыруу мүмкүндүгү болуп саналат. Голография – линиялык процесс, анткени ал кийинчерээк кайрадан калыбына келтирилиши мүмкүн болгон эки же андан көп оптикалык толкундарды убакыт боюнча ирети менен каттоого мүмкүндүк берет. Ошондуктан анын жардамы менен толкундардын жыйындысын кошууну, кемитүүнү жана убакытта орто мааниге келтирүүнү ишке ашырууга мүмкүн. Обзордо голографиялык интерферометриянын азыркы учурдагы - реалдуу убакыт, эки экспозиция жана жылдыруу ыкмалары ж.б. сыяктуу, - бар болуп турган ыкмалары каралып чыкты жана талдоого алынды,

Кеңири колдонулуучу санариптик голографиялык интерферометрия ыкмаларына обзор жүргүзүлдү.

Обзордо көрсөтүлгөндөй, атүгүл голографиялык интерферометрия дагы анын оптикалык вариантында ар кандай объектилерди изилдөө үчүн оптикалык схемаларды өзгөртүүнүн татаалдыгына, ал эми көпчүлүк учурда кымбаттыгына байланышкан маанилүү кемчиликке ээ. Бул, өзгөчө, голографиялык интерферометрлердин сезгичтигин жогорулатуу мүмкүндүгүнө тийиштүү.

Маалымат технологияларынын өнүгүүсү мындай натыйжаларга интерференциялык картинанын жазылган жана санариптелген сүрөттөлүшүнүн ар кандай трансформацияланышынын жардамы менен жетишүүгө жардам берет. Интерферограммаларды иштетүүнүн санариптик ыкмаларына өтүү голографиялык интерферометрияда өзгөчө натыйжалуу, анткени голографиянын санариптик ыкмалары абдан жакшы иштелип чыккан, ал эми голографиялык интерферометриянын ыкмалары алда канча сезгич болуп

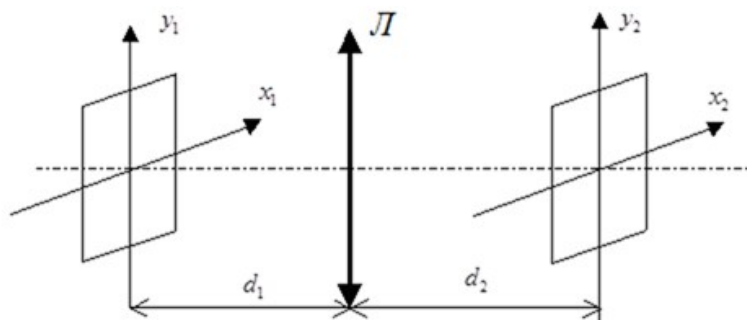
саналышат. Башкача айтканда, фазалык чөйрөлөрдүн параметрлерин интерференциялык ыкмалардын сезгичтигинин ар кандай варианттарын колдонуунун натыйжалуулугуна биринчи кезекте, голографиялык интерферометриянын санариптик ыкмаларын колдонуу аркылуу жетишүүгө мүмкүн.

Экинчи бөлүмдө, Голографиялык интерферометрлердин мүнөздөмөлөрүн жакшыртуу жана интерферограммаларды иштетүү методдору, санарип голографиялык интерферометрлерди жана

интерферограммаларды - изилдөө объектиси аныкталынды, изилдөө предмети - приборлордун чыгарылышынан алынган интерферограммалар жана санариптик голографиялык интерферометриясы, изилдөө предмети - интерферометриялык системада алынган интерферограммаларды санариптик иштетүү аркылуу голографиялык интерферометрдин мүнөздөмөлөрүн жакшыртуу мүмкүнчүлүгүн изилдөө. Бул бөлүмдө көрсөтүлгөн милдеттердин негизинде теориялык моделдерди куруу жана изилдөөдө коюлган көйгөйлөрдү чечүү ыкмаларын кароого арналган

Татаал интерферограммаларды иштетүү ыкмасы голографиялык интерферометрдин натыйжасында алынган татаал интерферограммаларды алдын-ала иштетүүнүн жалпы методикасы каралат. Сүрөттөрдү дефокустоо процессине негизделген интерферограммаларды алдын-ала иштетүү жолунун эффективдүүлүгү жөнүндө тыянак чыгарылат.

Интерферограммалардын фокустарынын ажыратылыш процесси интерферограммаларды машиналык иштетүү тутумдарында компьютерге киргизүүнүн алдындагы алдын ала даярдоо этабында жетишерлик натыйжалуу болуп саналат. Бул жол татаал түрдөгү, жогорку жыштыктагы, ошондой эле төмөн жыштыктагы компоненттерди камтыган интерферограммалардын фокустарынын ажыратылыш деңгээлин тандоо аркылуу анын жогорку жыштыктагы компоненттерин четтетүүгө мүмкүндүк берет. Жогорку жыштыктагы бөлүгүн четтетүү максатында интерферограммалардын фокустарын ажыратуу үчүн колдонулуучу оптикалык тутумда когеренттик эмес жарык нурлануусу колдонулууга тийиш экендиги көрсөтүлгөн. Буга окшош тутумга талдоо оптикалык тутумда колдонулуучу кайсы бир толкун узундугунун орто мааниси үчүн жүргүзүлдү. 2.1-сүрөттө когеренттүү эмес жарык нурларындагы кайсы бир объекттин сүрөттөлүшүн алуу үчүн колдонулуучу жөнөкөйлөтүлгөн оптикалык тутум көрсөтүлгөн.



2.1-сүрөт. Объекттин тегиздиктеринин, сүрөттөлүштүн жана линзанын оптикалык тутумда жайгаштырылуу схемасы. d_1 жана d_2 - объекттин тегиздигинен линзага чейинки жана линзадан сүрөттөлүштүн тегиздигине чейинки аралыктар (тиешелүүлүгүнө карата); Л-линза.

Изилденип жаткан объектти когеренттүү эмес жарык менен нурлантууда оптикалык түзүм аркылуу кайра өзгөртүү процесси жарыктын интенсивдүүлүгүнө салыштырмалуу линиялык функция түрүндө көрсөтүлөт. Ушундай божомолдоонун негизинде бул тутумдун оптикалык өткөрүп турма функциясы үчүн төмөнкүдөй туюнтма алынды:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\iint_{-\infty}^{\infty} Z\left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) Z\left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) d\mu d\tau}{\iint_{-\infty}^{\infty} Z(\mu, \tau) d\mu d\tau} \quad (2.1)$$

$Z(x, y)$ - каралып жаткан оптикалык тутумдун кирүү көзөнөгүн мүнөздөөчү функция; λ - толкун узундугунун орто мааниси; d_2 - линза жана сүрөттөлүш жайгаштырылган тегиздиктердин ортосундагы аралык; (ξ, η) - жыштык чөйрөсүндөгү чекиттердин координаталары; - кирүү тегиздигинин чекиттеринин координаталары.

