

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ  
АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ**

**АХУНОВ ТАЛЪАТ АХМАТОВИЧ**

**ТАНЛАНГАН ГРАВИТАЦИОН ЛИНЗАЛАНГАН КВАЗАРЛАРНИНГ  
ПЗС - ФОТОМЕТРИЯСИ ВА КЕНГ МАЙДОНЛАР ҲОЛАТЛАРИ**

**01. 03. 01 - Астрономия**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Автореферат "Til va adabiyot ta'limi" журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб,  
Ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди (26.02.2019 й.)

**Тошкент - 2019**

**Физика-математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси автореферати  
мундарижаси**

**Content of the dissertation abstract of the doctor (DSc) on physical and mathematical  
sciences**

**Оглавление автореферата диссертации доктора (DSc) по физико-математическим  
наукам**

Ахунов Таълат Ахматович Танланган гравитацион линзаланган квазарларнинг ПЗС- фотометрияси ва кенг майдонлар ҳолатлари. . . . .	3
Akhunov Talat CCD-photometry of selected gravitationally lensed quasars and wide field cases. . . . .	25
Ахунов Таълат Ахматович ПЗС-фотометрия избранных гравитационно-линзированных квазаров и случаи широких полей. . . . .	45
Эълон қилинган ишлар рўйхати List of published works Список опубликованных работ . . . . .	57

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ  
АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ**

**АХУНОВ ТАЛЪАТ АХМАТОВИЧ**

**ТАНЛАНГАН ГРАВИТАЦИОН ЛИНЗАЛАНГАН КВАЗАРЛАРНИНГ  
ПЗС-ФОТОМЕТРИЯСИ ВА КЕНГ МАЙДОНЛАР ҲОЛАТЛАРИ**

**01.03. 01 - Астрономия**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2019**

**Физика-математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.4.DSc/FM121 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Миллий университети ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Астрономия институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, инглиз, рус (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) ва «Ziynet» ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:** **Нуритдинов Салахитдин Насритдинович**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** **Чернин Артур Давидович**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Коршунова Наталья Александровна**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Туракулов Зафар Ялкинович**  
физика-математика фанлари доктори

**Етакчи ташкилот:** **В.Г. Фесенков номидаги Астрофизика институти**  
Олмаота ш., Қозоғистон Республикаси

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Улуғбек кўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-41; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

Диссертация билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100214, Тошкент шаҳри, Улуғбек кўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2019 йил « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2019 йил “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**М. Ю. Ташметов**  
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси ф.-м.ф.д., профессор

**Э.М.Турсунов**  
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

**И. Нуритдинов**  
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси ф.-м.ф.д., профессор

## КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Бугунги кунда гравитацион линзаланиш ҳодисаси ва айниқса, гравитацион линзаланган квазар (ГЛК)лар билан боғлиқ объектларнинг тадқиқоти замонавий кузатув космологиясининг энг муҳим масалаларидан биридир. Бундай объектлар Ердаги замонавий ва космик асбобларнинг ажрата олиш имкониятидан жуда юқори бўлган улкан табиий телескоп сифатида хизмат қилади. ГЛК физикасининг кўплаб муаммоларини ечиш учун, аввало, линзаланган квазарларнинг мавҳум тасвирлари орасидаги кечикиш вақтлари ва улардаги микролинзаланиш ҳодисаларининг тадқиқоти зарур, бу эса фақат уларнинг фотометрияси орқали амалга оширилиши мумкин. Мавҳум компоненталар орасидаги кечикиш вақтини аниқлаш Хаббл доимийси, манба ва линзанинг қизилга силжишлари ҳамда линзанинг гравитацион потенциали билан тўғридан-тўғри боғланган. Микролинзаланиш эса массив ва бошқа ҳеч бир йўл билан кўра олиш мумкин бўлмаган кўринмас объектларни ёки материя тўдаларини аниқлаш имкониятини беради. Туғилаётган галактикаларнинг бошланғич босқичлари ва қорамтир материянинг тузилиши фақат гравитацион линзаланиш туфайли мукамал кузатилиши мумкинлигидан диссертация ишининг долзарблиги келиб чиқади.

Ҳозирги кунда етакчи тадқиқотчилар томонидан гравитацион линзаланиш соҳасида қатор муҳим кашфиётлар очилган. Масалан, бизнинг Галактикамизда кичик массали юлдузлар кўринишидаги қорамтир материянинг улуши аниқланди, энг кичик массали экзосайёраларнинг бири топилди. Коинотдаги энг массив йирик масштаби тузилмалар аниқланди ҳамда қорамтир материя борлигининг тўғридан-тўғри эмпирик исботи топилди. Хаббл доимийсининг ўлчашлари олиб борилмоқда. Кузатишлар натижасида қизилга силжиши  $z > 7$  бўлган энг узоқ квазарлар топилди ва 150 дан ортиқ ГЛКлар аниқланди.

Мамлакатимизда гравитацион линзаланишнинг кузатув ва назарий тадқиқотларнинг аспектларига ҳам катта эътибор берилади. Мамлакатимиз илм-фан ривожига ҳамда фундаментал тадқиқот натижаларини ҳаётга татбиқ қилиш учун ушбу фундаментал тадқиқотларнинг йўналишлари Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар<sup>1</sup> стратегиясига бевосита боғлиқ. Бу борада Майданак обсерваториясида охириги 20 йилдан бери перспектив бўлган ГЛКларнинг фаол равишда мониторинг кузатувлари олиб борилади, узоқ йиллик бир текис мониторинг асосида ноёб улкан кузатув маълумотлари тўпланган. Қатор ГЛКлар линзаланган тасвирларининг равшанлик эгри чизиқлари таҳлили олиб борилди, қора ўра атрофида кучсиз линзаланиш ҳолида ёруғлик нурларининг синиш бурчаги учун аниқ ифодалар қўлга киритилган. Аммо шу билан бирга айрим ечилмаган масалалар ҳам қолмоқда, хусусан, шу вақтгача ушбу

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги "Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида"ги ПФ-4947-сонли Фармони.

диссертациянинг тадқиқот объектларида микролинзаланиш туфайли юзага келадиган ўзгарувчанлик амплитудасининг етарли аниқликдаги қиймати ва давомийлиги бизга маълум эмас, микролинзаланиш характери ўзи номаълум, баъзан эса ҳаттоки, линзаловчи жисмнинг қизилга силжишини аниқлашда ноаниқликлар мавжуд, шу кунгача кенг майдонлар ҳолатлари масаласи ўрганилмаган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон "Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида"ги Фармонида, 2018 йил 29 ноябрда Ўзбекистон Республикаси Ҳукумати томонидан чоп этилган "2019-2021 йилларда Ўзбекистонда тузилмали ислоҳотларнинг асосий йўналишларининг йўл харитаси"да ҳамда ушбу соҳадаги бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланиши П. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналишига мовофик бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи.** Гравитацион линзаланиш ҳодисасининг умумий тадқиқоти, хусусан, линзаланган квазарлар, уларни кашф этиш, электромагнит нурланишнинг турли диапазонларидаги кузатуви, кузатув маълумотларини қайта ишлаш ва уларни таҳлил этиш бўйича кенг қамровли илмий тадқиқот ишлари қатор етакчи илмий тадқиқот марказлари ва олий ўқув юртларида, жумладан, Москва давлат университетининг Штернберг номли Астрономия институти (Россия), Астрономия Маркази ва Хейдельберг университетининг Астрономик ҳисоблашлар институти, Потсдам астрофизика институти, Макс Планк жамиятининг Астрофизика институти (Германия), Лозанна Федерал Политехника мактабининг Астрофизика лабораториясида (Швейцария), Дарем университетининг Ҳисоблаш космология институти, Кембридж университетининг Астрономия институти (Буюк Британия), Варшава университетининг Астрономик обсерваторияси (Польша), Космик тадқиқотлар институти (Нидерландия), Льеж университетининг астрофизика ва геофизика институти (Бельгия), Космик фанлар халқаро институти (Берн, Швейцария), Бошланғич Коинот тадқиқот маркази, Токио университетининг физика бўлими (Япония), Япония Миллий астрономик обсерваториясининг Субару телескопи, Кантабрия университетининг замонавий физика бўлими (Испания), Харьков Миллий университетининг Астрономия институти, Украина фанлар Миллий академиясининг радиофизика ва электроника институти (Украина), Космик телескоп ёрдамида Космос тадқиқоти институти (Балтимор, АҚШ), ЎЗР ФА Астрономия институти, Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети (Ўзбекистон)да олиб борилмоқда.

Гравитацион линзаланган квазарларни тадқиқот этиш бўйича жаҳон миқёсида бир қатор илмий натижалар олинган, жумладан: Магеллан Булутлари юлдузларининг кузатуви орқали кичик массали юлдузлар кўринишидаги қорамтир модданинг бизнинг Галактикамиздаги улуши аниқланган. Микролинзаланиш таҳлили ҳозирги кунда маълум бўлган энг кичик экзосайёралардан бирини топишга имкон берди, бундан эса массаси Нептунникига яқин бўлган сайёралар газсимон гигантларга нисбатан кўпроқ тарқалганлиги келиб чиқади (Зарралар астрофизикаси маркази; Калифорния университети; Париж астрофизика институти). Катта майдонларда галактикалар эллиптиклигининг статистик таҳлили Коинотдаги массив йирик масшабли тузилмаларни топди. Хаббл телескопида иккита қўшилаётган галактикаларнинг кузатуви ҳамда линзаланиш хариталарини тузиш қорамтир модда борлигининг тўғридан-тўғри эмпирик исботини топишга имкон берди (Канада назарий астрофизика институти; Кавли номидаги зарралар астрофизикаси ва космология институти). Гравитацион линзаларни систематик қидириш бўйича қатор ноёб дастурлар ишлаб чиқилди, спектроскопик ҳамда оптик кузатувлар орқали ГЛКга номзодлар ва кузатувдан тасдиқланган объектлар рўйхати доимо тўлдириб келинмоқда (Япония миллий астрономик обсерваториясининг Субару телескопи; Кембридж университети астрономия институти; Бонн университети Аргеландер номидаги астрономия институти). COSMOGRAIL кузатув дастури доирасида катта ҳажмда кузатув маълумотлари қўлга киритилган, тасвирларни қайта тиклаш учун самарали фотометрик усул ишлаб чиқилган (Лозанна Федерал Политехника мактаби Астрофизика лабораторияси; Льеж университетининг астрофизика ва геофизика институти; ЎзР ФА Астрономия институти). Кузатув маълумотларни қайта ишлаш учун фотометрик усуллар ва компьютер дастурлари ишлаб чиқилган (Москва давлат университетининг Штернберг номли Астрономия институти, Россия; Харьков Миллий университетининг Астрономия ИТИ, Украина).

Дунёда ҳозирги пайтда гравитацион линзаланган квазарларнинг назарий ва кузатув тадқиқотлари бўйича қуйидаги устувор йўналишларда изланишлар олиб борилмоқда: GAIA, SDSS ва бошқа маълумотлар базаларини статистик, спектрал ва фотометрик таҳлили асосида янги ГЛКларни топиш; микролинзаланиш ҳодисаларини аниқлаш, кечикиш вақтини ўлчаш ва Хаббл доимийсини ҳисоблаш; Коинот ва унинг йирик масшабли бирикмалари моделларини синаш; галактика тўдалари массасини ўлчаш; гравитацион линзалар моделларида ноаниқлик масаласи ҳамда манба вазияти ўзгаришининг кечикиш вақтига таъсир этиш муаммоларини ечиш (Чикаго университети, Макс Планк жамиятининг Астрофизика институти; Бошланғич Коинот тадқиқот маркази).

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирги кунда янги гравитацион линзаланган квазарларни қидириш, ушбу объектларнинг мониторинг кузатувларини олиб бориш, SBS1520+530 ва FBQ0951+2635 ГЛКларнинг фотометрик тадқиқоти, линзаловчи галактикалар хусусиятлари

тадқиқоти, ушбу системаларни моделлаштириш, кечикиш вақтини ҳисоблаш, микролинзаланишни аниқлаш билан дунёнинг кўплаб етакчи илмий марказларининг олимлари, масалан, россиялик (Bikmaev I., Sakhibullin N.), украиналик (Shalyapin V., Zheleznyak A., Sergeev A.), америкалик (Burud I., Cohen J., Schechter P., Beuzit J.-L., Kochanek C.) бельгиялик (P. Magain, Sluse D.), швейцариялик (Courbin F., Dye S., Meylan G.), даниялик (Jacobson P., Hjorth J.) ва бошқалар шуғулланишади. Аммо кўрсатилган ГЛКлар учун узок муддатли оптик кузатувлар олиб борилмаган ва унга мос ҳолда узок вақт оралиғида микролинзаланиш ҳодисаси ўрганилмаган, уларнинг на амплитудаси, на давомийлиги номаълум бўлган.

Тўрт компонентали PG1115+080 ва B1422+231 ГЛКлар йўналишидаги галактикалар тўдаларидан рентген оқимини аниқлаштириш, уларнинг инфрақизил кузатувлари ва линзаловчи галактикаларнинг подструктураларини ажратиб олиш, уларнинг қизилга силжишини топиш, H1413+1117 спектрининг эмиссион хусусиятларини таҳлил этиш, бу системаларнинг моделларини тузиш муаммолари билан америкалик (Grant C., Bautz M., Chartas G., Garmire G., Tonry J., Eracleous M., Dai X., Agol E., Gallagher S.), япониялик (Chiba M., Minezaki T., Kashikawa N., Kataza H.), бельгиялик (Hutsemekers D., B. Borguet) ва бошқа олимлар шуғулланган. Аммо буларга қарамай, бу ерда қайд этилган ГЛКларнинг узок йиллик оптик кузатувлари олиб борилмаган, кечикиш вақтлари ва микролинзаланиш характерлари охиргача аниқланмаган. H1413+117даги линзаловчи жисмнинг қизилга силжиши масаласи ҳам очик қолиб келган, B1422+231 эса ундан ҳам кам ўрганилган, чунки унда ҳаттоки мавсумий кузатувлар олиб борилмаган.

Кенг майдонларнинг кечикиш вақти ва интеграллаш (КВИ) режимида зенит кузатувларидан олинган рақамли тасвирларнинг таҳлили, эса умуман олганда, биринчи бор амалга оширилмоқда. Суюқ кўзгули зенит телескопни кўриш бўйича ғоя канадалик олимлар (Hickson P., Borra E., Cabanac R., Content R., Gibson B.) томонидан таклиф қилинган эди, бу лойиҳанинг амалдаги татбиқи эса бельгиялик (Surdej J., Swings J. -P., De Becker M., Delchambre L., Finet F.), ҳиндистонлик (Kumar B., Pradhan B., Sagar R., Pandey K., Anupama G.), польшалик (Bartczak P.) астрономлар томонидан амалга оширилди. Аммо уларнинг ишларида кенг майдонлар тасвирларининг таҳлили масаласи тўлиқ равишда очилмаган эди. Кузатув маълумотларни астрометрик ва фотометрик калибровкада қанақа омиллар таъсир этади, деган савол шу вақтгача жавобини топа олмай келяпти.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти ЎзР ФА Астрономия институти ва Ўзбекистон Миллий университети илмий-тадқиқотлар режаларининг ФА-Ф2-Ф058+061 «Гравитацион линзалар, шаклланаётган галактикалар ва астрофизик объектларнинг умумлашган моделлари тадқиқоти» (2007-2011), ФА-ЁОФ2-Ф03 «Рақамли астрономик тасвирларни қайта тиклаш фотометрик дастурини ишлаб чиқиш ва гравитацион линзаланишда УНН

эффектларининг таҳлили» (2010-2011), Ф2-ФА-Ф029 «Гравитацион линзалар, компакт астрофизик объектлари ностационар дисксимон тизмлар физикаси» (2012-2016), ВА-ФА-Ф-2-007 «Танланган галактика-кварларнинг линзаловчи хусусиятларини оптик диапазондаги тадқиқоти» (2017-2018) илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** танланган икки ва тўрт компонентали гравитацион линзаланган кварларнинг ПЗС-фотометрияси ёрдамида микролинзаланиш ва кечикиш вақти эффекти кўринишидаги ҳодисалар физикасини ўрганиш ҳамда кенг майдонлар рақамли тасвирларини қайта ишлаш алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

зич майдонлардаги нуқтавий манбаларнинг фотометрияси усулини ишлаб чиқиш;

тадқиқ қилинаётган ГЛК линзаланган компонентлари орасидаги кечикиш вақтини ва система параметрларига боғланишлардаги қонуниятларни аниқлаш;

Н1413+117 ГЛКдаги линзанинг қизилга силжишини аниқлаш;

Микролинзаланиш ҳодисасидан манба-кварларнинг ички ўзгарувчанлигини ажратиб олиш, уларнинг механизмларини аниқлаш, микролинзаланиш давомийлигини аниқлаш;

микролинзаланиш турларини уларнинг жадаллиги ва давомийлигига боғлиқлигини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш, микролинза массасининг қуйи чегарасини ҳисоблаш;

КВИ режимидаги рақамли тасвирларни қайта ишлаш усули ва алгоритмларини ишлаб чиқиш, астрономик ва фотометрик ўлчашларнинг аниқлигига таъсир қилувчи омилларни таҳлил қилиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида танланган SBS1520+530, FBQ0951+560, PG1115+080, Н1413+117 ва В1422+261 гравитацион линзаланган кварлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** бўлиб ПЗС-тасвирлари кўринишидаги кузатув маълумотлари, тадқиқ қилинаётган объектлар компонентларининг равшанлик эгри чизиқлари, шу билан бирга КВТ режимида ҳосил қилинган тасвирлар ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Рақамли астрономик тасвирларни қайта ишлашнинг таниқли усуллари, вақт қаторлари таҳлили усуллари, минималлаш усуллари, гравитацион линзаланган системаларнинг математик моделларини тузиш усуллари.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

қўшалок FBQ 0951+2635 ва SBS1520+530 ГЛКларда равшанлик ўзгаришининг жадаллилиги бўйича фонли ва кучли ҳамда давомийлигига қараб узок даврли ва қисқа даврли икки турдаги микролинзаланиш синфлари аниқланган;

танланган ГЛКлар учун равшанлик эгри чизиқлари ҳосил қилинган ҳамда тўрт компонентли PG1115+080, H1413+117, B1422+231 ГЛКда кечикиш вақтининг янги қийматлари аниқланган;

PG1115+080 ГЛКда A1/A2 оқим нисбати нафақат вақт бўйича ўзгариши, балки филтранинг тўлқин узунлигига ҳам боғлиқ эканлиги аниқланди, линзаланган компонентларнинг (V-I) ранг кўрсаткичи ҳам равшанликка, ҳам вақтга боғлиқлиги кўрсатилган;

H1413+117 ГЛКда кучли микролинзаланиш ва унга сабабчи жисм массаси учун қуйи чегара қиймати топилган ҳамда гравитацион линза учун сингуляр изотермик эллипсоидли янги модель ишлаб чиқилган ва унинг қизилга силжиши аниқланган;

кенг майдонлар тасвирларининг компьютерда қайта ишлаш усуллари ва алгоритмлари ишлаб чиқилган ҳамда КВИ режимда зенит кузатувлари давомида олинган тасвирларда прецессия эффекти аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

кечкиш вақти қиймати ГЛК тизимнинг бурчак катталигига – линзаланган компонентлар орасидаги максимал масофага чизиқли боғлиқ эканлиги кўрсатилган;

тадқиқот объектларида микролинзаланиш синфлари аниқланган ва ушбу ҳодисанинг механизмлари очиб берилган: қўшалок ГЛКларда узок даврли, 10 йилдан ортиқ давом этаётган микролинзаланиш эффекти топилган ҳамда у қисқа даврли микролинзаланиш ҳодисаларидан устун келиши кўрсатилган;

зич майдонлардаги нуқтавий тасвирларни фотометрик қайта ишлашнинг янги усули таклиф қилинган;

фотометрик ҳамда кечикиш вақтини ўлчаш хатоликларини баҳолаш учун янги мустақил усуллар ишлаб чиқилган;

биринчи бор B1422+23 ГЛКда равшанлик эгри чизиқлари чизилган ҳамда манба-квазар равшанлигининг узок даврли (6 йилдан ортиқ) ўзгариши ва микролинзаланиш таъсири аниқланган;

топилган микролинзаланиш ҳодисалари тўрт компонентли тизимлардаги микролинзаланиш умумий табиатига ва ўзгармас тавсифга эга бўлиши ҳақидаги гипотеза тасдиқланган;

кенг майдон тасвирларини қайта ишлаш алгоритми меридиан кузатувларида олинган тасвирларни таҳлил этишда қўлланилмоқда;

сунъий равшанлик эгри чизиқларни ҳосил қилиш учун янги усул таклиф қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** ПЗС тасвирларини фотометрик қайта ишлаш, вақт қаторларини таҳлил қилиш, кечикиш вақтини ҳисоблаш, микролинзаланиш ҳодисасини аниқлаш ва гравитацион линзаланган тизимларни моделлаштиришнинг замонавий ва яхши тавсия этилган усуллариининг қўлланганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, авваламбор, тадқиқ қилинаётган ГЛКлар бўйича олинган кузатув маълумотлари билан баҳоланади, қайсики маънода

улар ГЛКлар ҳақидаги мавжуд билимларни сезиларли даражада тўлдиради ва келажакда уни янада тўлдириб боришда ва бошқа ГЛКларни мукамал тадқиқ қилишда асос бўлади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти эса қуйидагилар билан изоҳланади: биз таклиф этган нуқтанинг ёйилиш функцияси (НЁФ)ни адаптив мослаштириш фотометрик усули телескопларда кузатув вақтларини тежашга ёрдам беради, чунки ушбу усул фокусланмаган тасвирлар билан ҳам ишлайди. Учта ГЛК учун биз топган кечикиш вақти қийматлари ушбу тизимларда келажакда микролинзаланишни аниқлашни енгиллаштиради. КВИ режимидаги кенг майдонлар тасвирларини қайта ишлаш учун биз томондан ишлаб чиқилган усул ва алгоритмлар бевосита 4-mILMT лойиҳаси доирасида қўлланилади. Натижалар ЎзМУ Астрономия йўналишининг қуйидаги махсус курсларига киритилган: «Квазарлар ва фаол галактикалар», «Космогония муаммолари» бакалавриатура учун ва «Гравитацион линзаланиш физикаси», «Астрономик тасвирларни қайта ишлаш» магистратура учун.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Танланган икки ва тўрт компоненти гравитацион линзаланган квазарларнинг микролинзаланиш ва кечикиш вақти эффекти кўринишидаги ҳодисалар физикасини ўрганиш ҳамда кенг майдонлар рақамли тасвирларини қайта ишлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш асосида:

FBQ 0951+2635 ва SBS1520+530 ГЛКлардаги микролинзаланишнинг давомийлиги ва табиатини тадқиқ этиш давомида олинган натижалар халқаро илмий журналларда (Astronomy&Astrophysics, 2018, 2012a,b; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2013; Astronomy&Astrophysics Supplement Series, 2011; Astrophysics Journal, 2010) ва GLENDAMA лойиҳаси доирасида кучли гравитацион линзалар моделлари таҳлилида ва космологик параметрларни ҳисоблашда фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши линзаланган квазарлар бўйича кенг қамровли маълумотлар базасини шакллантириш ҳамда бошқа қўшалок ГЛКларда узок даврли микролинзаланиш ҳодисаларини топиш имконини берган;

PG1115+080 ГЛК линзаланган компонентлари орасидаги кечикиш вақтининг Майданак обсерваториясида олиб борилган мониторинги асосида олинган янги қийматлари халқаро журналларда (Astronomy & Astrophysics, 2018, 2013; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2016; The Astrophysics Journal Supplement Series, 2015; Astronomical Reports, 2015) ушбу системада кечикиш вақтларини қайта ҳисоблашларда ва бу катталиқни микролинзаланиш ҳолати учун топишга мўлжалланган янги усулни ишлаб чиқишда фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши кузатиш ўқи бўйлаб линзалар атрофидаги муҳитнинг тузилишини ўрганишга ҳамда йирик масштабли тузилмаларнинг линзалар статистикасига ва улар параметрларига таъсирини яхшироқ тушунишга имкон берган;

PG1115+080 ГЛКдаги линзаланган компонентларнинг равшанлиги ўзгаришининг таҳлили ва A1/A2 ёрқин компонентдаги микролинзаланишни

ўрганиш натижалари халқаро журналларда (Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2016, 2018; Astronomy & Astrophysics, 2015, 2018; The Astrophysics Journal, 2016; Astronomical Reports, 2015) микролинзаланиш эффектини тадқиқ этишда кечикиш вақти қийматларига асосланиб микролинзаланиш хариталарини тузишга мўлжалланган янги усулни ишлаб чиқишда фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши Хаббл доимийсини янгидан ҳисоблаш ҳамда узоқ манбаларнинг нуқтавий ва кўлам моддалар томонидан микролинзаланиш билан ғалаёнланган равшанлик эгри чизиқларини статистик таҳлил этиш имконини берган;

H1413+117 компонентлар равшанликлари ўзгарувчанлигининг кечикиш вақтларини ҳисоблаш, кучли микролинзаланиш ҳодисасини топиш, линзаловчи жисмнинг қизилга силжишини ҳисоблаш бўйича биз ўтказган тадқиқот натижалари халқаро журналларда (Astronomy & Astrophysics, 2018; Astronomy & Astrophysics, 2018; 2018arXiv 181002624W; Nature, 2018) гравитацион линзалар моделларидаги ноаниқликларни ва манба вазияти ўзгаришининг кечикиш вақтларига таъсирини баҳолашда, GRAL113100-441959 янги гравитацион линзаланган система эканлигини спектроскопик тасдиқлашда ва ундаги кечикиш вақтини модель ёрдамида прогнозлашда фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши шимолий ярим шардаги оптик ёрқин линзаланган квазарлар бўйича янги маълумотлар базасига киритилган ҳамда Ўзбекистонда замонавий астрономиянинг ҳолатини таҳлил этишга имкон берган;

кенг майдонлар тасвирларини қайта ишлаш бўйича ишлаб чиқилган усул ва алгоритмлар 4-m ILMТ халқаро кузатув лойиҳаси доирасида қўлланилган («Universite de Liege»нинг 2019 йил 15 январдаги маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши кенг майдонлар тасвирларини қайта ишлаш бўйича дастурлар кетма-кетлигини шакллантириш ва космик мусор объектларини топиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 23 та халқаро ва республика илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

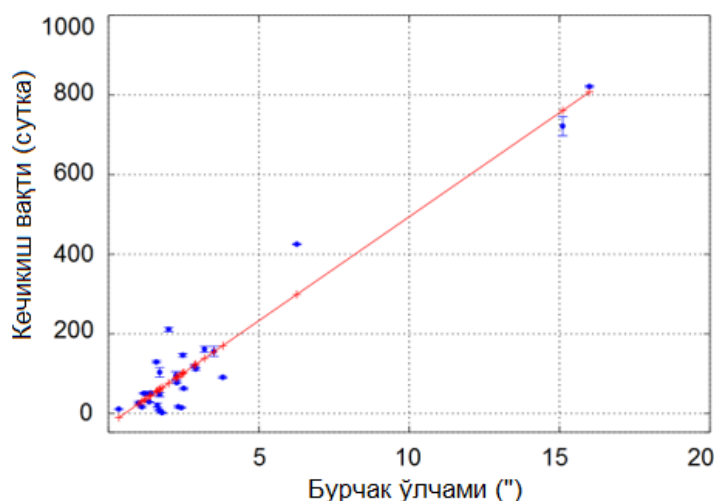
**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 34 та илмий иш нашр қилинган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, шулардан, 6 таси хорижий журналларда нашр қилинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, 5 та боб, хулоса ва адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 188 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **кириш** қисмида тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурлиги асослаб берилган, мақсади ва вазифалари тавсифланган, тадқиқотнинг объекти, предмети ва усуллари кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижалари ва диссертация тузилиши берилган.

Диссертациянинг **“Гравитацион линзаланган квазар (ГЛК)ларда микролинзаланиш ва кечикиш вақтлари”** деб номланган биринчи бобида диссертация мавзуси бўйича ишлар ҳақида умумий маълумотлар берилган, гравитацион линзаланиш ҳодисаси, микролинзаланиш, кечикиш вақти, фойдаланилган қурилма, шу билан бир қаторда, олинган тасвирларнинг кузатув ва фотометрик қайта ишлаш усуллари ёритиб берилган. Биринчи параграфда гравитацион линзаланиш назариясининг асослари ва унинг олдида турган вазифалар келтирилган, микролинзаланиш ҳодисаси ёритиб берилган. Иккинчи параграф ГЛКлардаги кечикиш вақти муаммолари ва уни ҳисоблаш усуллари бағишланган. Ҳозирги кунда ишончли тарзда 150га яқин каррали тасвири ГЛКлар бизга маълум. Улардан фақат 29таси учун кузатувдан кечикиш вақти қиймати маълум. Ушбу объектлар бўйича маълумотлар таҳлили шуни кўрсатдики, кечикиш вақти катталиклари тизимларнинг бурчак ўлчамига чизиқли боғлиқ (1-расм). Кечикиш вақти билан тизимнинг бошқа параметрлари, яъни карралилик ва қизилга силжиш орасида бошқа систематик қонуниятлар топилмаган.



**1-расм.** ГЛКнинг бурчак ўлчами ва уларнинг кечикиш вақтлари орасидаги чизиқли муносабат.

Учинчи параграфда ГЛКлар ПЗС-фотометриясининг кузатув жиҳатлари ёритилади ва тадқиқот объектларининг танланиши асосланади. Ушбу ишнинг мақсади Майданак обсерваториясида қатор ГЛКларнинг оптик кўп рангли кузатувлари ва олинган маълумотларни фотометрик қайта ишлашларни олиб бориш орқали микролинзаланиш ҳодисаси ва кечикиш вақти эффектини ўрганишдан иборат. Бу натижалар бизга қуйидаги

масалаларни ечишда ёрдам беради: кузатув маълумотлари банкини яратиш; кузатилаётган ГЛКлар компонентларини фотометрик қайта ишлаш; микролинзаланиш ҳодисасини аниқлаш ва кечикиш вақтини ҳисоблаш учун ҳосил қилинган равшанлик эгри чизигини таҳлил ва талқин қилиш.

Кузатув объектларини танлаш учун бир неча мезонлар киритилди: кўриниш шарти бўйича  $-10^0 < \delta < +70^0$ ; компонентлар орасидаги масофа  $> 1''$  ва объектлар равшанлиги  $19^m - 20^m$  дан равшанроқ бўлиши керак. Тадқиқ қилаётган объектларимиз ушбу шартларни қаноатлантиради. ГЛКларнинг муваффақиятли кузатуви учун камида учта шарт бажарилиши зарур: а) обсерватория жуда яхши астроиклим даражасига эга бўлиши; б) телескоп етарли даражада катта диаметрли кўзгуга эга бўлиши; в) қурилманинг ёруғликка сезгирлиги сифатли бўлиши керак. Ушбу шартларни Майданак астрофизик обсерваторияси (МАО) ва унинг асосий 1.5-метрли телескопи АЗТ-22 тўлиқ қаноатлантиради. Мазкур телескоп профессионал зарядли алоқа қурилма (ЗАҚ) BroCam (SiTe ST-005A) – қабул қилгич билан қуролланган. Бундан ташқари, ушбу камера Жонсон-Кузинс фотометрик тизимига мос келадиган UVVRI шиша филтрлари тўплами билан жиҳозланган. Бизнинг ишимиз АЗТ-22 телескопи ёрдамида МАОда ГЛКларни муваффақиятли мониторинг кузатувини олиб бориш мумкинлигини исботлайдиган алоҳида ГЛКларнинг аввал бажарилган кузатувларининг ҳақиқий давоми ҳисобланади. Тўртинчи параграфда гравитацион линзаланишнинг космологик татбиқи қаралади. Бешинчи параграфда ГЛК рақамли тасвирларни қайта ишлаш усуллари билан боғлиқ муаммолар муҳокама қилинади.

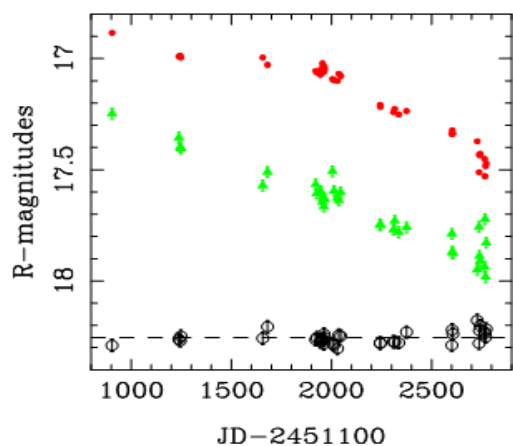
Диссертациянинг иккинчи боби **“Қўшалок ГЛКларда микролинзаланиш ўзгарувчанлиги: қисқа даврли ҳодисаларми ёки узок даврли флуктуацияларми?”** деб номланиб, FBQ0951+2635 ва SBS1520+530 ГЛКларидаги микролинзаланиш тадқиқотига бағишланган, унда қўшалок тизимларда бу жараённинг давомийлиги муаммоси ҳал қилинади. FBQ0951+2635 ГЛК қизилга силжиши  $z_q=1.246$  бўлган иккиланган квазар бўлиб, у  $z_g=0.26$ ли галактика билан линзланади. FBQ0951+2635нинг аввалги оптик тадқиқотлари компонентлар орасидаги кечикиш вақтини ва манбанинг ўзгарувчанлигини ўрганишга имкон берган. Компонентлар орасидаги кечикиш вақти тахминан икки ҳафтага тенг экан ва компонентларнинг вариацияси (ўзгариши) аниқ кўриниб турган. Шу билан бирга, мумкин бўлган микролинзаланиш градиенти  $\sim 0.0001^m/кун$  эканлиги ва амплитудаси  $\sim 0.05^m$  ҳамда характерли вақти бир неча ойга тенг бўлган эҳтимолли ўзгарувчанлик топилди. Ташқи флуктуациялар манба-квазар томонидан бевосита юзага келмай, линза-галактика доирасидаги узлукли объектларнинг микролинзаланишига тааллуқлидир.

Майданакда олинган тасвирларда FBQ 0951 + 2635 ГЛК квазарнинг иккита мавҳум тасвир ҳамда жуда кучсиз линзаловчи галактикадан иборат. Линзаловчи галактика ҳаддан ташқари хира ва R - филтрдаги тасвирларда

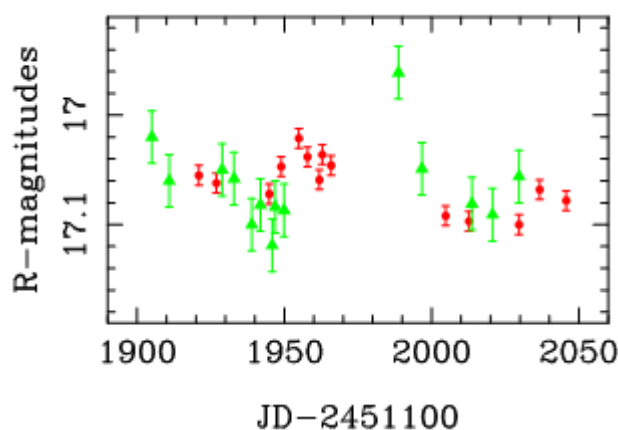
кўринмайди, бу эса фотометрия масаласини анча енгиллаштиради. Шундай қилиб, тизим икки юлдуз шаклида тасвирланган.