Оптикалык тутумдун мүмкүн болгон абerrациясын эсепке алуу үчүн, башкача айтканда, (x, y) координаталарына ээ болгон кайсы бир чекиттеги фазалык так эместикти мүнөздөө үчүн, оптикалык түзүмдүн кирүү көзөнөгүнүн

тегиздигинде $kV(x, y)$ функциясы киргизилет. Бул функцияда $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ толкун санын көрсөтөт, ал эми V - жарык толкуну басып өткөн аралыктын так эместигинин мүнөздөмөсү. Так эместик функциясын жазуунун көрсөтүлгөн формасы оптикалык түзүмдүн өткөрүү коэффициентин төмөнкүдөй ара катыш түрүндө көрсөтүүгө мүмкүндүк берет:

$$Z_j(x, y) = Z(x, y) \exp[ikV(x, y)] \quad (2.2)$$

$Z_j(x, y)$ - оптикалык түзүмдүн чыккы көзөнөгүн мүнөздөөчү функциянын жалпы түрү. Абerrацияны киргизүү, оптикалык түзүмдүн өткөрүп берүү функциясын төмөнкү туюнтуу түрүндө мүнөздөөгө мүмкүндүк берет:

$$G(\xi, \eta) = Z(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta) \exp[ikV(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta)] \quad (2.3)$$

Абerrацияларды эсепке алуу аракети каралып жаткан оптикалык түзүмдүн өткөрүп берүү функциясын төмөнкүдөй ара катыш түрүндө мүнөздөөгө алып келет:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\iint_{B(\xi, \eta)} \exp \left\{ ik \left[V \left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2} \right) - V \left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2} \right) \right] \right\} d\mu d\tau}{\iint_{B(0,0)} d\mu d\tau} \quad (2.4)$$

Фокустарды ажыратканда жука линза үчүн ара катыш төмөнкүдөй түрдө болот:

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f} = \delta$$

Мында d_1 - объектик тегиздик менен линзанын ортосундагы аралык; f - линзанын фокустук аралыгы; δ - фокусталган сүрөттөлүштүн тегиздигинен четтөө. Фокусту ажыраткан учурдагы абберрациянын функциясы төмөнкүдөй түрдө болот:

$$V(x, y) = \frac{\delta(x^2 + y^2)}{2}$$

Кирүү көзөнөгү квадрат түрүндө болгон оптикалык түзүм үчүн кирүү көзөнөгүнүн функциясы төмөнкүдөй көрсөтүлөт:

$$Z(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{b}\right) \text{rect}\left(\frac{y}{b}\right),$$

мында b - квадраттын жагынын узундугу.

Оптикалык өткөрүп берүү функциясы бул учурда мындай түргө ээ болот:

$$\Omega(\xi, \eta) = 4 \frac{\sin[km_x \delta(b/2 - m_x)] \sin[km_y \delta(b/2 - m_y)]}{km_x \delta km_y \delta b^2} \quad (2.5)$$

$$\text{Мында } m_x = \frac{\lambda d_2 |\xi|}{2}, \quad m_y = \frac{\lambda d_2 |\eta|}{2}.$$

Диаметри b тегерек түрүндөгү кирүү көзөнөгү бар оптикалык түзүм үчүн:

$$Z(x, y) = \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{b/2}\right). \quad (2.6)$$

Тегерек формадагы көзөнөгү бар оптикалык түзүмдүн өткөрүп берүү функциясы үчүн ара катыш:

$$\Omega^{kp}(\xi, \eta) = 4 \int_{\theta_2}^{\theta_1} \exp(-ikC\delta x') 2\gamma_1 dx' / (\pi b^2) \quad (2.7)$$

$$\text{бул жерде } C = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad m_x = \frac{\lambda d_2 \xi}{2}; \quad m_y = \frac{\lambda d_2 \eta}{2}. \quad \text{мында}$$

$$\theta_1 = -\theta_2 = \sqrt{R^2 - m_x^2 - m_y^2}.$$

Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин жогорулатуу ыкмасы
голографиялык интерферометриялык тутумдун сезгичтигин голографиялык интерферометрдин чыккысында алынган санариптик интерференциялык картинаны өзгөртүү аркылуу жакшыртуу ыкмасы каралган.

Голографиялык интерферометриялык тутумдун сезгичтигин жакшыртуу мүмкүндүгүн теориялык негиздөө үчүн квази-Фурье голограмманы жазуунун классикалык схемасы каралган. Бул схемада октон тышкаркы чекиттик таянычтуу булак жана объект тутумдун кирүү тегиздиги деп аталуучу бир тегиздикте жайгаштырылган. Санариптик голографиянын учурунда, чыккы тегиздик катары адатта фотоматрицанын датчиктеринин тегиздигин алышат. Тутумдун кирүү тегиздиги менен фотоматрицанын тегиздигинин ортосундагы аралыкты l аркылуу белгилейбиз. Координаталар тутумун кирүү тегиздигиндеги (x_0, y_0) , чыгуу тегиздигинде (x, y) белгилейбиз.

Фотоматрица тарабынан катталган жана интерференциялык картина түрүндөгү интенсивдүүлүктүн бөлүштүрүлүшүн санариптик голограмма түрүндө кароого мүмкүн. Эгерде мындай голограммага Френелдин артка кайтуучу өзгөртүү операциясын колдоно турган болсок, ал эми биздин учурда бул аракет Фурьенин артка кайтуучу өзгөртүүсүнө туура келет, анда биз баштапкы объекттин кайра калыбына келтирилген бурмаланган жана чыныгы сүрөттөлүштөрүн, ошондой эле, нөлдүк дифракциялык катарын ала алабыз. Аналитикалык түрдө бул процедура төмөнкүдөй түрдө жазылат:

$$v(x_0, y_0, z_0) = \frac{\exp(ikz_0)}{ikz_0} \exp\left\{-\frac{i\pi(x_0^2 + y_0^2)}{\lambda z_0}\right\} \times$$

$$\times \iint_{\infty} v_z(x, y, z) \exp\left\{-\frac{i\pi(x^2 + y^2)}{\lambda z}\right\} \exp\left\{\frac{i2\pi(x_0x + y_0y)}{\lambda z}\right\} dx dy. \quad (2.8)$$

Эгерде сөз голограмманын тегиздигиндеги, биздин учурда, фотоматрицанын тегиздигиндеги интенсивдүүлүктүн бөлүштүрүлүшү жөнүндө болуп жатса, анда фотоматрица аркылуу катталган интерференциялык картина түрүндөгү жарык талаасынын интенсивдүүлүгүнүн бөлүштүрүлүшү төмөнкүдөй түргө ээ болот:

$$I(x, y) = |v(x, y)|^2. \quad (2.9)$$

(2.9) формуласына негизделип, интенсивдүүлүк үчүн төмөнкү формуланы жазабыз:

$$I(x, y) = I_u(x, y), \text{ где } I_u(x, y) = |u(x, y)|^2. \quad (2.10)$$

Көрсөтүлгөн формулалардын санариптик голографиялык интерферометрияда колдонууга жарамдуулугун карап чыгабыз.

Объекттик толкундун фазасын өзгөртөбүз $\Delta\theta(x_0, y_0)$. Анда кирүү тегиздигиндеги объекттик толкун мындай түрдө болот: $u'(x_0, y_0) = a \exp[i\theta(x_0, y_0) + i\Delta\theta(x_0, y_0)]$. Бул учурда голограмманы жазуу тегиздигиндеги объекттик толкун төмөнкүдөй түрдө болот:

$$v(x, y, z) = \frac{\exp(ikz)}{ikz} \exp\left\{-\frac{i\pi(x^2 + y^2)}{\lambda z}\right\} \iint_{\infty} |u(x_0, y_0)| \exp[i\theta(x_0, y_0) + i\Delta\theta(x_0, y_0)] \times \\ \times \exp\left\{-\frac{i\pi(x_0^2 + y_0^2)}{\lambda z}\right\} \exp\left\{\frac{i2\pi(x_0x + y_0y)}{\lambda z}\right\} dx_0 dy_0 \quad (2.11)$$

Эки экспозиция методу математикалык түрдө эки толкундун – чыгуу толкунунун $u(x, y)$ жана фазасы өзгөртүлгөн $u'(x, y)$ толкунунун суммасын кайра калыбына келтирүүнү билдирет. Интерференциялык картина интенсивдүүлүктөрдүн бөлүштүрүлүшү түрүндө катталгандыктан:

$$I(x, y) = [u(x, y) + u'(x, y)][u(x, y) + u'(x, y)]^* = \\ = 2a^2 + a^2 \{\exp[i\Delta\theta(x, y)] + \exp[-i\Delta\theta(x, y)]\}. \quad (2.12)$$

Интенсивдүүлүктү жазуунун комплекстүү формасынан аракеттеги формага өтүү үчүн Эйлердин формуласын колдонобуз:

$$I(x, y) = 2a^2 + 2a^2 \cos[\Delta\theta] \quad (2.13)$$

(2.10) жана (2.13) ара катыштарын эске алуу менен төмөнкүдөй көрсөтүүгө болот:

$$I_{\Sigma} = I_u(x, y) B_{\Sigma} \{1 + \cos[\Delta\theta(x, y)]\}, \quad (2.14)$$

мында B_{Σ} - сүрөттөлүштүн толук, б.а. суммардык жарыктыгын көрсөтүүчү аракеттеги коэффициент, I_{Σ} - кадимки, жакшыртылбаган сезгичтик учурундагы интерференциянын сызыктары менен модулдашкан, кайра калыбына келтирилген объекттин сүрөттөлүшү.

Объекттик жана таяныч толкундар, фотоматрица аркылуу катталган интерференциялык картина жөнүндө санариптик маалыматтын бар болушу бул маалыматтар менен ар кандай математикалык операцияларды жүргүзүп, андан кийин аларды кайрадан экранга чыгарууга, б.а. визуализациялоого мүмкүндүк берет. Аталган операцияларды объекттен тартып чыгуу тегиздигине чейин, ошондой эле, тутумдун чыккысында, фотоматрица аркылуу катталган интенсивдүүлүктү түздөн-түз бөлүштүрүү аркылуу жүргүзүүгө болот. Бул санариптик фильтрация, кичирейтүү ж.б. сыяктуу операциялар.

Биздин интерферометриялык тутумдун чыккысында алынган төмөнкү математикалык операциялардын иретин карап чыгабыз:

1. Чыккы тегиздиктеги жарык талааларын баштапкы объекттен жана фазасы өзгөртүлгөн объекттен кемитүү операциясын ишке ашырабыз. Алынган натыйжаны калыбына келтиребиз, б.а. биздин учурда бул Фурьенин артка карай калыбына келтирүү операциясы болот, андан кийин натыйжаны жарык талааларынын айырмасы үчүн интенсивдүүлүктүн бөлүштүрүлүшү түрүндө көрсөтөбүз.

$$\Delta v(x_0, y_0, z_0) = \frac{\exp(ikz_0)}{ikz_0} \exp\left\{-\frac{i\pi(x_0^2 + y_0^2)}{\lambda z_0}\right\} \times \int \int_{-\infty}^{\infty} [v'_z(x, y, z) - v_z(x, y, z)] \exp\left\{-\frac{i\pi(x^2 + y^2)}{\lambda z}\right\} \exp\left\{\frac{i2\pi(x_0x + y_0y)}{\lambda z}\right\} dx dy \quad (2.15)$$

Интенсивдүүлүктүн бөлүштүрүлүшүн ара катыш түрүндө табабыз

$$I_1(x_0, y_0) = |\Delta v(x_0, y_0, z_0)|^2 = [\Delta v(x_0, y_0, z_0)][\Delta v(x_0, y_0, z_0)]^*, \quad (2.16)$$

анткени жалпы учурда $\Delta v(x_0, y_0, z_0)$ комплекстүү туюнтма. Чыгуу тегиздиги үчүн (2.16) туюнтмасын (2.14) туюнтмасы менен аналогияда төмөнкүдөй көрсөтүүгө болот

$$I_1(x, y) = I_u(x, y) B_{\Sigma} \{1 - \cos[\Delta\theta(x, y)]\} \quad (2.17)$$

2. (2.14) туюнтмасынан (2.17) туюнтмасын кемитебиз. Алынган натыйжаны экинчи даражага чыгарабыз

$$I_2 = [I_{\Sigma}(x, y) - I_1(x, y)]^2 = I_u^2(x, y) B_2 \{1 + \cos[2\Delta\theta(x, y)]\} \quad (2.18)$$

(2.19) ара катышынан жүргүзүлгөн операциялардын ирети баштапкы жана бурмаланган толкундун ортосундагы фазалардын жылышын эки эсеге көбөйтө тургандыгы көрүнүп турат, бул чыгуу тегиздигиндеги интерференциялык сызыктардын жыштыгынын ушундай эле эки эсеге көбөйүшүнө алып келет. Б.а. голографиялык интерферометрдин сезгичтиги эки эсеге көбөйөт.