Бизнинг 2001 йил апрель ойидан 2006 йил май ойигача бўлган даврда МАО обсерваториясида олиб борган бир текис, узлуксиз кузатув натижалари R-филтридаги 190 та суратдан иборат бўлиб, улар 37 та турли кечаларда олинган. FBQ 0951 + 2635 ГЛК фотометрияси давомида биз ҳар бир тасвир учун алоҳида А, В компонентларнинг, S1 ва S3 юлдузларнинг магнитудаларини, шунингдек,  $m_B - m_A$  айирмаларини олдик. Кейин ҳар бир кузатув кечаси учун ушбу катталиқнинг ўртача қиймати ҳисобланиб, уларга мос ўртача квадратик хатоликлар қўлга киритилди (2-расм).

3-расмда маълум 16 кунлик кечикиш вақтини ҳисобга олган ҳолда ва магнитуда бўйича  $-1.246^m$ га (В ва А эгри чизиқларнинг вақт бўйича силжиганлари орасидаги юлдуз катталиқларининг ўртача фарқи) силжитилган равшанлик эгри чизиқлари кўрсатилган. Кўриб турганимиздек, эгри чизиқлар бир-бири билан яхши мос келади, яъни уларнинг иккаласи бир-бири билан устма-уст тушувчи даврларда мослашади. Шунинг учун биз бу ерда қисқа даврли микролинзаланиш йўқлигини ёки сезилмаслигини таъкидлашимиз мумкин. Оқимлар нисбати кечикиш вақтини ҳисобга олган ҳолда  $A/B = 3.15 \pm 0.05$ га тенг.

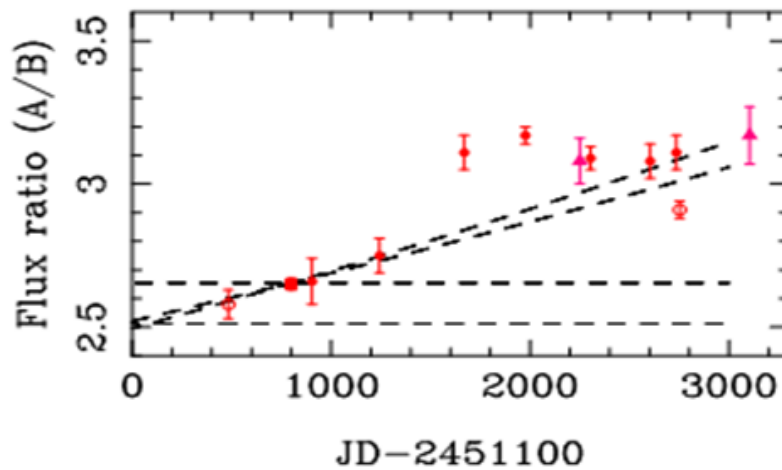


**2-расм.** FBQ 0951+2635нинг равшанлик эгри чизиқлари. Юқоридан пастга – А ва В компонентлари, шунингдек, таянч юлдуз.



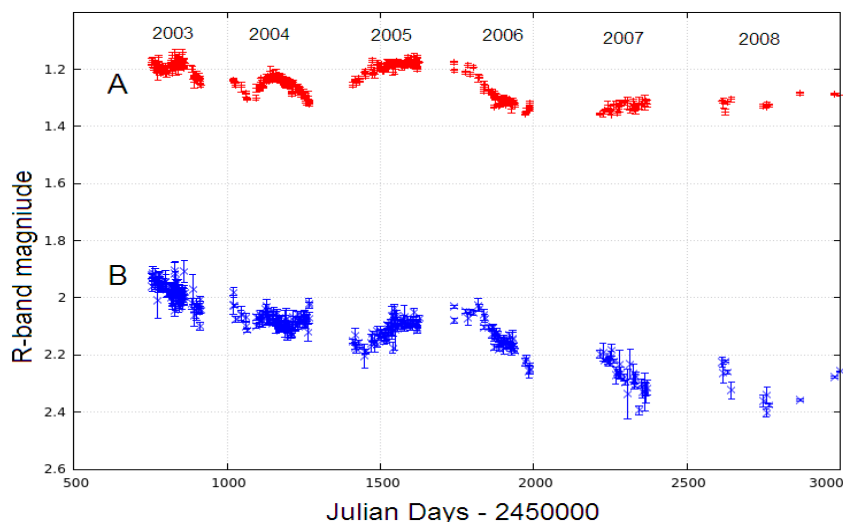
**3-расм.** А компоненти ҳамда равшанлиги бўйича силжиган В нинг равшанлик эгри чизиқлари.

Аввалги таҳлил FBQ0951+2635 объекти оптик диапазонда ташқи ўзгарувчанлик мавжудлигини кўрсатди. Квазарнинг иккала А ва В компоненти галактиканинг икки хил қисмини кесиб ўтади, шунинг учун тарқоқ объектларнинг тақсимооти биттасининг ёки ҳар иккаласининг оқимига таъсир қилиши мумкин, бу эса ташқи ўзгарувчанликка олиб келди. Ушбу микролинзаланиш гипотезаси В компоненти ҳолида кўпроқ эҳтимолга яқин, чунки унинг оқими галактиканинг марказий соҳасини кесиб ўтади.



**4-расм.** Оптик диапазонда FBQ 0951+2635 ГЛК компонентлари орасидаги оқимлар нисбатининг вақт давомида ўзгариши.

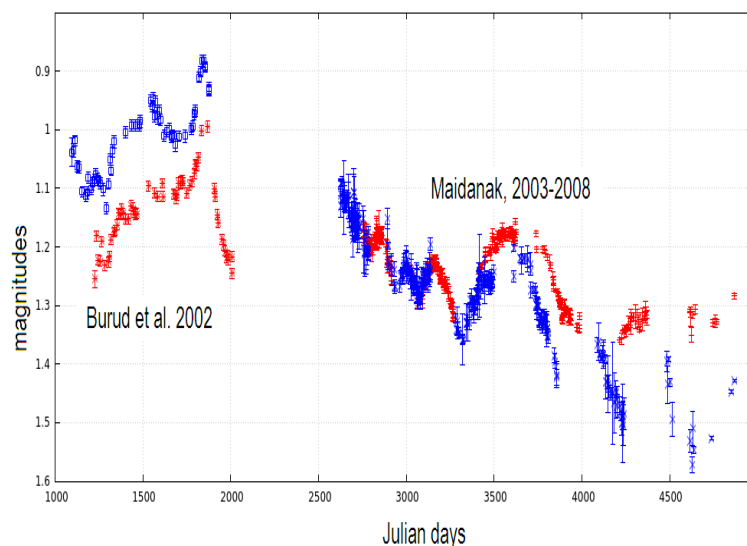
Биз R-филътрадаги маълумотларимизни ва SDSS архивидан олинган r-ва R-соҳалардаги бир нечта кўшимча суратларни таҳлил қилдик. Оқим бўйича тўпланган маълумотлар микро-линзаланишнинг узоқ даврли флукуациясини кўрсатади ва шундай қилиб, узоқ даврли градиентлар, эҳтимол, микролинзаланиш натижасида келиб чиқадиган ўзгаришларда устунлик қилади (4-расм). A/B нисбат 2003-2004 йиллар мобайнида ўсиш суръатларига эга бўлса-да, 2004 йил охиридан бошлаб нисбатан барқарор бўлиб қолмоқда. I филътридаги кўшимча маълумотлар квазистационар ҳолатни тасдиқлайди. Шунингдек, биз SBS 1520+530 иккиланган квазарда микролинзаланишнинг узоқ даврли ўзгаришларини топдик.



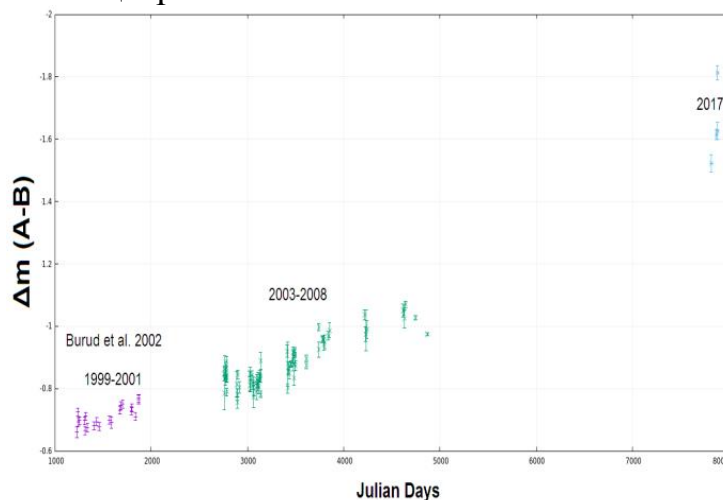
**5-расм.** SBS 1520+530 ГЛКнинг A ва B компонентлари равшанлик эгри чизиқлари.

SBS1520+530 нисбатан хира компакт объект бўлиб, у квазарнинг икки нуқтавий компонентидан ташкил топган. Фотометрия жараёнида биз B компонент яқинидаги линзаловчи галактикага эътибор бермадик, чунки у

жуда хира ва қабул қилувчи қурилмамиз уни қайд қилмади. Натижада биз SBS1520+530 ГЛКнинг А ва В компонентларининг равшанлик эгри чизиқларини қўлга киритдик. Квазарнинг иккала компоненти тахминан 100 кунлик вақт давомида кичик амплитудали  $\Delta m \approx 0.1^m$  ўзгарувчанлик мавжудлигини кўрсатди. Линзаланган тасвирларга тегишли равшанлик эгри чизиқларнинг умумий ўхшашлиги манба-квазар равшанлигининг аста-секин камайиб бориши билан боғлиқ (5-расм). Бу системадаги кечикиш вақти қиймати  $130 \pm 3$  кун деб топилган.



**6-расм.** Кечикиш вақтини ҳисобга олган ҳолда SBS1520+530 ГЛКнинг равшанлик эгри чизиқлари.



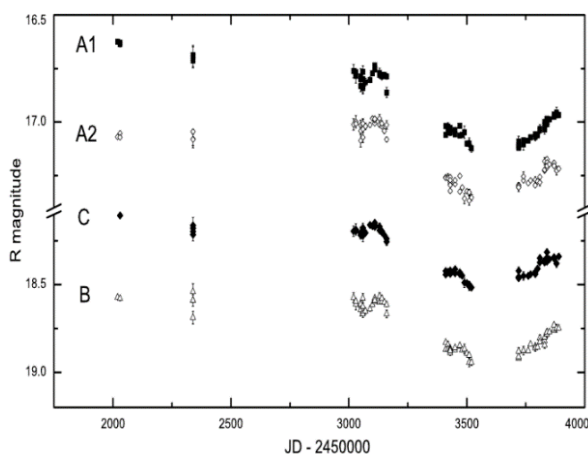
**7-расм.** А ва В компонентларнинг юлдуз катталиги орасидаги фарқ.

6-расмда А ва В компонентларнинг битта графикада равшанлик эгри чизиқлари кўрсатилган, бу ерда В компоненти 130 кун кечикиш вақтининг қиймати қадар чап томонга ва магнитуда бўйича  $-0.83^m$  га юқорига сурилган. Тузилма эгри чизиқ катта бўшлиқларга эга эмас. Графикдан кўриниб турибдики, квазар ҳар бири тахминан 100-500 кун давом этадиган ва равшанликнинг кичик  $\Delta m \approx (0.1-0.2)^m$  вариациясига эга бўлган учта ҳолатни

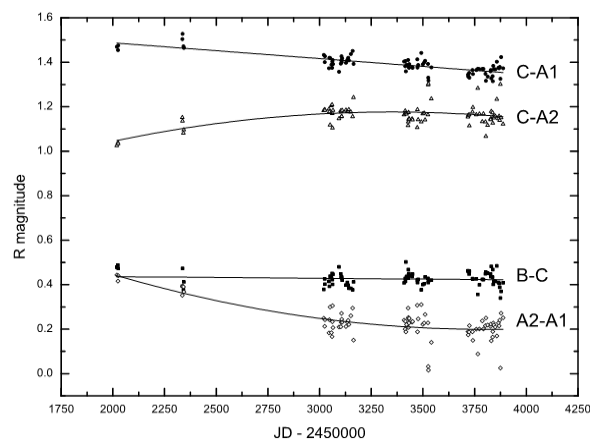
бошдан кечиради. 7-расмда бизнинг кузатув маълумотларимиз олдингиларига жуда мос келиши кўрсатилган ва узок йиллар давомида узлуксиз микролинзаланиш жараёнини кўрсатадиган чизиқли боғланишни кўрсатмоқда.

Диссертациянинг “Тўрткомпонентли линзаланган квазарлар **PG1115+080** ва **V1422+231**: равшанлик эгри чизиқлари ўзгарувчанлиги ва кечикиш вақтлари” деб номланган учинчи боби тўрт компонентли PG1115+080 ва V1422+231 ГЛКларининг тадқиқотига бағишланган. Тўрт компонентли ГЛК ва хусусан, PG1115+080, маълумки, икки компонентлиларга нисбатан, Хаббл доимийси қийматини аниқлаш учун анча қулайдир. Чунки, катта ҳажмдаги кузатув маълумотларини беради ва шунга мос равишда моделлаштиришда физик маъноли чекловларни таъминлайди. Қизилга силжиши  $Z_q=1.722$  бўлган PG1115+080 манба-квазар қизилга силжиши  $Z_g=0.31$  бўлган галактика билан линзаланеди, бунда A1 ва A2 тасвирлари бир-бирига жуда яқин жойлашган. Бу чорак асрдан кўпроқ вақт олдин кашф этилган иккинчи ГЛКдир.

PG1115 + 080 кузатувлари Майданак обсерваториясининг 1.5 м телескопида амалга оширилди. Тасвирлар ҳар кечада R филтрида 2дан 10тагача ва V ҳамда I филтрларида 2дан 6тагача бўлган сураглар тўпламида олинган. Синг "0.75 дан" 1.3" га ўзгариб турган. Фотометрик катталиклар таҳлили ўлчаш хатоларининг сингга кучли боғлиқлигини кўрсатмади, профилнинг ярим кенглиги 1.3" дан ошган сураглар бундан мустасно. Фотометрик қайта ишлашлар орқали биз 8-расмдаги равшанлик эгри чизиқларини чизамиз.



**8-расм.** PG 1115+080 ГЛК компонентларининг равшанлик эгри чизиқлари.



**9-расм.** Бизнинг фотометрия натижаларимиз ёрдамида C-A1, C-A2, B-C ва A2-A1 равшанликлар айирмаларининг вақт давомида ўзгариши.

Ушбу равшанлик эгри чизиқлари асосида биз компонентларнинг учта жуфтлиги орасидаги кечикиш вақтининг  $\Delta t_{BA} = 4.4^{+3.2}_{-2.4}$  кун,  $\Delta t_{AC} = 12.0^{+2.4}_{-2.0}$  кун ва  $\Delta t_{BC} = 16.4^{+3.4}_{-2.4}$  кун қийматларини қўлга киритдик.

Лекин агар бу ерда микролинзаланиш бор бўлса, компонентларнинг ранглари вақт давомида ўзгарадими ва биз илгари топган кечикиш вақти қийматлари Хаббл доимийсини баҳолашда қандай таъсир кўрсатади каби саволлар очиқ қолди.

PG1115+080 да A1+A2 тасвирлари жуфтлиги икки компонентнинг каустик чизиқларига нисбатан симметрик жойлашишидан ташкил топган. Назарий ҳисоб-китобларга кўра, уларнинг оқим нисбатлари 1 га яқин бўлиши керак. 1980-йилдан бошлаб, A2/A1 оқим нисбатларининг (ОН) кўп сонли ўлчашлари турли спектр диапазонларида ва даврларда олиб борилди. A2/A1 ОНнинг кузатувларига кўра, у 0.65-0.85 оралиғида ўзгарганлиги қайд этилди. Қайси компонент микролинзаланганлигини аниқлаш учун биз фақат ўзимизнинг маълумотларимиздан фойдаланганмиз, чунки улар нисбатан бир тжинсли материалдир. Биз A2-A1, C-A1, B-C ва C-A2 компонентлари орасидаги юлдуз катталиклари фарқининг ҳолатини таҳлил қилдик (9-расм). Ушбу 9-расмдан A1 нинг хиралашиши ва A2 нинг равшанлашиши 2001-2006 йиллар даврида бир вақтнинг ўзида содир бўлган деган хулосага келиш мумкин. Бундан ташқари, аввалги йилларда микролинзаланган A1 тасвир, 1992-1995 йиллар мобайнида максимал даражада, 2006 йилда ёки кейинроқ якуний босқичда бўлган деган хулосага келиш мумкин. Юқорида айтилганларни ҳисобга олган ҳолда, 0.3-магнитудали ўзгарувчанликнинг тўлиқ вақти оралиғи ~ 25 йилни ташкил этади. A2 тасвир 2001-2005 йилларда микролинзаланишга эга бўлган. Ушбу даврда A2 нинг равшанлигининг ортиши ~ 0.14<sup>m</sup> га эришган, шу вақтда равшанликнинг бир бутун умумий ортиши бундан ҳам катта бўлиши мумкин.