I_2 үчүн сунушталган голографиялык интерференциялык тутумдун сезгичтигин жогорулатуу схемасын жалпылап, жазууга болот:

$$I_{2^m} = I_u^{2^m} \frac{B_{\Sigma}^{2^m}}{2} \{1 + \cos[2^m \Delta\theta(x, y)]\}, \text{ где } m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.19)$$

(2.19) ара катышынан көрүнүп тургандай, голографиялык интерферометрдин сезгичтигин жогорулатуу интерференциялык картинанын сызыктарынын контрастын начарлатышы мүмкүн болгон спекл-добуштар менен, ал эми санариптик голограмманын учурунда – фотоматрицанын аныктоосу менен гана чектелиши мүмкүн.

(2.19) ара катышын колдонуп, голографиялык интерферометр каттай ала турган оптикалык айырма үчүн туюнтманы алууга болот:

$$\Delta L = 2^{-m} \lambda K(x, y). \quad (2.20)$$

(2.20) туюнтмасы итерациялык ара катыш түрүндө берилген. Бул ара катыш белгилүү эксперименталдык маалыматтардын негизинде m параметринин ар кандай маанилери үчүн жүрүштүн оптикалык айырмасын эсептөөгө мүмкүндүк берет. m параметрин өзгөртүү аркылуу биздин голографиялык интерференциялык тутум каттоого ала турган турган жүрүштүн оптикалык айырмасынын маанисин өзгөртө алабыз. Өтө төмөн оптикалык тыгыздыктагы жана оптикалык ар түрдүүлүктөрдүн анча чоң эмес өзгөрүүлөрүнө, б.а. $\Delta L(x, y) < \lambda$ ээ фазалык чөйрөлөр үчүн m маанисин чоңойтобуз.

Жөнөкөй фазалуу чөйрөлөрдүн тийгизген таасиринин негизинде өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин абалын аныктоо.

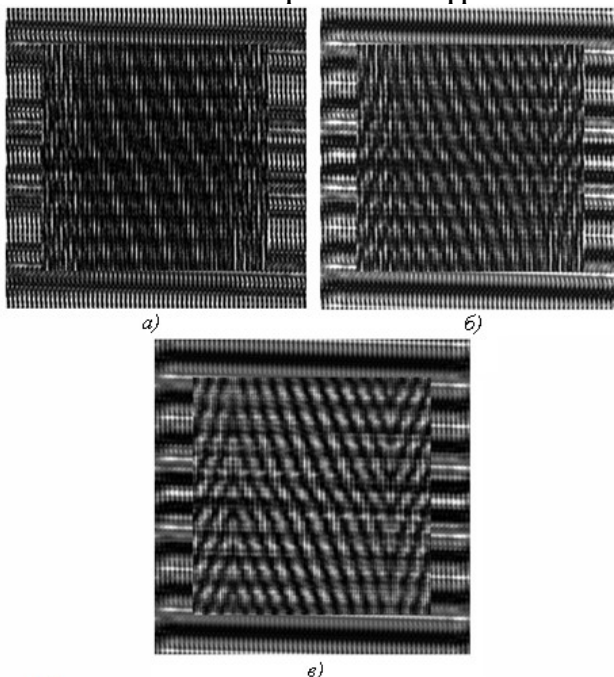
Өзүн-өзү пайда кылуу эффектинен негизделген интерферометрлерде параллелдүү жайгашкан эки решетка колдонулат, ошол эле убакта экинчи решетка биринчи решетканын өзүн-өзү пайда кылуу тегиздигинде так жайгаштырылууга тийиш. Бирок эки решетканын ортосунда жайгашкан изилденип жаткан фазалык объект бул тегиздиктердин абалына таасир берет. Өзүн-өзү пайда кылуу эффекти колдонулган көп каналдуу голографиялык интерферометрлерде өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктери, мындан тышкары, интерференциялык картинанын локалдашуу тегиздигин аныкташат. Мунун баары фазалык ар түрдүүлүк бар болгон учурда өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин абалдарын так аныктоонун зарылдыгы жөнүндө кабар берет. Фазалык чөйрөлөр бар болгондо жарык талааларын табуунун жалпы алгоритми кыйла эмгекти талап кылуу менен бирге татаал болуп саналат. Эгерде кайсы гана болбосун кыйла татаал фазалык чөйрөнү жөнөкөй фазалык ар түрдүүлүктөрдүн жыйындысы - жука линза, параллелдүү

пластина жана жука оптикалык шынаа, - катары элестете турган болсок, татаал фазалык чөйрөлөрдүн мүнөздөмөсүн аныктоо маселеси алда канча жөнөкөйлөтүлөт. Б.а. эркин фазалык чөйрөлөрдүн решетка аркылуу өткөн жарык талаасына тийгизген таасири жөнүндө маселени чечүү үчүн көрсөтүлгөн элементардык фазалык ар түрдүүлүктөрдүн бул талаага тийгизген таасирин эсептеп чыгуу зарыл.

Үчүнчү бөлүмдө, компьютердик моделдөө жана оптикалык эксперименттердин жыйынтыктары, оптикалык эксперименттердин жана компьютердик моделдөө жыйынтыктары, изилдөө проблемаларын чечүү үчүн тандалган ыкмаларды негиздөөгө мүмкүндүк берет жана аларды чечүү үчүн сунушталган математикалык моделдер каралат.

Татаал интерферограммаларды иштетүү ыкмасы.

Эркин түрдөгү абберацияга ээ оптикалык тутумдун каралган модели санариптик көп каналдуу голографиялык интерферометрдин чыккысында алынган фазалык чөйрөлөрдүн татаал интерферограммаларын алдын-ала иштетүү үчүн колдонулган. Фокустарды ажыратууну изилдөө максатында көп каналдуу жогорку сезгичтиктеги интерферометрдин каналдарынан алынган интерферограммалар каралган. Бул каналдарда жогорку жыштыктагы бөлүктөрдү, ошондой эле төмөнкү жыштыктагы муардык сызыктарды камтыган интерферограммалар камтылат. Бул учурда изилденип жаткан объект жөнүндө маалыматты аталган эки бөлүк алып жүрөт.



3.1- сүрөт. Сфералык абберацияга ээ линзанын интерферограммасы.

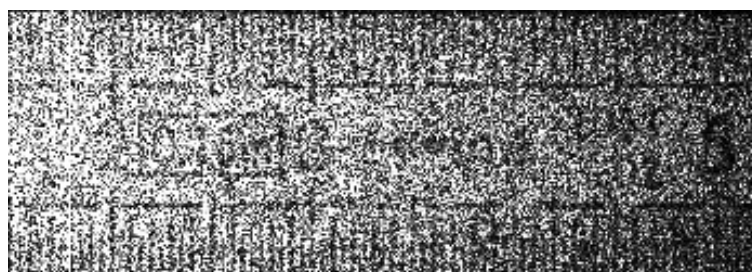
- а). Фокусту ажыратуу жок, $\mu = 0$; Фокусту ажыратуу коэффициенти $\mu = 0,003$;
 в). Фокусту ажыратуу коэффициенти $\mu = 0,005$.

Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин жогорулатуу ыкмасы

Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин жогорулатуунун сунушталган ыкмасы эксперименталдуу түрдө текшерилген. Изилдөөнүн фазалык объекти катары тунук пластиктен жасалган сызгыч колдонулду.



3.2-сүрөт. Деформацияланган объекттин голограммасын калыбына келтирүүдө алынган аракеттеги сүрөт.



3.2-сүрөт. Аз деформацияланган объекттин санариптик голограммасын калыбына келтирүүдө алынган аракеттеги сүрөт.



3.3-сүрөт. Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин эки эсеге күчөткөндө алынган аракеттеги сүрөт.



3.4-сүрөт. Изилденип жаткан объекттин голографиялык интерферометрдин сезгичтигин төрт эсеге күчөткөндө калыбына келтирилген аракеттеги сүрөтү.

3.2- сүрөттө калыбына келтирилген деформацияланбаган фазалык объект (тунук пластиктен жасалган сызгыч). Бүртүктүүлүктүн жогору болушу, буга чейин айтылгандай, санариптик голограмманы калыбына келтиргенде, жазуучу фотоматрицанын аныктоо жөндөмдүүлүгүнүн жетишсиздиги менен түшүндүрүлөт. Бирок, интерференциялык картинанын өзгөрүүсүнүн мыйзам ченемдүүлүгү бул учурда да кыйла айкын көрүнөт. 3.2-3.4-сүрөттөрүндө деформацияланган объекттин голограммасын сезгичтикти күчөтүү болбогон, эки эсеге жана төрт эсеге күчөткөн учурда калыбына келтирүүнүн натыйжалары көрсөтүлгөн.

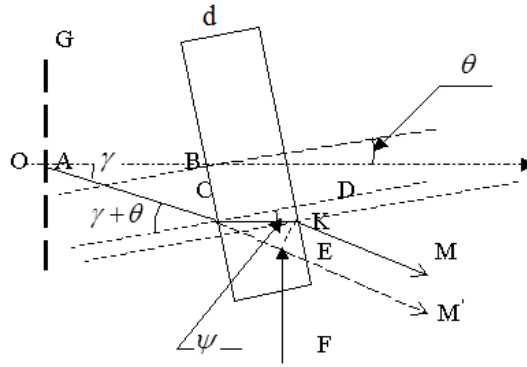
Деформация аз жана голографиялык күчөтүү болбогон учурдагы 3.1 жана 3.2-сүрөттөрдөгү сүрөттөлүштөр иш жүзүндө бири-бирине окшош. Б.а. интерферометр изилденип жаткан объектте пайда болгон аз деформацияны сезбейт. Эки эсеге күчөткөндө, деформацияланган участкалар байкалат (3.3-сүрөт), бирок голографиялык сезгичтикти төрт эсеге күчөтүү өтө чоң деформацияга туш болгон участкаларду кыйла так аныктоого мүмкүндүк берет (3.4-сүрөт).

Алынган эксперименталдык натыйжалар голографиялык интерферометрдин сезгичтигин күчөтүү ыкмасынын ишке жөндөмдүүлүгүн тастыктады.

Жөнөкөй фазалуу чөйрөлөрдүн тийгизген таасиринин негизинде өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин абалын аныктоо.

Бардык жерде төмөндөгүчө σ - торчонун мезгили, a - тордун диафрагмасы жана z - учурдагы координат.

Жалпак параллелдүү пластина линиялуу решетка жана жалпак параллелдүү пластина аркылуу өткөн жарык талаасынын фазалык бурмаланышы бир гана К-гармониялык бөлүк (3.1-сүрөт) үчүн эсептелет. Каралып жаткан жалпак параллелдүү пластинанын калыңдыгы d , сындыруу көрсөткүчү n_{nl} жана Z огу менен θ бурчун түзөт. Решетка аркылуу өткөндөн кийин жарык тутамынын спектрге ажырашынын натыйжасында пайда болгон К-гармониялык түзүүчүнүн жайылтылуу багыты К-гармониялык түзүүчүнүн багыты менен оптикалык тутумдун огунун ортосунда түзүлгөн γ -бурчунун чоңдугу менен аныкталат. Көрсөтүлгөн бурч, иш жүзүндө, жалпак жарык толкунунун решеткадагы дифракциясынын бурчу болуп саналат.



4.1-сүрөт. Жалпак параллелдүү пластина аркылуу өткөн жарык толкунунун фазасында өзгөрүү пайда болуу процессинин схемалык сүрөттөлүшү.