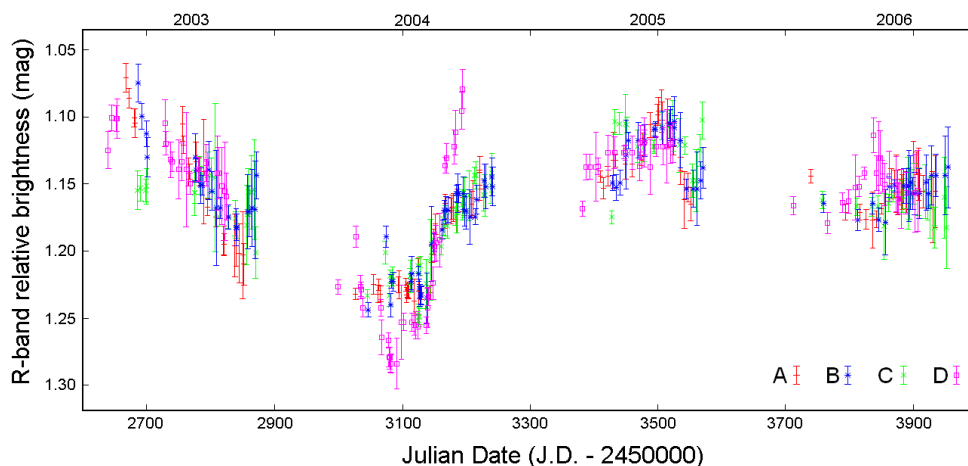
PG1115+117 ГЛКнинг равшанлик эгри чизиғи таҳлили амалга оширилди. Манба-квazarнинг 0.4<sup>m</sup> тартибидаги амплитудага эга бўлган ички ўзгарувчанлиги аниқланди. Компонентлар орасидаги A1/A2 оқим нисбати нафақат вақт давомида, балки фильтр тўлқин узунлигининг катталашини билан ҳам камайиши мумкинлиги кўрсатилган. Бундан ташқари, 2001-2006 йилларда A1 ва A2 тасвирларида микролинзаланиш A1 учун пасаяётган фаза ва A2 учун кўтарилаётган фаза билан топилган.

Компонентларнинг V-I ранг кўрсаткичининг алоҳида R магнитудасига ва алоҳида вақтга боғланишлари топилди. Квazar равшанлиги заифлашган сари компонентларнинг ранги қизилга қараб сурилади. Лекин бу микролинзаланиш билан эмас, балки манба-квazarнинг ички ўзгарувчанлиги билан боғлиқ. В компонент линзаловчи галактикага жуда яқин жойлашган бўлса-да унинг аномал ранги тўқ кўкдир. PG1115+117 ГЛКдаги кечикиш вақти учун аввал биз топган қийматлар ва унинг моделлари асосида Хаббл доимийси қайта баҳоланди. Барча мумкин бўлган қийматларнинг ўртачаси  $H_0 = 66 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$  эканлиги топилди.

Кейин V1422+231, PG1115+080, UM673 ва бошқа гравитацион линзаларнинг V, R ва I филтридаги кузатув маълумотлари қайта ишланди. Тегишли равшанлик эгри чизиқлари ҳосил қилинди. V1422+231 объектидаги манба квazarда равшанликнинг узоқ даврли (6 йилдан ортиқ) ўзгариши

топилди. Равшанлик ўзгариш амплитудаси  $0.25^m$  юлдуз катталиги тартибида. Ушбу ГЛК учта компонентнинг равшанлик эгри чизиқлари манба ўзгарувчанлиги фонида микролинзаланиш ҳам борлигини кўрсатди. Компонентлар ранг кўрсаткичлари вариациялари (ўзгаришлари) ҳам микролинзаланиш таъсирини тасдиқлади.

Диссертациянинг “Фотометрик қайта ишлашнинг янги усули ва Н1413+117 ГЛКнинг равшанлик эгри чизиқлари: кечикиш вақти ва микролинзаланиш эффектлари” деб номланган тўртинчи бобида Н1413+117 (Беда барги) ГЛКнинг тадқиқотлари келтирилган. Биринчи параграфда ушбу объект бўйича ҳозирги ҳолат берилган, у бўйича адабиётлар таҳлили келтирилган ва 2001-2008 йилларда Майданак обсерваториясида олинган кузатув маълумотларининг тавсифлари берилган. Кичик ўлчамли кўп манбаларнинг равшанлигини ўлчаш учун кўплаб усуллар ишлаб чиқилган бўлиб, уларнинг кўпчилиги суратнинг қаралаётган соҳасида ЁНФнинг инвариантлигини талаб қилади. Ушбу аксиома фотометрик усуллар учун баъзи чеклашларни келтириб чиқаради, чунки кузатув шароитлари ва телескопнинг оптик тизими доимо юқорида кўрсатилган принципга мос келмайди. Биз бу соҳада бошқа ёндашувни, яъни ЁНФнинг адаптив мослаштириш усулини қўлладик. Ушбу усулнинг ўзи, итерацион йўл билан линзаланувчи компонентларнинг ЁНФсини уларнинг жойлашган ерининг локал соҳасида аниқлайди ва компонентлар ҳар биридан келаётган умумий оқимни топади. Шу билан бирга, рақамли тасвирларга тегишли хатолик ва шовқинларни ҳисобга олган сунъий тасвирларни моделлаштириш асосида фотометрик ўлчашлар хатолигини баҳолашнинг мустақил усули ҳосил қилинди.



**10-расм.** Кечикиш вақтлари ҳисобга олинган ҳолда Н1413+117 ГЛКнинг А, В, С, D линзаланган компонентларининг R – филтлдаги равшанлик эгри чизиқлари.

Н1413+117 компонентларининг равшанлик эгри чизиқларида ҳам ички ўзгарувчанлик белгилари, ҳам тахминан  $0.15^m$  амплитудали ва  $10^{-3} \text{mag/кун}$  шиддатга эга микролинзаланишнинг кучли таъсири аниқланди. Н1413+117

ГЛК линзаланган компонентлари орасидаги  $\Delta t_{AB} = -17.4 \pm 2.1$  кун,  $\Delta t_{AC} = -18.9 \pm 2.8$  кун ва  $\Delta t_{AD} = 28.8 \pm 0.7$  кунга тенг кечикиш вақтлари қийматлари ҳисобланди (В ва С етакчилар, D - кўринма, 10-расм).

H1413+117даги гравитацион линза учун кўп параметрли модель ишлаб чиқилди. Унда линзаловчи галактика учун сингуляр изотермик эллипсоид модели, йўлдош галактика учун сингуляр изотермик сфераси, бошқа омилларни ҳисобга олишда ташқи силжиш параметри қўлланилди. Шу билан бирга, унинг қизилга силжишнинг эҳтимоли катта бўлган қиймати топилди  $z_l = 1.97_{-0.11}^{+0.07}$ .

Диссертациянинг **“Кенг майдонлар ҳолатлари: КВТ режимидаги ПЗС тасвирларнинг қайта ишлаш усули”** номли бешинчи боби кенг майдонлар ҳолатларига ва КВТ билан интеграллаш режимида ҳосил қилинган тасвирларни қайта ишлаш усуллари бағишланган. Сўнгги ўн йиллар ичида телескоплар, жумладан, оптик диапазондагилар, қурилиш техникаси улкан ривожланишларга эга бўлди. Янги турдаги телескоплар қаторига, акслантириш қобилияти юқори бўлган суюқлик (мисол учун, симоб) билан қопланган ҳажмнинг айланиши ёрдамида юқори аниқликдаги тасвирларни берувчи суюқ кўзгули телескопларни киритиш мумкин.

Ушбу бобда Льеж университетида ишлаб чиқилган 4-m International Liquid Mirror Telescope (ILMT) лойиҳаси доирасида диссертант томонидан ўша даргоҳда қўлга киритилган натижалари берилган. ILMT телескопи осмон тасмаларини зенитда тахминан  $0.5^\circ$  кенглик билан сканерлаш учун мўлжалланган ва Девасталь (Ҳиндистон) обсерваториясида ўрнатилган. Осмон қопламанинг умумий юзаси 140 квадрат градусга тенг. ILMT кечамакча SDSS филтрларида осмоннинг кенг тасвирларини суратга олади. Зенит кузатувларида телескоп кўриш майдони билан кесишувчи объектларни кузатишнинг энг мақбул усули кечикиш вақти ва интеграллаш режими ҳисобланади.

ILMT лойиҳасининг асосий мақсади телескопнинг кўриш майдонидаги осмоннинг тор тасмасига тушадиган барча объектларнинг фотометрик ўзгарувчанлигини ўрганишдир. Шундай қилиб, ушбу телескоп ўзгарувчан объектларни аниқлаш учун ҳамда уларнинг фотометрик мониторинги учун тўғри келади. Телескоп рақамли тасвирлар кўринишида катта ҳажмдаги кузатув маълумотларини беради, тадқиқот мақсадлари эса олинган тасвирларни дарҳол қайта ишлашни ва уларнинг кейинги таҳлилини талаб қилади.

Шу мақсадда ҳамма тасвирлар бўйича осмон фонининг ҳиссасини ҳисоблаш усули ва дастурини ишлаб чиқиш, экваториал координаталар астрометрик калибровкасига ва инструментал юлдуз катталикларининг фотометрик тузатмаларига таъсир қилувчи омилларни ахтариш бўйича бир қатор вазифалар белгиланди. Ушбу муаммоларни ҳал қилиш учун Девасталь обсерваториясидаги 1.3 м телескопида 2013 ва 2014 йилларда олинган маълумотлардан фойдаландик.

Кузатувлар натижасида ўлчами  $30K \times 2K$  пиксел бўлган икки ўлчамли сурат олинади. ЗАҚ-детектор шундай йўналтирилганки, бунда суратдаги координаталар вертикал ўқи экваториал координаталар системасидаги  $\delta$  оғишга, горизонтал ўқи эса  $\alpha$  тўғричиқишга мос келади. Осмон фонининг мураккаблиги бир қатор омилларга боғлиқ. Тасвирнинг мумтоз ҳолатида, осмон фонининг ўртача қиймати суратдан чиқарилади. Бизнинг вазиятимизда бундай ёндашув нотўғри бўлар эди, чунки оддийгина ўртача қийматни олиб ташлаш ҳеч нима бермайди. Ушбу муаммони ҳал қилиш учун биз осмон фонининг локал ўзгаришларини иложи борича аниқроқ ҳисобга олишга имкон берувчи босқичма-босқич алгоритмдан фойдаландик.

Астрометрик калибровкага таъсир этувчи омилларни таҳлил қилиш, биринчи навбатда, пикселларнинг ўзгарувчан бурчак масштабини ва Ернинг прецессиясини ҳисобга олиш зарурлигини кўрсатди. Биринчи устундаги юлдуз вақтини, тасвир ўртасининг оғишини (кузатувнинг географик ўрни), объектларнинг тўғрибурчакли (декарт ситемаси) координаталарини билган ҳолда кузатув давридаги (эпохасидаги) уларнинг экваториал координаталарини топиш мумкин. Ернинг прецессия формуласидан фойдаланиб, 2000 йил эпохаси учун каталог координаталарига ўтиш мумкин. Стандартга нисбатан юлдуз катталикларининг фотометрик тузатмаси умуман олганда оддий, бу ерда чизикли тузатма коэффициенти топилиши керак холос. Бу қиймат танланган таянч фотометрик юлдузларнинг равшанлигини уларнинг инструментал юлдуз катталиклари билан таққослаш орқали топилади.

## ХУЛОСА

“Танланган гравитацион линзаланган квазарларнинг ПЗС-фотометрияси ва кенг майдонлар ҳолатлари” мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Тадқиқот объектларининг мониторинг кузатувлари бажарилди. Танланган икки ва тўрт компонентли объектлар учун ушбу ПЗС-кузатувлари қайта ишланди, V, R ва I филтрларида равшанлик эгри чизиклари ҳосил қилинди ва улар тадқиқ қилинди. Улар шуни кўрсатдики, барча қаралаётган объектларнинг манба-квазарлари ўзларининг равшанлигини узлуксиз равишда ўзгартирган, бунда икки компонентлилар учун ўзгариш чегараси ўртача  $\Delta m \sim 0.5^m$  бўлиб, тўрт компонентлиларда эса  $\Delta m \sim 0.3^m$  ни ташкил қилган, бу эса икки компонентлиларга қараганда сезиларли даражада кичик. Компонентлар равшанлигининг ўзгариши манбанинг ностационарлиги (чақнашлар, аккреция жараёнининг нотекислиги ва бошқалар) ва микролинзаланиш билан боғлиқ.

2. Икки турдаги микролинзаланиш аниқланди: равшанлик ўзгаришининг жадаллигига боғлиқ ҳолда улар ( $\sim 10^{-4}$  m/кунига) фонли ва кучли ( $\sim 10^{-3}$  mag/кунига) бўлиши мумкин, давомийлигига қараб эса узоқ даврли (бир йилдан кўп) ва қисқа даврли (бир йилгача) бўлади. Микролинзаланиш бўйича бизнинг натижаларимиз Х. Виттнинг тўрт

компонентли тизимларда микролинзаланиш ҳар доим мавжуд ва улар умумий табиатга эга деган фаразини тасдиқлайди.

3. SBS1520+530 ГЛКда илк бор, 10 йилдан ортиқ давомийликка эга узоқ муддатли микролинзаланиш эффекти топилди. Бундан ташқари, квазар равшанликнинг даврий кичик амплитудали ўзгаришларини бошдан кечираётгани ҳам аниқланди.

4. FBQ0951+263 ГЛКда илк бор юқоридаги ҳолдаги каби, айнан узун даврли микролинзаланиш қисқа даврлидан устунлик қилиши кўрсатилди. Ушбу тизимда микролинзаланиш 10 йилдан ортиқ вақт мобайнида давом этган ва бу ерда В компонентага микролинзаланиш таъсирининг камайиш жараёни рўй берган.

5. PG1115+080 ГЛКнинг А1, А2, В ва С компонентлари равшанлик эгри чизиқлари компоненталарнинг учта жуфтлиги орасидаги  $\Delta t_{AB} = 4.4^{+3.2}_{-2.4}$  кун,  $\Delta t_{AC} = 12.0^{+2.4}_{-2.0}$  кун ва  $\Delta t_{BC} = 16.4^{+3.4}_{-2.4}$  кунга тенг кечикиш вақтларини ҳисоблаш имконини берди.

6. Манба-квазарнинг  $0.4^m$  тартибидаги амплитудага эга бўлган ички ўзгарувчанлиги аниқланди. Компонентлар орасидаги А1/А2 оқим нисбати нафақат вақт давомида, балки фильтр тўлқин узунлигининг катталашиши билан ҳам камайиши кўрсатилган. Бундан ташқари, 2001-2006 йилларда А1 ва А2 тасвирларида микролинзаланиш А1 учун пасаяётган фаза ва А2 учун кучайиш фаза билан топилган. Компонентларнинг V-I ранг кўрсаткичининг алоҳида R магнитудасига ва алоҳида вақтга боғланишлари топилди. Квазар равшанлиги заифлашган сари компонентларнинг ранги қизилга қараб сурилади.

7. Зич майдонларда нуқтавий тасвирларни фотометрик қайта ишлаш учун НЁФнинг адаптив мослаштириш усули ишлаб чиқилди ва Н1413+117 ГЛК тасвирлари мисолида синаб кўрилди, шу билан бирга, рақамли тасвирларга тегишли хатолик ва шовқинларни ҳисобга олган сунъий тасвирларни моделлаштириш асосида фотометрик ўлчашлар хатолигини баҳолашнинг мустақил усули ҳосил қилинди.

8. Н1413+117 компонентларининг равшанлик эгри чизиқларида ҳам ички ўзгарувчанлик белгилари ҳамда амплитудаси  $\sim 0.15^m$  ва  $10^{-3}$  m/кун шиддатга эга микролинзаланишнинг кучли таъсири аниқланди. Ушбу микролинзаланишга сабабчи жисм массаси учун қуйи чегара қиймати топилди ( $\sim 10 M_{Jup}$ ).

9. Н1413+117 ГЛКнинг линзаланган компоненталари орасидаги  $\Delta t_{AB} = -17.4 \pm 2.1$  кун,  $\Delta t_{AC} = -18.9 \pm 2.8$  кун ва  $\Delta t_{AD} = 28.8 \pm 0.7$  кунга тенг кечикиш вақтлари қийматлари ҳисобланди (В ва С етакчилар, D - кўринма). Кечикиш вақтларини ўлчаш хатоликларини баҳолаш учун синтетик равшанлик эгри чизиқларини ҳосил қилишнинг янги усули таклиф этилди.

10. Кечикиш вақтларини ҳисобга олган ҳолда, Н1413+117 гравитацион линзанинг сингуляр изотермик эллипсоидли ва ташқи

силжитишли модели асосида линзанинг қизилга силжишининг эҳтимоли катта бўлган  $z_l = 1.9_{-0.11}^{+0.07}$  қиймати топилди.

11. Биринчи бор, В1422+231 ГЛК манба-квазарида равшанликнинг узоқ даврли (6 йилдан ортиқ) ва амплитудаси  $0.25^m$  бўлган ўзгариши топилди. Учта компонентларнинг равшанлик эгри чизиқлари микролинзаланиш ҳам борлигини кўрсатди. Компонентлар ранг кўрсаткичлари вариациялари (ўзгаришлари) ҳам буни тасдиқлади. Бу ерда кечикиш вақтининг янги  $\Delta t_{AB} = 2.5 \pm 2.3$  кун,  $\Delta t_{AC} = -7 \pm 1.5$  кун ва  $\Delta t_{AD} = 6 \pm 1.8$  кун (А компонент етакчи) қийматлари таклиф этилди.

12. КВТ режимида олинган тасвирларда осмон фони ташкил этувчисини аниқлаш учун компьютер дастури ишлаб чиқилди. Зенит кузатувларида олинган тасвирларда прецессия эффекти аниқланди. Объектларнинг экваториал координаталарини астрометрик калибровкасида пикселлар бурчак масштабини ҳисобга олиш зарурлиги кўрсатилди. Фотометрик калибровкада стандарт қийматга айлантирилганда чизиқли коэффициент етарли деб топилди.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 ON AWARD OF  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS,  
ASTRONOMICAL INSTITUTE,  
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

---

**NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN  
ASTRONOMICAL INSTITUTE**

**AKHUNOV TALAT**

**CCD-PHOTOMETRY OF SELECTED GRAVITATIONALLY LENSED  
QUASARS AND WIDE FIELD CASES**

**01.03.01- Astronomy**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc)  
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2019**

**The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.4.DSc/FM121.**

Doctoral dissertation was carried out at the Astronomical Institute and National University of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation was posted in three languages (Uzbek, English, Russian (resume)) on the website of the Scientific Council at [www.inp.uz](http://www.inp.uz) and on the website of “Ziyonet” informational and Educational Portal [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Scientific consultant:** **Nuritdinov Salakhutdin Nasritdinovich**  
Doctor of Sciences in physics and mathematics, Professor

**Official opponents:** **Chernin Arthur Davidovich**  
Doctor of Sciences in physics and mathematics, Professor

**Korshunova Nataliya Alexandrovna**  
Doctor of Sciences in physics and mathematics, Professor

**Turakulov Zafar Yalkinovich**  
Doctor of Sciences in physics and mathematics

**Leading organisation:** **Fesenkov Astrophysical Institute**  
Almaty, Kazakhstan

The defense of the dissertation will be held on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 at \_\_\_ at the meeting of the Scientific council No Ds.27.06.2017.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan (Address: INP, Ulughbeg settlement, Tashkent city. tel.: (+99871) 289-31-18; fax: (+99871) 289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

The doctoral (DSc) dissertation can be looked through at the Information Resource Centre of the Institute of Nuclear Physics (registered under No.\_\_\_\_. Address: 100124 INP, Ulughbeg settlement, Tashkent city. tel.: (+99871) 289-31-19

Abstract of dissertation was distributed on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019.  
(Registry record No \_\_\_\_\_ dated “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019).

**M.Yu.Tashmetov**  
Chairman of the Scientific Council on award  
of Scientific degrees, D.Ph.-M.S., Professor

**E.M. Tursunov**  
Scientific secretary of the Scientific Council on award  
of Scientific degrees, D.Ph.-M.S., Senior researcher

**I.Nuritdinov**  
Chairman of the scientific seminar of the  
Scientific Council on award  
of Scientific degrees, D.Ph.-M.S., Professor

## INTRODUCTION (annotation of the doctoral dissertation)

**Topicality and relevance of the theme of the dissertation.** At the present time study of objects associated to the phenomenon of gravitational lensing, and especially gravitationally lensed quasars (GLQ) is one of the most important tasks of the modern observational cosmology. Such objects act as a giant natural telescope, whose resolution far exceeds the capabilities of modern ground-base and space instruments. To solve many problems of GLQ physics, first of all, it is necessary to study the time delays between the images of the lensed quasars and the various microlensing events occurring in them, which can be obtained only by their photometry. Determination of the time delay between the lensed components is directly related to the Hubble constant, the red-shifts of the source and the lens, and the gravitational potential of the latter. Microlensing also allows us to detect massive and invisible in any other cases objects or matter clusters, mainly in the form of compact objects. Hence the relevance of the thesis follows, since the initial stages of the origin of galaxies and the structure of dark matter can be observed in detail only through gravitational lensing.

Recently, in the field of gravitational lensing, a number important discoveries have been made by lead researchers. Particularly, a portion of dark matter in the form of low-mass stars in our Galaxy was identified, one of the smallest extrasolar planets was detected. The most massive large-scale structures in our Universe were detected, a direct empirical proof of the existence of dark matter was found. The measurements of the Hubble constant have been made. The most distant quasars with red-shift  $z > 7$  were found, more than 150 GLQ were revealed on the base of observations.

In our Republic, great attention is also paid to the observational and theoretical aspects of the study of gravitational lensing. The directions of these fundamental studies, which have a great importance for the development of science in our country, are related to the Strategy of Actions for the further development of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021. Thus, in the Maidanak Observatory active monitoring observations of promising GLQ are carried out during last 20 years, a huge unique observational material on the basis of long-term homogeneous monitoring has been accumulated, the analysis of the light curves of the lensed images of a number of GLQ has been carried out, the exact expressions for deflection angle of light rays due to weak lensing around a black hole has been obtained. However, at the same time there are some unsolved issues, in particular, still unknown acceptable values of the amplitude and duration of the variability caused by microlensing in the objects of study of the thesis, unknown nature of the microlensing, sometimes there is even uncertainty in determination the red-shift of the lensing bodies, the cases of images of wide fields still has not been studied.

This dissertation work, to a certain extent, serves as an implementation of tasks in accordance with state normative documents, Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan #PF-4947 "On the Strategy for the further development of the Republic of Uzbekistan" dated February 7, 2017, as well as the "Road map

of the main directions of structural reforms in Uzbekistan for 2019-2021", published by the government of the Republic of Uzbekistan on November 29, 2018.

**Conformity of the research to the main priorities of science and technology development of the Republic.** The dissertation research has been carried out in accordance with the priority areas of science and technology in the Republic of Uzbekistan: II. "Power, energy and resource saving".

**Review of international scientific researches on dissertation subject.** The study of the phenomenon of gravitational lensing in general and the lensed quasars in particular, their detection, observations in different pass bands of electromagnetic radiation, processing of observational data and their interpretation has been carrying out in the leading research centers and universities, such as: The Sternberg Astronomical Institute (Russia), Astronomical Calculation Institute and Center of Astronomy of the University of Heidelberg, Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam, The Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (Germany), Laboratory of Astrophysics, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, The International Space Science Institute (Switzerland), The Institute for Computational Cosmology at Durham University, The Institute of Astronomy at Cambridge University (UK), The Warsaw University Observatory (Poland), Institute for Space Research (Netherlands), Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Astronomical Institute of the Kharkiv National University (Ukraine), The Institute of Astrophysics and Geophysics of University of Liege (Belgium), Research Center for the Early Universe, Department of Physics, University of Tokyo, Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan (Japan), Department of modern physics at the University of Cantabria (Spain), Space Telescope Science Institute (USA), Ulugh Beg Astronomical Institute, National University of Uzbekistan (Uzbekistan).

On the study of gravitationally lensed quasars at the world level a number of scientific results have been obtained, including: the proportion of dark matter in the form of low-mass stars in our Galaxy was determined through observations of stars in the Magellanic Clouds, microlensing analysis detected one of the smallest known exoplanets, which suggests that cool, sub-Neptune-mass planets may be more common than gas giant planets (Center for Particle Astrophysics, University of California, Institut d'Astrophysique de Paris). Statistical analysis of the ellipticity of galaxies over large areas revealed massive large-scale structures in the Universe, Hubble telescope observations of two merging clusters and gravitational lensing maps allowed to find direct empirical proof of the existence of dark matter (The Canadian Institute for Theoretical Astrophysics; Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology). Several unique programs for the systematic detecting of gravitational lenses have been developed, the list of candidates and observationally confirmed GLQ is continuously updated by results of spectroscopic and optical observations (Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan; Institute of Astronomy, University of Cambridge;

Argelander-Institut für Astronomie, Universität Bonn). A large array of observational data was obtained during the COSMOGRAIL program and an effective photometric programs for image reconstruction were developed (Laboratoire d'Astrophysique, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Institut d'Astrophysique et de Géophysique, Université de Liège, Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan (UBAI)). Independent photometric methods and computer programs have been developed (Sternberg Astronomical Institute; Astronomical Institute of the Kharkiv National University).

Currently, theoretical and observational studies of gravitationally lensed quasars in the world have been carried out in a number of priority areas, including: search for new GLQ based on statistical, spectral and photometric analysis of GAIA, SDSS and other databases; detecting of microlensing events, calculation of the time delay values and calculation of the Hubble constant; testing of models of the Universe and its large-scale units; measurement of the mass of galaxy clusters; solving the problems of ambiguity in gravitational lens models and influence of source position transformation on time delays at the University of Chicago (USA), Max-Planck-Institute für Astrophysik (Garching, Germany), Early Universe Research Center (Tokyo, Japan).

**Degree of studiedness of the problem.** Currently a number of scientists from leading scientific centers around the world, such as Bikmaev I., Sakhbullin N. (Russia), Shalyapin V., Zheleznyak A., Sergeev A. (Ukraine), Burud I., Cohen J., Schechter P., Beuzit J.-L., Kochanek C. (USA), P. Magain, Sluse D. (Belgium), Courbin F., Dye S., Meylan G. (Switzerland), Jacobson P., Hjorth J. (Denmark) have carried out a complex search on monitoring observations of the new gravitational lensed quasars, the photometric study of double GLQ SBS1520+530 and FBQ0951+2635, study of the lensing properties of galaxies and modeling of these systems, calculation of time delay as well as detection of the microlensing. However, for these GLQ long-term optical observations have not yet been carried out, and accordingly the phenomena of microlensing on a large time interval have not been studied, neither their amplitude nor duration have been known.

The determination of the X-ray flux of galaxy clusters in the direction of quadrupole component GLQs PG1115+080 and B1422+231, their infrared observations and the allocation of substructures of lensing galaxies, the determination of their red-shift, the analysis of emission properties in the spectrum of the GLQ H1413+117, the construction of models of all these systems have been provided by many scientists, such as Grant C., Bautz M., Chartas G., Garmire G., Tonry J., Eracleous M., Dai X., Agol E., Gallagher S. (USA), Chiba M., Minezaki T., Kashikawa N., Kataza H. (Japan), Hutsemekers D., B. Borguet (Belgium) and others. However, despite this efforts, long-term optical observations of these GLQ were not carried out, the time delays and the nature of microlensing were not fully determined. The problem of the red-shift of the lensing body in H1413+117 remained open, and B1422+231 was studied even less, since there were not even seasonal observations yet.

The processing of digital images of wide fields from zenith observations in time-delay integration (TDI) mode is generally of a pioneering nature. The idea of building a zenith telescope with a liquid mirror was proposed by Canadian scientists (Borra E., Hickson P., Cabanac R., Content R., Gibson B.), and the implementation of this project in practice was carried out by the Belgian (Surdej J., Swings J.-P., DeBecker M., Delchambre L., Finet F.), Indian (Kumar B., Pradhan B., Sagar R., Pandey K., Anupama G.) and Polish (Bartczak P.) astronomers. But in their analysis of wide fields images work were not fully touched upon, it was not clear what factors will affect the astrometric and photometric calibration of observational data.

**Connection of the topic of the dissertation to the scientific works of higher educational and research institutions, where the dissertation is carried out.** The thesis was carried out at the Astronomical Institute of Academy of Sciences of Uzbekistan and the National University Uzbekistan within the scientific research projects for 2008-2018: F-F2-F058+061 "Study of gravitational lenses, forming galaxies and generalized models of astrophysical objects" (2007-2011), FA-EOF2-F03 "Development of photometric program for digital astronomical images and analysis of the effects of General relativity in the gravitational lensing" (2010-2011), F2-FA-F029 "Physics of the gravitational lenses, compact astrophysical objects and non-stationary disk systems" (2012-2016), VA-FA-F2-007 - "Investigation of the lensing effects of the selected galaxies-quasar in the optical band" (2017-2018).

**The aim of the research** is to study the physics of phenomena of formation of microlensing and the effect of delay time via CCD photometry of selected double and quadrupole gravitationally lensed quasars, as well as the development of algorithms for processing of the digital wide fields images.

The following **tasks of the research** were formulated to achieve this aims:

to develop the method for photometry of point sources in dense fields;

to determine the time of delays between the lensed components of the studied GLQ and dependences in the systems parameters;

to calculate the red-shift for the lens in the H1413+117;

to allocate an internal variability of the quasars-sources from microlensing events, identifying their mechanisms, clarification of the duration of the microlensing;

to determine microlensing types depending on their rate and duration, calculation of the lower limit of the mass for microlenses;

to develop the methods and algorithms for processing of digital images in TDI mode, analysis of factors affecting to the accuracy of photometric and astrometric measurements.

**The objects of the research** are gravitationally lensed quasars: SBS1520+530, FBQ0951+560, PG1115+080, H1413+117 and B1422+261.

**The subjects of the research** are observational data in the form of CCD images, light curves of the lensed components of the objects of the study, as well as images obtained in the time delay integration mode.

**The methods of the research.** Well-known methods of processing of the digital astronomical images, methods of analysis of time series, minimization methods, methods of constructing of models of gravitationally lensed systems were used.

**The scientific novelty of the research** are as follows:

two types of microlensing were determined in the double GLQs FBQ 0951+2635 and SBS1520+530: depending on the rate of brightness variation they can be background and strong, and depending on the duration they are: long-term or short-term;

for selected GLQs the light curves were plotted and new time values in three quadrupole GLQ PG1115+080, H1413+117, B1422+231 were determined;

it was found that flux ratio  $A_1/A_2$  in GLQ PG1115+080 varies not only in time, but also depends on the wavelength of the filter and the color index ( $V-I$ ) of the lensed components versus brightness and time was found;

a strong microlensing in GLQ H413+117 is found and the lower limit for the mass of the body responsible for this microlensing was assessed as well as the new model with a singular isothermal ellipsoid for the gravitational lens is proposed, and the value of its red-shift has been specified;

the method and algorithm of computer processing of wide fields images have been developed, and also the effect of precession in the images obtained at zenithal observations in the TDI mode was found.

**Practical results** of the research are as follows:

there was shown the value of the time delay depends linearly on the angular size of the GLQ system – the maximum distance between the lensed components;

the mechanisms of microlensing in the objects of research are revealed and their classes are determined: the effect of long-term microlensing in the double GLQ SBS1520+530 and FBQ0951+2635 was detected, which lasting more than 10 years and it is shown long time-scale fluctuations dominate over the short-term microlensing events;

a new method for photometric processing of the point images in dense fields was developed;

the independent method of estimation of the error-bars of the photometric and time delay measurements has been obtained;

the light curves in GLQ B1422+231 were obtained for the first time, which allowed to find a long-term (more than 6 years) brightness variability of the source-quasar and the effect of microlensing;

detected microlensing events support the hypothesis about the general nature of quadrupole systems and the inevitability of micro-lensing events in them;

the algorithm of the processing of wide-field images is used for treatment of an images obtained from meridian observations;

the new method for generation of synthetic light curves was proposed.

**The reliability of the results** of the study is proved by using modern and well-known methods of photometric processing of CCD images, time series analysis,

calculation of time delays, determination of microlensing events, modeling of gravitationally lensed systems.

**Scientific and practical significance of the research results.** The scientific importance of the research results is determined, first of all, by the obtained observational data of the studied GLQ, which significantly supplemented the existing knowledge about them became the basis for their further replenishment and detailed study of other GLQ.

The practical significance of the research results lies in the fact that the proposed photometric method of adaptive fitting of the point scattering function (PSF) will help to save observational time on telescopes, since it can work even with defocused images of point sources. The values of delay time for three GLQ found by us will facilitate further detection of microlensing in these systems. The method and algorithm for processing of wide field images in TDI mode which we have developed used in the framework of the 4-m ILMT project. The results are included in the special master's courses of the Astronomical Department of NUUz: "Quasars and active galaxies", "Problems of cosmogony" for bachelor's degree and "Physics of gravitational lensing", "Processing of astronomical images" of the master's degree.

**Application of the research results.** Based on the study of the physics of microlensing phenomena and the effect of time delay in the selected double and quadrupole gravitationally lensed quasars, as well as the development of algorithms for processing wide-field images:

the results obtained during study of the nature and duration of microlensing in FBQ 0951+2635 and SBS1520+530 have been used by researchers (references in the scientific journals *Astronomy & Astrophysics*, 2018, 2012; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2013; *Astronomy & Astrophysics*, 2012; *Astrophysics & Supplement Series*, 2011; *Astrophysics Journal*, 2010) in the model analysis of strong gravitational lenses and in the calculation of cosmological parameters in the framework of the GLENDAMA project. The obtained results allowed to get an extensive database of lensed quasars and to determine the long-term microlensing events in the other double GLQ;

the new values of time delays between lensed components in the GLQ PG 1115+080, obtained during monitoring in Maidanak Observatory used in the peer-reviewed journals (references in the *Astronomy & Astrophysics*, 2018, 2013; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2016; *The Astrophysics Journal Supplement Series*, 2015; *Astronomical Reports*, 2015) in re-computing the time delay in this system and the development of a new method of calculation of this quantity in the presence of microlensing. The obtained results allowed to study the structure of the environment around the lenses in sight-of-line and to better understand the effect of large-scale structure on the lens statistics and their parameters;

our analysis of brightness variations of lensed images in the GLQ PG 1115+080 and discovery of microlensing in bright component A1/A2 are used in the peer-reviewed journals (references in the *Monthly Notices of the Royal*

Astronomical Society, 2016, 2018; Astronomy & Astrophysics, 2015, 2018; The Astrophysics Journal, 2016; Astronomical Reports, 2015) in the analysis of the microlensing effect and the development of a new method that using time delay values models microlensing maps. The obtained results allowed to re-estimate the Hubble constant value, as well as to develop a new method of statistical analysis of the light curves of distant sources perturbed by microlensing by point and extended masses;

The results of our researches of brightness variations in the lensed components of GLQH1413+117, time delay values, determination of strong microlensing events, calculation of red-shift of lensing body in this system used in the peer-reviewed journals (references in the Astronomy & Astrophysics, 2018; Astronomy & Astrophysics, 2018; 2018arXiv181002624W; Nature, 2018) in estimation of ambiguities in models of gravitational lenses and impact on time delays of the source position transformation, the spectroscopic proof of discovery of new gravitational lens system GRAL113100-441959 and the model prediction of the time delay. Our data were also included in a new database of optically bright lensed quasars in the northern hemisphere, and were used in the analysis of the current state of astronomy in Uzbekistan.

The methods and algorithms developed by us for wide-field images processing are used in the framework of the international observation project 4-m ILMT (letter from Liege University dated January 15, 2019). The obtained results allowed to form a sequence of programs for processing images of wide fields and to find new objects of space debris.

**Approbation of the research results.** The research results were reported in the form of reports and tested in 5 International and 11 Regional scientific and practical conferences.

**Publication of the research results.** The main results of the thesis are published in 11 scientific papers in the peer-reviewed journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of doctoral thesis and 23 abstracts in the proceedings of international and regional conferences.