Решетка жана жалпак параллелдүү пластина аркылуу өткөн жарык талаасы төмөнкүдөй түргө ээ:

$$U_p(x, y, z) = \frac{1}{2\lambda z} \exp\{ik[z + d(n_{nl} - 1) + \frac{\theta^2}{2}(1 - \frac{1}{n_{nl}})]\} \sum_{m=-T}^T b_m \exp\{2\pi i[\frac{m}{\sigma}[x + \theta d \times (1 - \frac{1}{n_{nl}})] - \frac{m^2 \lambda}{2\sigma^2}[z - d(1 - \frac{1}{n_{nl}})]]\} \{\Phi[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}}(a - y)] - \Phi[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}}(-a - y)]\} \{\Phi[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}} \times [a - x + \frac{m\lambda z}{\sigma} + \frac{m}{\sigma}\theta d(1 - \frac{1}{n_{nl}})] - \Phi[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}}(-a - x + \frac{m\lambda z}{\sigma} + \frac{m}{\sigma}\theta d(1 - \frac{1}{n_{nl}})]]\}. \quad (3.1)$$

$$\Phi(x) = \int_0^x \exp(i\frac{\pi}{2}\eta^2) d\eta$$

Бул жерде $\Phi(x)$ - Френелдин интегралы, $m=0, 1, 2, 3, \dots$ - решетканын дифракциялык катарын аныктайт. (3.1) ара катышы өткөрүүчү жалпак параллелдүү пластина түрүндөгү фазалык чөйрөнүн бар болушу өзүн-

өзү пайда кылуу тегиздиктеринин Z огун бойлото $d(1 - \frac{1}{n_{nl}})$, ал эми X огун

бойлото $\theta d(1 - \frac{1}{n_{nl}})$ барабар аралыкка жылышына алып келерин көрсөтүп турат. Б.а. өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин жалпы бөлүштүрүлүшү деформацияланбайт, өзгөрүүсүз кала берет, бирок, тегиздиктердин бардык жыйындысы бир бүтүн катары, Z жана X окторун бойлото жылдырылат.

Жука оптикалык шынаа Жука оптикалык шынаанын учурунда жарык талаасынын фазасынын өзгөрүшүн төмөнкүдөй көрсөтүүгө болот.

$$f_c = k\psi x_2, \text{ где } \psi = (n_{kl} - 1)\text{tg}\alpha. \quad (3.2)$$

Мында α - шынаанын чокусундагы бурчтун чоңдугу, (x_2, y_2, z_2) - объект тегиздиги.

Оптикалык шынаа бар болгон учурдагы жарык талаасынын бөлүштүрүлүшү төмөнкүдөй түрдө көрсөтүлөт:

$$U_c(x,y,z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp[i(kz - \frac{\pi}{4})] \exp(-2\pi i \psi^2 \frac{z-z_2}{2\lambda}) \sum_{m=-T}^T b_m \exp\{2\pi i [\frac{m}{\sigma} \times \\ \times [x - \psi(z-z_2)] + \frac{\psi}{\lambda} x - \frac{m^2 \lambda z}{2\sigma^2}]\} \{\Phi[\sqrt{\frac{k}{\pi z}} [a - x + (z-z_2)\psi + \frac{m\lambda z}{\sigma}]] - \\ - \Phi[\sqrt{\frac{k}{\pi z}} [-a - x + (z-z_2)\psi + \frac{m\lambda z}{\sigma}]]\} \{\Phi[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}} (a-y)] - \Phi[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}} (-a-y)]\} \quad (3.3)$$

(3.3) формуласынан оптикалык шынаанын таасири алдында жарык талаасынын бөлүштүрүлүшүндөгү өзгөрүү бул талаанын X огуна параллелдүү жылышына жана өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин ψ бурчуна бурулушуна алып келет. Эгерде координаталар тутумун баштапкы оптикалык окко карата ψ бурчуна бурсак, анда, талаалык бөлүштүрүү оптикалык шынаа болбогон учурдагы бөлүштүрүүгө дал келет.

Жука линза Жука линзаны өтүп жаткан жарык толкунуна тийгизген таасири боюнча төмөнкүдөй түрдө көрсөтүүгө болот:

$$\phi_L = k[nd - (x_1^2 + y_1^2)/2F] \quad (3.4)$$

Мында d - линзанын окту бойлото калыңдыгы, F - анын фокустук аралыгы.

Линзанын артындагы жарык талаасы төмөнкүдөй түргө ээ болот:

$$U_L(x,y,z) = \frac{F}{4(F-z)} \exp(ikz) \exp(ikn_L d) \exp[-i\frac{\pi}{\lambda}(x^2 + y^2)] \{\Phi[\sqrt{\frac{\pi}{z1\lambda}} \times \\ \times (a - \frac{\sigma}{d1} y)] - \Phi[\sqrt{\frac{\pi}{z\lambda}} (-a - \frac{\sigma}{d1} y)]\} \sum_{m=-T}^T b_m \exp[2\pi i (\frac{m}{d1} x - \frac{m^2 \lambda}{2\sigma^2} z1)] \times \\ \times \{\Phi[\sqrt{\frac{\pi}{z1\lambda}} (a - \frac{\sigma}{d1} x + \frac{mz1\lambda}{\sigma})] - \Phi[\sqrt{\frac{\pi}{z1\lambda}} (-a - \frac{\sigma}{d1} x + \frac{mz1\lambda}{\sigma})]\} \quad (3.5)$$

$$\text{Бул жерде } z1 = \frac{Fz}{F-z}; \quad d1 = \frac{\sigma(F-z)}{F} \quad (3.6)$$

Өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин мейкиндиктеги жыштыгы жогорулайт, б.а. алардын ортосундагы аралык линзанын фокусуна жакындаган сайын азаят, ал эми фокустун артында өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин жайгашуу картинасынын күзгү сыяктуу чагылдырылышы пайда болот. Өзүн-өзү пайда кылуу тегиздиктеринин өлчөмдөрү фокуска жакындаганда азаят, ал эми фокустун артында фокустан алыстаган сайын чоңоет.

КОРУТУНДУ

Алынган голографиялык интерферометрлердин татаал интерферограммаларды алдын ала иштетүү ыкмасы иштелип чыкты.

1. Когеренттүү эмес жарык нурлануусу менен иштеген, ар түрдүү типтеги, анын ичинде, сүрөттөлүштөрдүн фокустарын ажыратууну камтыган оптикалык абerrациялар киргизилген тутумдун математикалык модели сунушталды. Сүрөттөлүштөрдүн (интерферограммалардын) фокустарын ажыратуу төмөнкү жыштыктагы жана жогорку жыштыктагы компоненттерди интерференциянын картинасында бөлүүгө мүмкүндүк бере тургандыгы көрсөтүлдү.