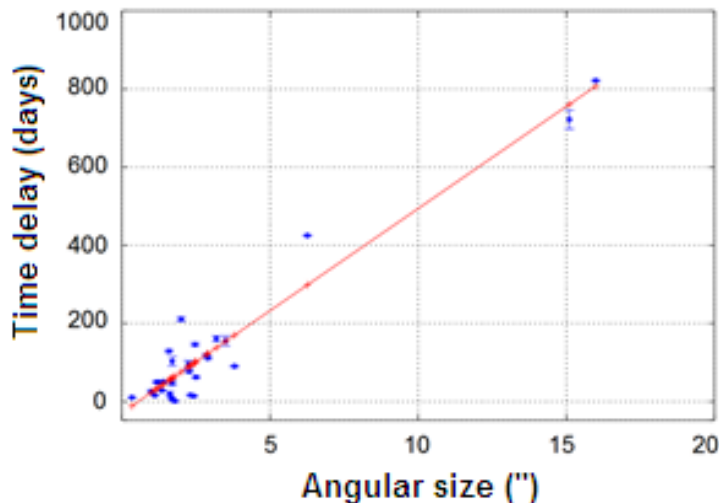
**Volume and structure of the dissertation.** The thesis consists of an Introduction, five chapters, conclusion and a list of 281 references. The thesis is presented in 188 pages.

## THE MAIN CONTENT OF THE DISSERTATION

In the **Introduction** of the thesis substantiated the topicality and relevance of the theme of the work, formulated the aim and tasks, identified the object, subject and methods of research, determined conformity of the research to the main priorities of science and technology development in the Republic of Uzbekistan, set out the scientific novelty of the study, justified the reliability of the results,

disclosed the scientific and practical significance of the research results, provided a brief of the implementation of the results and approbation of the work, as well as the structure of the thesis.

The first chapter “**Microensing and time delays in gravitationally lensed quasars (GLQ)**” provides an overview of works on the topic of the thesis, which describe the phenomena of gravitational lensing, microlensing, time delay, the used equipment, as well as methods of observation and photometric processing of the images. The first section presents the basics of the theory of gravitational lensing and its challenges, describes the phenomenon of microlensing. The second section is devoted to the problems of time delay in GLQ and methods of its calculation. Currently, there are about 150 well-established GLQ with multiple images. And only for 29 of them observational values of the time delays are known. Analysis of data on these objects showed that the time delay values linearly depends on the angular size of the systems (Fig.1) There were no other systematic patterns of time delay versus other system parameters such as multiplicity or red-shift.



**Fig.1.** Linear dependence between the angular sizes of GLQ and their time delays.

The third section describes the observational aspects of CCD photometry of GLQ and justifies the choice of objects of the research. The main task of this work is to study the phenomenon of microlensing and the effect of delay time by using optical multi-color observations of a number of GLQs at the Maidanak Observatory and photometric processing of the data. These results will help us to solve the following tasks: to form observational data bank of photometric processing of the lensed components of observed GLQ, analysis and interpretation of the obtained light curves to measure the delay time and identify the phenomenon of microlensing.

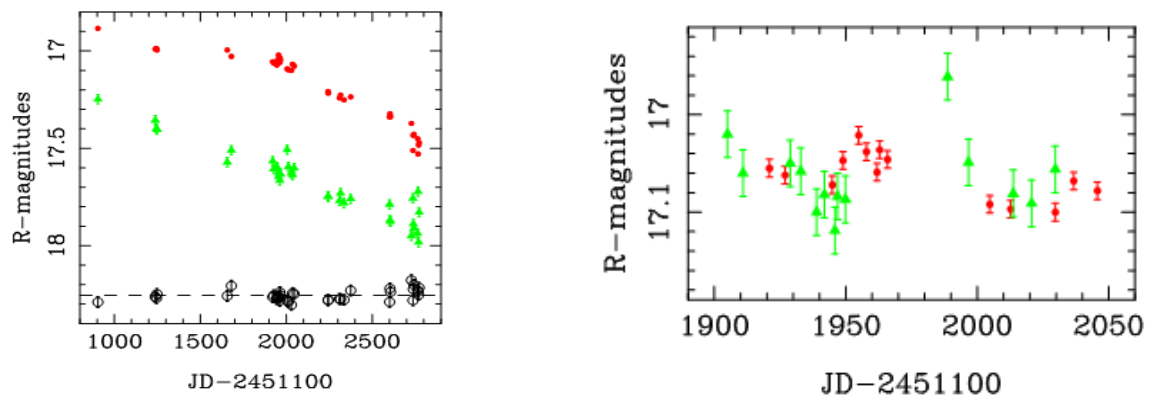
Several criteria were introduced for the selection of objects for observation – by the condition of visibility the declination of the objects should be  $-10^\circ < \delta < +70^\circ$ ; the distance between the lensed components should be  $> 1''$  and the brightness of objects should no be more than 19 –20 mag. The objects we study are fully consistent to its criteria. For the successful observation of GLQ, it is necessary to fulfill at least three conditions: a) an observatory with good

astroclimatic conditions; b) a telescope with a sufficiently large mirror; c) a high-quality CCD detector. The Maidanak Astrophysical Observatory (MAO) and its main 1.5-m. telescope AZT-22 completely meets the requirements. This telescope is equipped with a sensitive CCD detector BroCam (SITE ST-005A). In addition, this camera is equipped with a set of optic filters UBVRI nearly matching the photometric system Johnson-Cousins. Our work is a natural continuation of the earlier observations of individual GLQ, which proved that in MAO, on the telescope AZT-22, can be successfully carried out monitoring observations of gravitationally lensed quasars. The fourth section deals with the cosmological application of gravitational lensing. The fifth section discusses the problems associated with the methods of processing of digital images of GLQ.

In the second Chapter “**Microensing variability in double GLQ: short-time-scale events or a long-time-scale fluctuation?**” the study results of microensing in GLQ FBQ0951+2635 and SBS1520+530 is given and the problem of the duration of this events in double systems is solved. GLQ FBQ 0951+2635 is a double quasar with red-shift  $z_q=1.246$ , which is lensed by a galaxy with  $z_g=0.26$ . Previous optical studies of FBQ0951+2635 allowed to study the time delay between the components and the source variability. The time delay is approximately two weeks and the brightness variations of the components were clearly visible. At the same time, a possible gradient of microensing  $\sim 0.0001$  mag/day and a probable variability with a characteristic time of several months with an amplitude of  $\sim 0.05$  mag were found. External fluctuations, not generated directly by the quasar source are attributed to microensing by disparate objects within the lens galaxy.

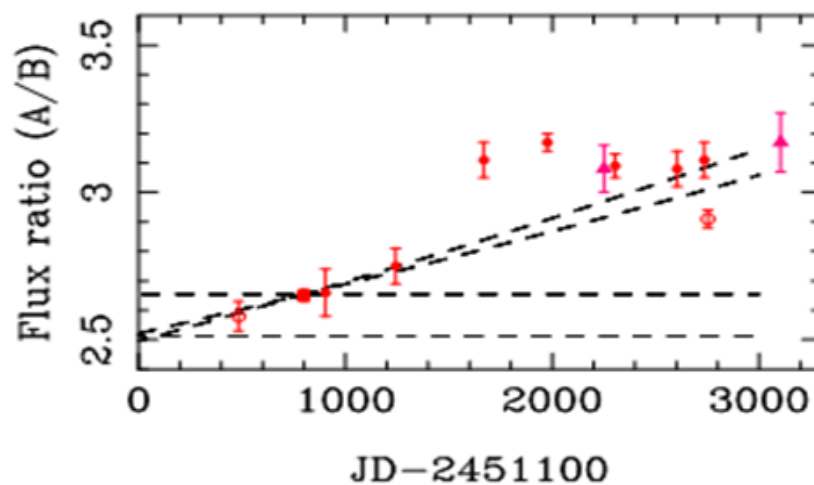
The GLQ FBQ 0951+2635 on Maidanak images consists of two virtual quasar images (separate of 1."1) and a very weak lensing galaxy at angular distance of 0."2 from the weakest component. The lensing galaxy is too weak and does not appear in the images in the R-filter, which greatly simplifies the task of the photometry. Thus, the system was described by two star-like profiles.

The homogeneous monitoring observations were carried out by us at the MAO from April 2001 to May 2006. The data set consist of 190 frames in the R filter, obtained over 37 different nights. In the photometry of GLQ FBQ 0951+2635 we obtained instrumental magnitudes for each frame separately for the lensed components A and B, stars S1 and S3, as well as the difference  $m_B - m_A$ .



**Fig. 2** Light curves of GLQ FBQ 0951+2635. From top to bottom - components A and B, as well as the reference star. **Fig. 3** Light curves of the components A and B, shifted by time and magnitude.

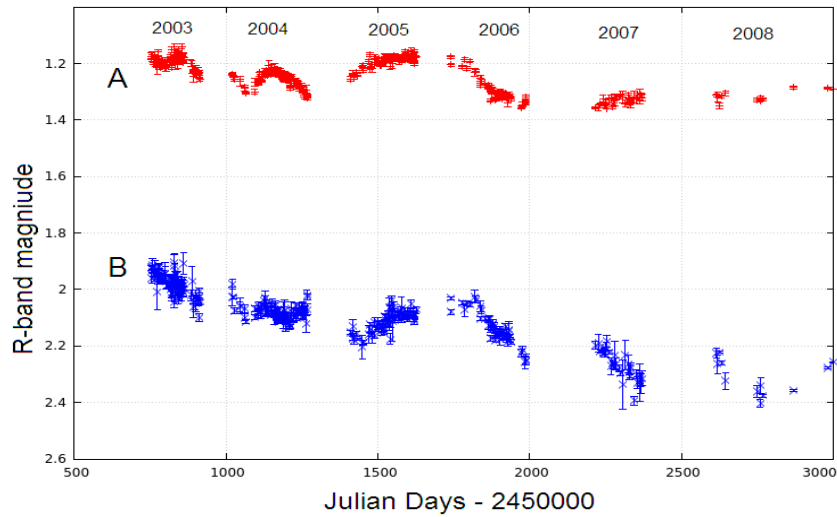
Then they were averaged for each observational night and mean square errors were obtained (Fig.2) Fig.3 shows the light curves with taking into account known time delay of 16 days and shifted in magnitude by -1.246 mag (the average difference between the magnitudes of the time-shifted curve B and curve A). It is seen that the curves agree well with each other, that is, they are both compatible with each other in overlapping periods. Therefore, we can state that short-term microlensing is absent or elusive. The flux ratio regard to the time delay is  $A/B = 3.15 \pm 0.05$ .



**Fig.4** Variation of the flux ratio between components of the GLQ FBQ 0951+2635 versus time in the optic band.

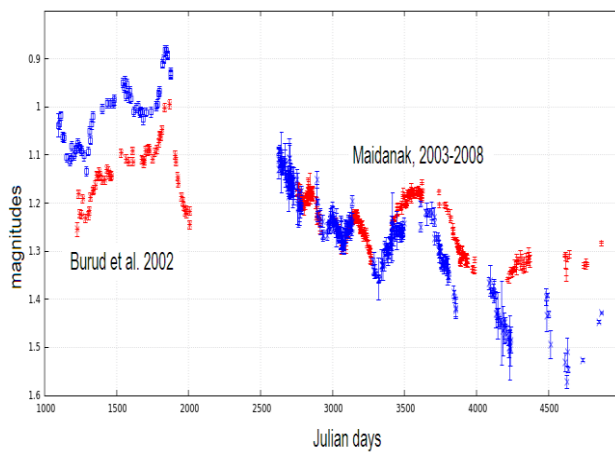
Previous analysis showed the existence of external variability in the optical band in FBQ0951 + 2635. The two components of the quasar (A and B) intersect two different regions of the lensing galaxy, so that the distribution of scattered objects could affect one (or both) of the flow, which then led to external variability. This microlensing hypothesis is more likely in the case of component B because its flux crosses the central region of the galaxy.

We analyzed our data in the R-filter and several additional frames in the r - and R-bands from the SDSS archive. The accumulated data relative to the A/B flux ratio show a long-term fluctuation of microlensing, and thus, long-period gradients are likely dominate in the variability caused by the microlensing (Fig.4). Although A/B shows a surge between 2003 and 2004, it has remained relatively constant since the end of 2004. The quasi-stationary behavior is confirmed by additional data in the i-filter. We also found long-term microlensing variations in the double quasar SBS 1520+530.

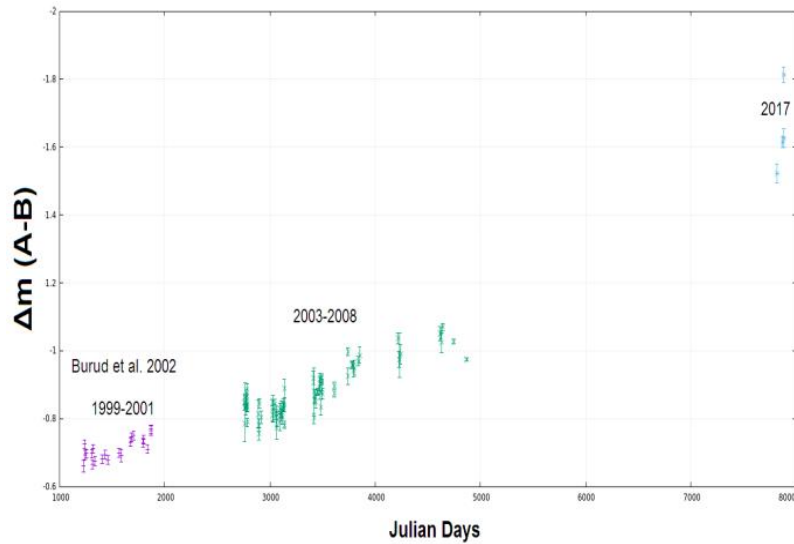


**Fig.5** Light curves of the A and B components in the GLQSBS 1520+530.

This quasar is a relatively faint compact object consisting of two quasar components that can be considered as point-sources. In the course of photometry we ignored the presence of the lensing galaxy about the B component, as it is too faint and is not detected by our CCD camera. As a result, we obtained the light curves for A and B components in the GLQ SBS1520+530. Both components of the quasar show a low-amplitude variability of  $\Delta m \approx 0.1$  mag during a time of about 100 days. The general similarity of the brightness curves of both quasar images occurs due to a gradual decrease in the brightness of the lensed quasar (Fig.5). The delay time value in this system was found to be  $130 \pm 3$  days.



**Fig.6** Time delay shifted light curves of the GLQ SBS1520+530.



**Fig.7** Magnitude difference between F and B components.

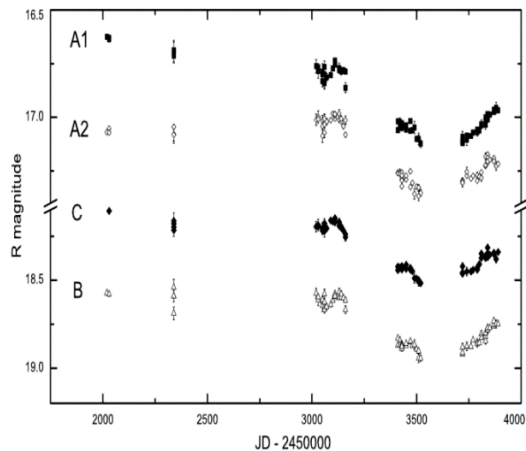
In Fig. 6 the light curves of the components A and B are shown, there B is shifted to the left by the time delay of 130 days and up by the magnitude of -0.83 mag. The composite light curve does not have large gaps. From the light curves in Fig.6 it can be seen that the quasar continuously reduces its brightness, but at times undergoes a series of brightness variations with  $\Delta m \approx (0.1-0.2)$  mag, each of which lasts about 100-500 days. In Fig. 7 the magnitude difference between the component (A-B), which confirms our observations are consistent with the previous ones and show a linear trend. This indicates a continuous process of microlensing during all observation seasons.

The third Chapter "**Qadрупole lensed quasars PG 1115+080 and B 1422+231: variations of the light curves and time delays values**" is devoted to the study of qadрупole GLQs PG1115+080 and B1422+231. GLQ with four components, and in particular PG 1115+080, are known to be better suited for determination of the Hubble constant value compared to double ones, since the former one provide more observational information and, accordingly, physically meaningful limitations in the modeling. The source in the PG1115+080 is a quasar with  $z_q=1.722$  lensed by a galaxy with  $z_g=0.31$ , and the images A1 and A2 are very close to each other. This is the second GLQ discovered more than a quarter of a century ago.

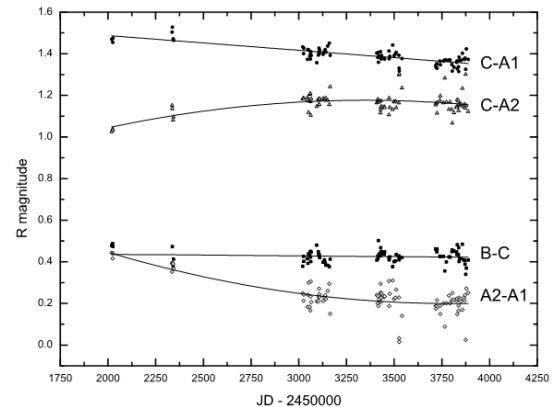
Observations of PG1115+080 were carried out at the 1.5-m telescope of Maidanak Observatory. The images were obtained in series from 2 to 10 frames per night in the R-filter and from 2 to 6 frames in the V and I-filters. Seeing varied from 0.75"to 1.3". The analysis of photometric results did not show a strong dependence of photometric errors versus the seeing, excluding those frames where half-width of the profiles exceeded 1.3". Photometric processing gave us the light curves in Fig.8.

On the basis of these curves we could obtain the time delay values between three pairs of components:  $\Delta t_{BA} = 4.4^{+3.2}_{-2.4}$  days,  $\Delta t_{AC} = 12.0^{+2.4}_{-2.0}$  days  $\Delta t_{BC} = 16.4^{+3.4}_{-2.4}$  days.

However, some questions remained open such as if there is microlensing here, whether the colors of the components vary in time and how the time delay values which we found earlier affect the estimation of the Hubble constant.



**Fig. 8** The light curves of the components of the GLQ PG 1115+080.



**Fig. 9** The behavior of the magnitude differences C-A1, C-A2, B-C and A2-A1 in time from the results of our photometry.

The image pair A1+A2 in PG1115+080 consists of two components symmetrically positioned relative to the caustic curves. According to theoretical calculations, the ratio of their fluxes should be close to 1. Since 1980, numerous measurements of the flux ratio A2/A1 have been carried out in different spectral bands and epochs. It was noted that, according to the observations the flux ratio A2/A1 was varying in the range of 0.65-0.85. To determine which component was microlensed exactly, we used only our own data, as they are a relatively homogeneous material. We analyzed the behavior of the magnitude difference between pairs of components A2-A1, C-A1, B-C and C-A2 (Fig.9). From the Fig.9 we can conclude that a decay of A1 and brightening of A2 took place simultaneously in PG 1115+080 during 2001–2006. We may also conclude that it is the A1 image which has been microlensed in the previous years, with the maximum of about 1992–1995, and the final phase in 2006 or, perhaps, later. Taking into account the above, it turns out that the total time-scale of 0.3-magnitude variability is about 25 years. The image A2 underwent microlensing, too. The increase of brightness of the A2 in this period reached  $\sim 0.14$  mag, while the total brightening in the whole event may be larger.

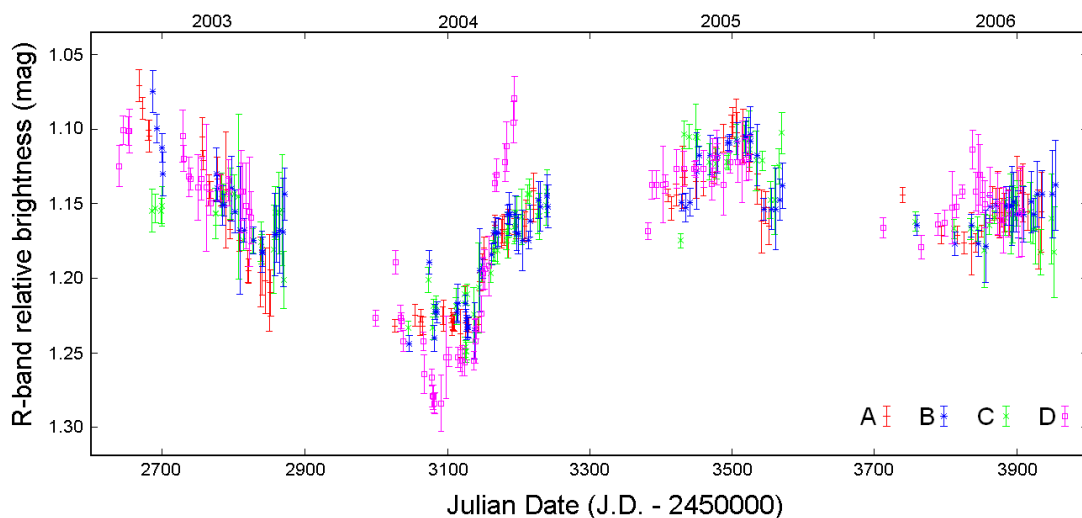
The analysis of the light curves of the GLQ PG1115+080 was carried out. The quasar-source internal variability with an amplitude of about 0.4-mag is found. It is shown that the flux ratio between components A1/A2 varies not only in time, but can also decrease as the filter wavelength increases. Also the microlensing in the images A1 and A2 in the period 2001-2006 has been discovered, with the descending phase A1 and phase A2 of ascent.

The dependence of the color index (V-I) for components separately versus the R magnitude and versus time is found. As the brightness of the quasar

decreases, the color of the components shifts to the red side. But this is not due to microlensing, but the internal variability of the source-quasar. Abnormal color of the B component is most blue, although the closest to the lensing galaxy. Based on the values of the delay time found in the GLQ PG1115+080, the Hubble constant was estimated depending on different models.

Then we processed the observational data through V and R-filters for the gravitational lensed quasar B1422 + 231. We obtained the corresponding light curves. Long-term (over 6 years) variability of the brightness in the source-quasar of GLQ B1422+231 was found. The brightness variation amplitude was of the order of 0.25-mag. The light curves of the three components of this GLQ on the background of the source variability also show microlensing. Variations in the color indexes of the components also confirm the effect of microlensing.

Studies of GLQ H1413+117 (Clover Leaf) are given in the fourth Chapter "New photometric processing method and light curves of the GLQ H1413+117: time delays and micro-lensing effects". The first paragraph gives the current state of research of this object, provides a reference review, and also characterizes the observational data obtained at Maidanak Observatory in the period of 2001-2008. To measure the brightness of multiple sources with low resolution, a number of methods have been developed. The majority of these methods require the assumption of PSF invariance over the frame. This postulate imposes some restrictions on the photometric methods, as the observing conditions or the imaging system do not always encounter this assumption. We propose a new approach to overcome this limitation – adaptive PSF fitting method. This method iteratively determines the PSF of the lensed components in the local area of their location and determines the total flux from each of the components. At the same time, an independent method for estimating the errors of photometric measurements based on the simulation of artificial images taking into account the noise and errors inherent in digital images has been proposed.



**Fig. 10** Light curves of the lensed components A, B, C and D in the R-band with taking into account the our time delays.

The signs of both internal variability and strong influence of microlensing with an amplitude of  $\sim 0.15$  mag and a rate of  $\sim 10^{-3}$  mag/day have been detected in the light curves of the components of the GLQ H1413+117. The time delay values between the lensed components in GLQ H1413+117 have been calculated:  $\Delta t_{AB} = -17.4 \pm 2.1$  days,  $\Delta t_{AC} = -18.9 \pm 2.8$  days and  $\Delta t_{AD} = 28.8 \pm 0.7$  days (where A, B and C are leading, and D is the trailing component, Fig.10).

A multiparameter model for gravitational lens in H1413+117 is developed, which takes into account a singular isothermal ellipsoid for a lensing galaxy, a singular isothermal sphere for a satellite galaxy, and an external shear to account for all other factors. The most probable value of its red-shift is also obtained:  $z_1 = 1.97^{+0.07}_{-0.11}$ .

The fifth Chapter "**The wide fields cases: the method of processing CCD images in the TDI-mode**", is entirely devoted to the case of wide fields and methods of processing of images obtained in the time delay and integration mode. In recent decades, the technology of telescoping, including optical range, has received tremendous development. Among the telescopes of the new type are telescopes with a liquid mirror, which give high-precision images by rotating the container covered a liquid with a high reflectivity (for example, Mercury).

This Chapter presents the results obtained by the author at the University of Liege in the framework of the 4-M International Liquid Mirror Telescope (ILMT) project, which was developed at this university. Telescope ILMT is designed to scan a strip of sky at the Zenith with a width of approximately  $0.5^\circ$  and installed in the Devasthal Observatory (India). The total area of coverage of the sky will be about 140 square degrees. The ILMT is aimed to get images of wide fields of the sky night by night in the SDSS filters. During zenithal observations, the most appropriate way to observe sky objects crossing the field of view of the telescope is the so-called a time delay and integration mode (TDI).

The main objective of the ILMT project is to study the photometric variability of all objects detected in a narrow strip of the sky in the field of view of the telescope. Thus, this telescope is suitable for detection of variable objects, as well as their photometric monitoring. The telescope will provide a huge amount of observational data in the form of digital images, and research purposes will require immediate processing of the images and their subsequent analysis.

This aim was set a number of tasks for the development of the method and program of calculation of the contribution of the sky background across the image, the search of factors affecting the astrometric calibration of equatorial coordinates and photometric correction of the instrumental magnitudes. To solve these problems, we have used data between 2013 and 2014 to 1.3-m telescope at Devasthal Observatory.

As a result of observations, a two-dimensional frame of  $30K \times 2K$  pixels is obtained. The CCD detector is oriented so that the vertical axis of the coordinates on the frame corresponds to the declination of  $\delta$ , and the horizontal to the right

ascension of  $\alpha$  in the equatorial coordinate system. The complex behavior of the sky background can be caused by a number of factors. In the classic case of images, the average of the sky background is subtracted from the frame. In our case, such an approach would be wrong, because a simple subtraction of the mean value will lead to nothing. To solve this problem, we used a step-by-step algorithm that will allow us to take into account the local variations of the sky background as accurate as possible.

The analysis of factors affecting to the astrometric calibration has shown that first of all it is necessary to take into account the varying angular scale of the pixels and precession of the Earth. Knowing the sidereal time of the first column, the declination of the middle of the image (geographical place of observation), the rectangular coordinates of the objects can be found in their equatorial coordinates in the observed epoch. Using the formula for precession of the Earth it is possible to transform to the catalog coordinates in the epoch of 2000s. Photometric correction of instrumental magnitudes to the standard ones turned out relatively simple, here it is necessary to find only a linear correction factor. This value can be found by comparing the brightness of selected photometric reference stars with their instrumental magnitudes.

## CONCLUSION

According to the results of the research carried out on the theme of the doctoral (DSc) dissertation "CCD-photometry of selected gravitationally lensed quasars and wide field cases" the following conclusions are drawn:

1. Monitoring observations of the objects of research were carried out. For selected double and quadrupole component objects the noted CCD observations were processed, the light curves in the V, R and I filters have been obtained and investigated. They showed the sources-quasars of all considered objects continuously vary their brightness, and for double GLQ limit of variation on average  $\Delta m \sim 0.5$  mag, and for quadrupole GLQ  $\Delta m \sim 0.3$  mag, which is significantly less than the double. The brightness variations of the lensed components are related to non-stationarity of the source (bursts, irregularity of the accretion process, etc.) and microlensing.
2. Two types of microlensing were determined: depending on the rate of brightness variation they can be background ( $\sim 10^{-4}$  mag/day) and strong ( $\sim 10^{-3}$  mag/day); and depending on the duration they can be long-term (more than a year) and short-term (up to a year). Our results on microlensing support the hypothesis of H. Witt, according to which microlensing in quadrupole GLQ has general nature and the inevitably in them.
3. The effect of long-term microlensing lasting more than 10 years was found for the first time in the GLQ SBS1520+530. It was also found that the quasar undergoes periodic brightness variations of small amplitude.

4. For the first time in GLQ FBQ0951+263 it was shown that, as in the previous case, exactly the long-term microlensing dominates over short-term ones. The microlensing in this system has been going on for more than 10 years, and there is a process of decline of the microlensing effect on the component B.
5. The light curves of the A1, A2, B and C components in the GLQ PG1115+080 allowed to calculate the time delays between three pairs of components:  $\Delta t_{AB} = 4.4^{+3.2}_{-2.4}$  days,  $\Delta t_{AC} = 12.0^{+2.4}_{-2.0}$  days and  $\Delta t_{BC} = 16.4^{+3.4}_{-2.4}$  days.
6. The internal variability of the quasar-source with amplitude of about 0.4 mag is found. It is shown that the flux ratio between components A1/A2 varies not only in time, but also decreases with increasing wavelength of the filter. The microlensing in the images A1 and A2 in the period of 2001-2006 with the descending phase A1 and phase A2 of ascending also was discovered. The dependence of the (V-I) color index of components both versus the R magnitude and versus time is found. As the brightness of the quasar decreases, the color of the components shifts to the red side.
7. The new method of adaptive PSF fitting for photometric processing of the point images in dense fields has been developed and tested on the example of images of GLQ H1413+117. At the same time, an independent method for estimating the errors of photometric measurements based on the simulation of artificial images taking into account the noise and errors inherent in digital images has been proposed.
8. The light curves of the H1413+117 components showed signs of both internal variability and strong influence of microlensing with an amplitude of  $\sim 0.15$  mag and a rate of  $\sim 10^{-3}$  mag/day. An estimate of the lower limit for the body mass responsible for this microlensing was obtained ( $\sim 10 M_{Jup}$ ).
9. The time delay values between the lensed components in GLQ H1413+117 have been calculated:  $\Delta t_{AB} = -17.4 \pm 2.1$  days,  $\Delta t_{AC} = -18.9 \pm 2.8$  days and  $\Delta t_{AD} = 28.8 \pm 0.7$  days (where A, B and C are leading, and D is the trailing component). A new method of generation of the synthetic light curves for estimation of time delay measurement errors is proposed.
10. Taking into account the values of time delay and on the basis of gravitational lens model in the H1413+117 with singular isothermal ellipsoid and an external shear the most probable value of its red-shift was obtained:  $z_1 = 1.9^{+0.07}_{-0.11}$ .
11. For the first time the long-term (over 6 years) brightness variation in the source-quasar of the GLQ B1422+231 with amplitude of about 0.25 mag has been found. Light curves of the three components also show microlensing. Variations in the color indexes of the components also confirm this statement. The proposed new values of time delays are:  $\Delta t_{AB} = 2.5 \pm 2.3$  days,  $\Delta t_{AC} = -7 \pm 1.5$  days and  $\Delta t_{AD} = 6 \pm 1.8$  days (A component is leading).
12. A computer program for calculation of the sky background component in the images obtained in the TDI mode has been developed. The precession effect

was found in the images obtained during zenithal observations. It is shown that the astrometric calibration of the equatorial coordinates of objects requires taking into account the variable angular scale of pixels. It is found that the linear correction coefficient of the conversion to the standard value is sufficient for photometric calibration.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ Ds.27.06.2017.FM/Т.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,  
АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ, НАЦИОНАЛЬНОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА  
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**АХУНОВ ТАЛЪАТ АХМАТОВИЧ**

**ПЗС-ФОТОМЕТРИЯ ИЗБРАННЫХ ГРАВИТАЦИОННО-  
ЛИНЗИРОВАННЫХ КВАЗАРОВ И СЛУЧАИ ШИРОКИХ ПОЛЕЙ**

**01.03.01 – Астрономия**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации доктора (DSc) физико-математических наук

Ташкент–2019

**Тема диссертации доктора (DSc) физико-математических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2018.4.DSc/FM121.**

Диссертация выполнена в Астрономическом институте Академии наук Республики Узбекистан и Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный консультант:**

**Нуриддинов Салахутдин Насритдинович**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Чернин Артур Давидович**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Коршунова Наталья Александровна**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Туракулов Зафар Ялкинович**  
доктор физико-математических наук

**Ведущая организация:**

**Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова**  
Алматы, Казахстан

Защита докторской диссертации состоится “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 г. в \_\_\_ часов на заседании Научного совета Ds.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100124, г. Ташкент, пос. Улугбек, Институт ядерной физики; тел.: (+99871) 289–31–41, факс (+99871) 289–36–65, e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер \_\_\_\_\_). (Адрес: 100124, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ; тел.: (+99871) 289–31–19).

Автореферат диссертации разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 г.  
(Реестр протокола рассылки № \_\_\_\_\_ от “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 г.)

**М.Ю.Ташметов,**  
председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

**Э.М.Турсунов,**  
ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

**И.Нуриддинов,**  
председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

## ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время исследование объектов, связанных с явлением гравитационного линзирования и особенно гравитационно-линзированных квазаров (ГЛК), является одной из наиболее важных задач современной наблюдательной космологии. Такие объекты выступают в качестве гигантских естественных телескопов, разрешение которых намного превосходит возможности современных наземных и космических инструментов. Для решения многих проблем физики ГЛК прежде всего необходимо исследование временных задержек между мнимыми изображениями линзированных квазаров и событий микролинзирования в них, что можно получить только путем их фотометрии. Определение времени задержки между мнимыми компонентами напрямую связано с постоянной Хаббла, красными смещениями источника и линзы и гравитационным потенциалом последней. Микролинзирование же позволяет обнаружить массивные и никак не видимые другим путем объекты или скопления материи. Отсюда следует актуальность диссертации, поскольку начальные этапы рождения галактик и структура темной материи могут быть детально наблюдаемы только благодаря гравитационному линзированию.

В последнее время в области гравитационного линзирования ведущими исследователями было сделано несколько важных открытий. Например, была определена доля темной материи в виде звезд с низкой массой в нашей Галактике, обнаружена одна из самых маломассивных экзопланет. Выявлены наиболее массивные крупномасштабные структуры во Вселенной, найдено прямое эмпирическое доказательство существования темной материи. Проводятся измерения постоянной Хаббла. В результате наблюдений обнаружены самые далекие квазары с красным смещением  $z > 7$ , наблюдательны установлено более 150 ГЛК.

В нашей Республике уделяется большое внимание наблюдательным и теоретическим аспектам исследования гравитационного линзирования. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны, связаны со Стратегией<sup>1</sup> действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 гг. Так, в течение последних 20 лет в Майданакской обсерватории весьма активно проводятся мониторинговые наблюдения перспективных ГЛК, накоплен огромный уникальный наблюдательный материал на основе многолетнего однородного мониторинга, проведен анализ кривых блеска линзированных изображений ряда ГЛК, получены точные выражения для угла отклонения лучей света при слабом линзировании вокруг черной дыры. Однако вместе с этим остаются некоторые нерешенные вопросы, в частности, до сих пор неизвестны приемлемые значения амплитуды и продолжительности

---

<sup>1</sup>Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 07 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

переменности, вызванные микролинзированием в объектах исследования данной диссертации, неизвестен сам характер микролинзирования, иногда даже имеется неопределенность в определении красного смещения линзирующих тел, до сих пор не изучены случаи изображений широких полей.