Тегерек жана квадрат түрүндөгү көзөнөктөрү бар оптикалык тутумдардын өткөрүп берүү функциялары үчүн туюнтмалар алынды. Кирүү көзөнөгүнүн формасынын өзгөрүшү оптикалык тутум аркылуу калыптандырылуучу сүрөттөлүшкө олуттуу таасир бербей тургандыгы көрсөтүлдү.

Оптикалык тутумду компьютердик моделдештирүүнүн натыйжалары интерферограмманын фокустарын ажыратуунун деңгээлин тандап алууга болорун көрсөттү, - бул учурда интерференциянын картинасынан төмөнкү жыштыктагы компонентаны бөлүп алуу ишке ашырылат. Б.а. фокусту ажыратууну интерферограмманы алдын-ала иштетүү стадиясында төмөнкү жыштыктагы фильтр катары пайдаланууга мүмкүн.

2. Интерференциялык моделдин цифрлаштырылган сүрөтүн конверсиялоо аркылуу голографиялык интерферометриялык системанын сезгичтигин жогорулатуу ыкмасы иштелип чыкты. Фазалык объекттин эки экспозиция ыкмасы менен алынган голограммасын жазуу жана сандык калыбына келтирүү процессине теориялык талдоо жүргүзүлдү. Голографиялык интерферометрдин натыйжасында алынган санариптештирилген интерференция сүрөттөлүшүн кайта кубултуу, голографиялык интерферометрдин сезгичтигин жогорулатуу мүмкүн болоорун анализ көрсөттү.

Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин «2» эсеге көбөйтүүгө мүмкүндүк берүүчү жалпылоочу ара катыштар негизинде алынды. Бул жерде $m=0, 1, 2, \dots$. Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин жогорулатуу фотоматрицанын аныктоосу менен гана чектелет.

Голографиялык интерферометрдин сезгичтигин эки эсеге жана төрт эсеге жогорулатуунун эксперименталдык натыйжалары алынды. Натыйжалар көрсөткөндөй, эки эсе көп жана, айрыкча, голографиялык интерферометрдин сезгичтигин төрт эсе жогорулатуу изилденип жаткан объекттеги фазалык бир тектүүлүктү аныктоо, күчөтүүсүз көрүнбөй калган.

3. Жалпак параллелдүү пластинанын, оптикалык шынаанын, жука линзанын голографиялык интерферометрдин чыгыш каналдарында өзүн-өзү пайда кылуучу тегиздиктеринин абалын аныктоочу ара катыштар алынды.

Голографиялык интерферометрдин каналдарында алынган интерферограммаларды салыштыруу эң жөнөкөй оптикалык чөйрөлөр таасирин эске алганда жана эске албаганда, эгерде оптикалык чөйрөлөрдүн өзүн-өзү

пайда кылуучу тегиздиктердин абалына тийгизген таасирин эсепке албасак, алынган интерферограммалардын сапаты начарлай тургандыгын көрсөттү. Бул татаал интерферограммалардын учурунда төмөнкү жыштыктагы компонентаны жоготууга алып келет.

ЖАРЫК КӨРГӨН ИШТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. **Исманов Ю. Х.** Бесщелевой метод записи радужных голограмм в голографии Денисюка [Текст] /Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев, Т. Д. Тынышова// Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. (Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, Душанбе).-2017.-№ 3(39).-С. 25-32. <http://vp-inov.ttu.tj>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=32312291>
2. **Исманов Ю. Х.** Особенности голографической интерферометрии на основе метода бесщелевой радужной голографии [Текст] /Ю. Х. Исманов, Н. М. Кулмурзаев, Т. Д. Тынышова// Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. (Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, Душанбе).-2017.-№ 3(39).-С. 33-41. <http://vp-inov.ttu.tj>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=32312292>
3. **Исманов Ю. Х.** Многоканальный голографический интерферометр для исследования сложных фазовых и отражающих сред [Текст] / Ю. Х. Исманов, Т. Д. Тынышова, Д. А. Исмаилов, Н. М. Кулмурзаев // Материалы VII Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов.- М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 264-265. <http://fioconf.mephi.ru>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=32479781>
4. **Исманов Ю. Х.** Использование приближения Френеля для расчета распределения светового поля, прошедшего сквозь решетку [Текст] / Ю. Х. Исманов, Т. Д. Тынышова, С. А. Алымкулов // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова.- 2017.-№3(57).-С. 171-178. <http://www.vestnikksucta.kg>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=32645421>
5. **Исманов Ю. Х.** Голография Денисюка на основе бесщелевого метода [Текст] / Ю.Х. Исманов, Н.М. Кулмурзаев, Т.Д. Тынышова // Вестник КРСУ.- 2018 .- № 4(18).-С.3-6. <http://www.krsu.edu.kg/vestnik/index.html>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=35017300>
6. **Исманов Ю. Х.** Голографическая интерферометрия, использующая два опорных пучка [Текст] / Ю.Х. Исманов, Т.Д. Тынышова, Н.М. Кулмурзаев // Вестник КРСУ.-2018 .- № 4(18).-С.7-9. <http://www.krsu.edu.kg/vestnik/index.html>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=35017301>

7. **Исманов Ю. Х.** Интерферометрия в радужной голографии [Текст] / Ю.Х. Исманов, Т.Д. Тынышова, Н.М. Кулмурзаев // Известия НАН КР.-2018 .- № 1.-С.24-29. <http://naskr.kg/ru/2019/08/15/izvestiya-nan-kr/> ,
<https://elibrary.ru/item.asp?id=36313925>
8. **Исманов Ю. Х.** Объемная голография в бесщелевом методе [Текст] / Ю.Х. Исманов, Т.Д. Тынышова, Н.М. Кулмурзаев // Известия НАН КР.-2018 .- № 3.-С.53-58. <http://naskr.kg/ru/2019/08/15/izvestiya-nan-kr/>,
<https://elibrary.ru/item.asp?id=39154693>
9. **Ismanov Y. Kh.** Wide-range holographic interferometer [Текст]/ Y. Kh.Ismanov, T. D. Tynyshova, Z. K. Aidaraliev //Optical Engineering.- 2018.- 57(12), 124106. [http://dx.doi.org/10.1117/1.OE.57.12.124106]
<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/optical-engineering?SSO=1>,
<https://elibrary.ru/item.asp?id=38679874>
10. **Тынышова Т.Д.** Распределение саморепродукций решетки в присутствии прозрачной плоскопараллельной пластины [Текст]/Т. Д. Тынышова // Электронный журнал: наука, техника и образование. - 2019.- № 2 (24).- С. 117-124. <http://nto-journal.ru>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=39175028>
11. **Тынышова Т.Д.** Искажение последовательности саморепродукций прозрачной пластиной [Текст] / Т.Д. Тынышова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 5. – С. 142-146. <https://applied-research.ru>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=38165693>
12. **Исманов Ю. Х.** Уменьшение объема вводимых данных при компьютерной обработке интерферограмм [Текст] / Ю. Х. Исманов, Тынышова Т. Д. // Материалы VIII Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов.- М.: НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 695-696. <http://fioconf.mephi.ru>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=37316875>
13. **Тынышова Т.Д.** Моделирование оптической системы с входным зрачком круглой формы [Текст] / Т. Д. Тынышова, Ю. Х. Исманов // Материалы IX Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов.- М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 615-616. <http://fioconf.mephi.ru>, <https://elibrary.ru/item.asp?id=42564207>
14. **Исманов Ю.Х.** Моделирование оптической системы, работающей при некогерентном освещении [Текст] / Ю.Х. Исманов, Т.Д. Тынышова, А.А. Абдулаев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 3. – С. 98-102. <https://applied-research.ru>,
<https://elibrary.ru/item.asp?id=42620890>
15. **Исманов Ю. Х.** Улучшение характеристик интерферограмм, получаемых на выходе голографического интерферометра [Текст] / Ю. Х. Исманов, Т. Д. Тынышова // Материалы X Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов.- М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – С. 445-446. <http://fioconf.mephi.ru>

Тынышова Толгонай Дайырканкожоевнанын «Фазалык чөйрөлөрдүн санариптик голографиялык интерферометриясы» деген темадагы 01.04.05 - Оптика адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидатына талап кылынган диссертациясына

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: санариптик голографиялык интерферометрия, фазалык чөйрө, интерферограмма, когеренттүү эмес оптикалык система, дефокустоо, интерферометрдин сезгичтиги, өзүн-өзү көбөйтүү, көп каналдуу голографиялык интерферометр.

Изилдөөнүн объектиси: бул приборлордун чыгуусунда алынган санарип голографиялык интерферометрлер жана интерферограммалар.

Изилдөөнүн предмети: голографиялык интерферометрдин мүнөздөмөлөрүн интерферометриялык системада алынган интерферограммаларды санариптик иштетүү ыкмалары менен өркүндөтүү мүмкүнчүлүгүн изилдөө.

Иштин максаты: санариптик голографиялык интерферометриялык тутумдардын эффективдүүлүгүн жогорулатуу ыкмаларын иштеп чыгуу.

Изилдөө методдору: каралып жаткан оптикалык процесстердин жана тутумдардын математикалык моделдерин иштеп чыгуу жана аларды компьютердик моделдөө жана оптикалык тажрыйбалар аркылуу негиздөө.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыктары: интерферограммаларды дефокустоо жолу менен алдын ала иштетүүнүн жаңы ыкмасы сунушталды; биринчи жолу голографиялык интерферометрлердин сезгичтигин жогорулатуунун интерферометрдин натыйжасында алынган интерферограммаларды иштетүүнүн санариптик ыкмалары аркылуу иштелип чыккан; эң жөнөкөй оптикалык бир тектүүлүктүн жоктугунда голографиялык интерферометрлердеги интерферометриялык схеманын локалдаштыруу тегиздигинин ордун так аныктоого мүмкүндүк берген мамилелер алынат.

Колдонуу чөйрөсү: иштелип чыккан методдорду голографиялык интерферометриялык тутумдарды колдонуп фазалык чөйрөнү изилдөөдө колдонсо болот.

РЕЗЮМЕ

**диссертации Тынышовой Толгонай Дайырканкожоевны на тему:
«Цифровая голографическая интерферометрия фазовых сред» на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.05 – оптика**

Ключевые слова: цифровая голографическая интерферометрия, фазовая среда, интерферограмма, некогерентная оптическая система, расфокусирование, чувствительность интерферометра, самовоспроизведение, многоканальный голографический интерферометр.

Объектами исследования являются цифровые голографические интерферометры и интерферограммы, получаемые на выходе этих устройств.

Предметом исследования является изучение возможности улучшения характеристик голографического интерферометра методами цифровой обработки интерферограмм, получаемых в интерферометрической системе.

Целью работы является разработка методов повышения эффективности цифровых голографических интерферометрических систем.

Методы исследования: разработка математических моделей рассматриваемых оптических процессов и систем, и их обоснование посредством компьютерного моделирования и оптических экспериментов.

Полученные результаты и их новизна: предложен новый метод предварительной обработки интерферограмм посредством их расфокусирования; впервые разработан метод увеличения чувствительности голографических интерферометров посредством цифровых методов обработки интерферограмм, получаемых на выходе интерферометра; получены соотношения, позволяющие точно определять положения плоскостей локализации интерферометрической картины в голографических интерферометрах в присутствии простейших оптических неоднородностей.

Область применения: разработанные методы могут быть использованы при исследованиях фазовых сред с помощью голографических интерферометрических систем.

SUMMARY

of the thesis of Tynyshova Tolgonai Daiyrkankozhoevna on the topic: "Digital holographic interferometry of phase media" for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, specialty 01.04.05 - optics

Keywords: digital holographic interferometry, phase medium, interferogram, incoherent optical system, defocusing, interferometer sensitivity, self-imaging, multichannel holographic interferometer.

The objects of research are digital holographic interferometers and interferograms obtained at the output of these devices.

The subject of this research is to study the possibility of improving the characteristics of a holographic interferometer by digital processing of interferograms obtained in an interferometric system.

The aim of the work is to develop methods for increasing the efficiency of digital holographic interferometric systems.

Research methods: development of mathematical models of the considered optical processes and systems, and their substantiation by means of computer modeling and optical experiments.

The results obtained and their novelty: a new method of preliminary processing of interferograms by means of their defocusing is proposed; for the first time a method was developed for increasing the sensitivity of holographic interferometers by means of digital methods for processing interferograms obtained at the output of the interferometer; relations are obtained that make it possible to accurately determine the positions of the localization planes of the interferometric pattern in holographic interferometers in the presence of the simplest optical inhomogeneities.

Application area: the developed methods can be used in studies of phase media using holographic interferometric systems.