Данная диссертационная работа в определенной мере служит реализации задач, утвержденных в государственных нормативных документах, в Указах Президента Республики Узбекистан за № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 года, а также в «Дорожной карте основных направлений структурных реформ в Узбекистане на 2019–2021 годы», опубликованной правительством Республики Узбекистан 29 ноября 2018 года.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан – II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации.** Исследованием явления гравитационного линзирования в целом и линзированных квазаров в частности, их обнаружением, наблюдениями в различных диапазонах электромагнитного излучения, обработкой наблюдательных данных и их интерпретацией занимаются в ведущих научно-исследовательских центрах и высших учебных заведениях, таких как Астрономический институт им. Штернберга МГУ (Россия), Центр астрономии и Институт астрономических вычислений Гейдельбергского университета, Потсдамский астрофизический институт, Астрофизический институт общества Макса Планка (Германия), Астрофизическая лаборатория Федеральной политехнической школы в Лозанне (Швейцария), Институт вычислительной космологии Даремского университета, Институт астрономии Кембриджского университета (Великобритания), Астрономическая обсерватория Варшавского университета (Польша), Институт космических исследований (Утрехт, Нидерланды), Институт астрономии Харьковского национального университета (Украина), Институт астрофизики и геофизики Льежского университета (Бельгия), Международный институт космических наук (Берн, Швейцария), Исследовательский центр ранней Вселенной, Отделение физики Токийского университета (Япония), Телескоп Субару Национальной астрономической обсерватории Японии, Отделение современной физики университета Кантабрии (Испания), Институт радиофизики и электроники Национальной академии наук Украины, Институт исследований космоса с помощью космического телескопа (Балтимор, США), Астрономический институт АН РУз, Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека. (Узбекистан)

По исследованию гравитационно-линзированных квазаров на мировом уровне получен ряд научных результатов, в том числе была определена доля темной материи в виде звезд с низкой массой в нашей Галактике через наблюдения звезд Магеллановых Облаков, анализ микролинзирования позволил обнаружить одну из самых малых известных экзопланет, откуда следует, что планеты с околонептуновой массой могут быть более распространенными, чем газовые гиганты (Центр астрофизики частиц; Калифорнийский университет; Парижский астрофизический институт). Статистический анализ эллиптичности галактик на больших площадях обнаружил массивные крупномасштабные структуры во Вселенной, наблюдения двух сливающихся скоплений на телескопе Хаббла и построение карт линзирования позволило найти прямое эмпирическое доказательство существования темной материи (Канадский институт теоретической астрофизики; Институт астрофизики частиц и космологии им. Кавли). Разработано несколько уникальных программ, посвященных систематическому поиску гравитационных линз, непрерывно пополняется список кандидатов и наблюдательно подтвержденных ГЛК путем спектроскопических и оптических наблюдений (Телескоп Субару Национальной астрономической обсерватории Японии; Институт астрономии Кембриджского университета; Институт Астрономии им. Аргеландера Боннского университета). Большой массив данных наблюдений был получен в ходе программы COSMOGRAIL, разработан эффективный фотометрический метод восстановления изображений (Астрофизическая лаборатория Федеральной политехнической школы в Лозанне; Институт астрофизики и геофизики Льежского университета; Астрономический институт АН РУз). Разрабатываются фотометрические методы и компьютерные программы обработки данных наблюдений (Астрономический институт им. Штернберга МГУ, Россия; НИИ Астрономии Харьковского национального университета, Украина).

В настоящее время в мире теоретические и наблюдательные исследования гравитационно-линзированных квазаров проводятся по ряду приоритетных направлений, в том числе поиск новых ГЛК на основе статистического, спектрального и фотометрического анализа баз данных GAIA, SDSS и других; поиск событий микролинзирования, расчет времени задержки и вычисление постоянной Хаббла; тестирование моделей Вселенной и ее крупномасштабных единиц; измерение массы скоплений галактик; решение проблем, связанных с неоднозначностью в моделях гравитационных линз, влияния на временные задержки преобразования положения источника (Чикагский университет; Астрофизический институт общества Макса Планка; Исследовательский центр ранней Вселенной).

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время поиском новых гравитационно-линзированных квазаров, мониторинговыми наблюдениями этих объектов, фотометрическим исследованием двойных ГЛК SBS1520+530 и FBQ0951+2635, исследованием свойств линзирующих галактик,

моделированием этих систем, вычислением времени задержки, поиском микролинзирования в них занимаются многие ученые ведущих научных центров мира, например, российские (I.Bikmaev, N.Sakhibullin), украинские (V.Shalyapin, A.Zheleznyak, A.Sergeev), американские (I.Burud, J.Cohen, P.Schechter, J.-L.Beuzit, C.Kochanek) бельгийские (P.Magain, D.Sluse), швейцарские (F.Courbin, S.Dye, G.Meylan), датские (P.Jacobson, J.Hjorth) и другие. Однако для указанных ГЛК еще не проводились длительные оптические наблюдения, и соответственно не исследованы явления микролинзирования на большом временном промежутке, не были известны ни их амплитуда, ни продолжительность.

Определением рентгеновского потока скоплений галактик в направлении четырехкомпонентных ГЛК PG1115+080 и B1422+231, их инфракрасными наблюдениями и выделением подструктур линзирующих галактик, определением их красного смещения, анализом эмиссионных свойств в спектре H1413+117, построением моделей всех этих систем занимались американские (C.Grant, M.Bautz, G.Chartas, G.Garmire, J.Tonry, M.Eracleous, X.Dai, E.Agol, S.Gallagher), японские (M.Chiba, T.Minezaki, N.Kashikawa, H.Kataza), бельгийские (D.Hutsemekers, B. Borguet) и другие ученые. Однако несмотря на это многолетние оптические наблюдения указанных здесь этих ГЛК не проводилось, не до конца были определены временные задержки и характер микролинзирования. Открытым оставался также вопрос красного смещения линзирующего тела в H1413+117, а B1422+231 изучен еще меньше, так как еще не было даже сезонных наблюдений.

Обработка же цифровых изображений широких полей из зенитных наблюдений в режиме с временной задержкой и интегрированием (ВЗН) вообще носит пионерский характер. Идея построения зенитного телескопа с жидким зеркалом была предложена канадскими учеными (P.Hickson, E.Borra, R.Cabanac, R.Content, B.Gibson), а реализация этого проекта была осуществлена бельгийскими (J.Surdej, J.-P.Swings, M.DeBecker, L.Delchambre, F.Finet), индийскими (B.Kumar, B.Pradhan, R.Sagar, K.Pandey, G.Anupama), польскими (P.Bartczak) астрономами. Но в их работах не были затронуты полностью вопросы анализа изображений широких полей, оставался не ясным вопрос какие факторы будут влиять на астрометрическую и фотометрическую калибровку данных наблюдений.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высших образовательных и научно-исследовательских учреждений, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Астрономического института АН РУз и Национального университета Узбекистана в рамках следующих проектов: ФА-Ф2-Ф058+061 «Исследование гравитационных линз, формирующихся галактик и обобщенных моделей астрофизических объектов» (2007–2011), ФА-ЁОФ2-Ф03 «Разработка фотометрической программы восстановления цифровых астрономических изображений и

анализ эффектов ОТО при гравитационном линзировании» (2010–2011), Ф2-ФА-Ф029 «Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем» (2012–2016), ВА-ФА-Ф-2-007 «Исследование линзирующих свойств избранных галактик-квazarов в оптическом диапазоне» (2017–2018).

**Целью исследования** является изучение физики явлений в виде микролинзирования и эффекта времени задержки путем ПЗС-фотометрии избранных 2- и 4-компонентных гравитационно-линзированных квазаров, а также разработка алгоритмов обработки цифровых изображений широких полей.

**Задачи исследования:**

разработка метода фотометрии точечных источников в тесных полях;  
определение временных задержек между линзированными компонентами исследуемых ГЛК и закономерностей в зависимости от параметров систем;

определение красного смещения линзы в ГЛК H1413+117;

выделение внутренней переменности источников-квazarов от событий микролинзирования, выявление их механизмов, выяснение продолжительности микролинзирования;

определение типов микролинзирования в зависимости от их темпа и продолжительности, вычисление нижней границы массы микролинз;

разработка методов и алгоритмов обработки цифровых изображений в режиме ВЗН, анализ факторов, влияющих на точность фотометрических и астрометрических измерений.

**Объектами исследования** являются избранные гравитационно-линзированные квазары SBS1520+530, FBQ0951+2635, PG1115+080, H1413+117 и B1422+231.

**Предметом исследования** являются наблюдательные данные в виде ПЗС-изображений, кривые блеска компонентов исследуемых объектов, а также изображения, полученные в режиме временной задержки с накоплением.

**Методы исследования.** Известные методы обработки цифровых астрономических изображений, аппарат анализа временных рядов, методы минимизации, построения моделей гравитационно-линзированных систем.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

в двойных ГЛК FBQ 0951+2635 и SBS1520+530 определено два типа микролинзирования: в зависимости от темпа изменения блеска они могут быть фоновыми и сильными, а в зависимости от продолжительности – долгопериодическими и короткопериодическими;

для избранных ГЛК построены и исследованы кривые блеска, а также определены новые значения времени задержки в четырехкомпонентных ГЛК PG1115+080, H1413+117, B1422+231;

обнаружено, что отношение потоков  $A_1/A_2$  в ГЛК PG1115+080 меняется не только во времени, но и зависит от длины волны фильтра, показана

зависимость показателя цвета ( $V-I$ ) линзированных компонентов от блеска и времени;

обнаружено сильное микролинзирование в ГЛК H1413+117 и получена оценка нижнего предела для массы тела, ответственной за это микролинзирование, также разработана новая модель гравитационной линзы с сингулярным изотермическим эллипсоидом и уточнено значение ее красного смещения;

разработаны метод и алгоритм компьютерной обработки изображений широких полей, а также обнаружен эффект прецессии в изображениях, полученных при зенитных наблюдениях в режиме ВЗН.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

показано, что значение времени задержки линейно зависит от углового размера систем ГЛК – максимального расстояния между линзированными компонентами;

определены классы микролинзирования в объектах исследования и раскрыты механизмы: найден эффект долгопериодического микролинзирования в двойных ГЛК SBS1520+530 и FBQ0951+2635, продолжающееся более 10 лет, и показано, что оно доминирует над короткопериодическими событиями микролинзирования;

разработан новый метод фотометрической обработки точечных изображений в тесных полях;

разработан независимый метод оценки ошибок измерений фотометрических величин и времени задержки;

впервые получены кривые блеска в ГЛК B1422+231, которые позволили найти долговременное (более 6 лет) изменение блеска источника-квазара и влияние микролинзирования;

найденные события микролинзирования подтверждает гипотезу о том, что такие явления в четырехкомпонентных системах имеет общую природу и носят постоянный характер;

алгоритм обработки изображений широких полей применяется при обработке изображений, полученных при меридианных наблюдениях;

предложен новый метод построения искусственных кривых блеска.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается применением современных и хорошо зарекомендовавших себя методов фотометрической обработки ПЗС-изображений, анализа временных рядов, вычисления временных задержек, определения событий микролинзирования, моделирования гравитационно-линзированных систем.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования определяется прежде всего полученными наблюдательными данными по исследуемым ГЛК, которые заметно дополнили существующие знания о них и стали основой для дальнейшего его пополнения и детального исследования других ГЛК.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что предложенный нами фотометрический метод адаптивной подгонки

функции рассеяния точки (ФРТ) поможет сэкономить наблюдательное время на телескопах, поскольку может работать даже с дефокусированными изображениями. Найденные нами значения времени задержки для трех ГЛК облегчат в дальнейшем выявление микролинзирования в этих системах. Разработанные нами метод и алгоритм обработки изображений широких полей в режиме ВЗН непосредственно применяются в рамках проекта 4-m ILMT. Результаты включены в специальные курсы Астрономического отделения НУУз «Квazarы и активные галактик», «Проблемы космогонии» для бакалавриатуры и «Физика гравитационного линзирования», «Обработка астрономических изображений» магистратуры.

**Внедрение результатов исследования.** На основе исследования физики явлений микролинзирования и эффекта времени задержки в избранных двойных и четырехкомпонентных гравитационно линзированных квазарах, а также разработки алгоритмов обработки изображений широких полей:

результаты, полученные в ходе исследования продолжительности и природы микролинзирования в ГЛК FBQ 0951+2635 и SBS1520+530 были использованы исследователями (ссылки в зарубежных научных журналах *Astronomy&Astrophysics*, 2018, 2012a,b; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2013; *Astronomy&Astrophysics Supplement Series*, 2011; *Astrophysics Journal*, 2010) использовались при модельном анализе сильных гравитационных линз и вычислении космологических параметров в рамках проекта GLENDAMA. Полученные результаты предоставили обширную базу данных по линзированным квазарам и позволили определить длительные события микролинзирования других двойных ГЛК;

новые значения временных задержек между линзированными компонентами ГЛК PG 1115+080, полученных в ходе мониторинга в Майданакской обсерватории, использованы в зарубежных журналах (ссылки в *Astronomy&Astrophysics*, 2018, 2013; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2016; *The Astrophysics Journal Supplement Series*, 2015; *Astronomical Reports*, 2015) при повторных вычислениях времени задержки в этой системе и разработке нового метода вычисления этой величины при наличии микролинзирования. Полученные результаты позволили изучить структуру окружающего пространства вокруг линз по лучу зрения и лучше понять влияние крупномасштабной структуры на статистику линз и их параметры;

анализ вариаций блеска линзированных компонентов ГЛК PG 1115+080 и микролинзирования в яркой компоненте A1/A2 использованы в зарубежных журналах (ссылки в *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2016, 2018; *Astronomy&Astrophysics*, 2015, 2018; *The Astrophysics Journal*, 2016; *Astronomical Reports*, 2015) при анализе эффекта микролинзирования и позволил разработать новый метод моделирования карт микролинзирования. Полученные результаты позволили заново оценить постоянную Хаббла, а также разработать новый метод статистического

анализа кривых блеска далеких источников, возмущенных микролинзированием со стороны точечных и протяженных масс;

результаты наших исследований вариаций блеска компонентов в H1413+117, вычисления временных задержек, определения события сильного микролинзирования, вычисления красного смещения линзирующего тела использованы в зарубежных журналах (ссылки в *Astronomy&Astrophysics*, 2018; *Astronomy&Astrophysics*, 2018; 2018arXiv181002624W; *Nature*, 2018) при оценке неоднозначности в моделях гравитационных линз и влияния на временные задержки изменений положения источника, спектроскопическом подтверждении обнаружения новой гравитационно-линзированной системы GRAL113100-441959 и модельном прогнозировании времени задержки в ней. Наши данные были включены в новую базу данных оптически ярких линзированных квазаров в северном полушарии, а также использовались при анализе современного состояния астрономии в Узбекистане;

разработанные нами методы и алгоритмы обработки изображений широких полей используются в рамках международного наблюдательного проекта 4-m PLMT (письмо Льежского университета от 15 января 2019 г.). Полученные результаты позволили сформировать последовательность программ по обработке изображений широких полей и найти новые объекты космического мусора.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 23 международных и республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов.** По теме диссертации опубликовано 34 научные работы, 11 научных статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикаций основных научных результатов докторских диссертаций, из них 6 в зарубежных научных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 188 страниц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме докторской диссертации «ПЗС-фотометрия избранных гравитационно-линзированных квазаров и случаи широких полей», представлены следующие выводы:

1. Выполнены мониторинговые наблюдения объектов исследования. Для избранных двух- и четырех-компонентных объектов обработаны данные ПЗС-наблюдений, построены и исследованы кривые блеска в V, R и I фильтрах. Они показали, что источники-квазары всех рассматриваемых объектов непрерывно меняют свой блеск, причем для двух-компонентных предел вариации в среднем  $\Delta m \sim 0.5^m$ , а у четырех-компонентных  $\Delta m \sim 0.3^m$ , что заметно меньше, чем у двойных. Изменения блеска

линзированных компонентов связаны с нестационарностью источника (вспышки, нерегулярность процесса аккреции и др.) и микролинзированием.

2. Определено два типа микролинзирования: в зависимости от темпа изменения блеска они могут быть фоновыми ( $\sim 10^{-4}$  mag/сутки) и сильными ( $\sim 10^{-3}$  mag/сутки), а в зависимости от продолжительности долгопериодическими (более года) и короткопериодическими (до года). Наши результаты по микролинзированию подтверждают гипотезу Х. Витта о том, что микролинзирование в 4-компонентных системах есть всегда и имеет общую природу.
3. В ГЛК SBS1520+530 впервые найден эффект долговременного микролинзирования продолжительностью более 10 лет. Также обнаружено, что квазар испытывает периодические изменения яркости малой амплитуды.
4. Впервые в ГЛК FBQ0951+263 показано, что, как и в предыдущем случае, именно долгопериодическое микролинзирование доминирует над короткопериодическими. Микролинзирование в этой системе продолжалось уже более 10 лет, причем здесь происходит процесс спада влияния микролинзирования на компоненту В.
5. Кривые блеска компонентов А1, А2, В и С ГЛК PG1115+080 позволили вычислить время задержки между тремя парами компонентов:  $\Delta t_{AB} = 4.4^{+3.2}_{-2.4}$  сутки,  $\Delta t_{AC} = 12.0^{+2.4}_{-2.0}$  суток и  $\Delta t_{BC} = 16.4^{+3.4}_{-2.4}$  суток.
6. Обнаружена собственная переменность источника-квазара с амплитудой порядка  $0.4^m$ . Показано, что отношение потоков между компонентами А1/А2 меняется не только во времени, но и уменьшается по мере увеличения длины волны фильтра. Обнаружено также микролинзирование в изображениях А1 и А2 в течение 2001–2006 годов с нисходящей фазой для А1 и фазой восхождения для А2. Найдена зависимость показателя цвета ( $V-I$ ) компонентов отдельно от магнитуды  $R$  и от времени. По мере ослабления блеска квазара цвет компонентов смещается в красную сторону.
7. Разработан новый метод адаптивной подгонки ФРТ для фотометрической обработки точечных изображений в тесных полях и апробирован на примере изображений ГЛК H1413+117, вместе с тем предложен независимый метод оценки ошибок фотометрических измерений на основе моделирования искусственных изображений с учетом шумов и ошибок, присущих цифровым изображениям.
8. На кривых блеска компонентов H1413+117 обнаружены признаки как внутренней переменности, так и сильного влияния микролинзирования с амплитудой  $\sim 0.15^m$  и темпом  $\sim 10^{-3}$  mag/день. Получена оценка нижнего предела для массы тела, ответственного за это микролинзирование ( $\sim 10 M_{Jup}$ ).

9. Вычислены значения временных задержек между линзированными компонентами ГЛК H1413+117:  $\Delta t_{AB} = -17.4 \pm 2.1$  дней,  $\Delta t_{AC} = -18.9 \pm 2.8$  дней и  $\Delta t_{AD} = 28.8 \pm 0.7$  дней (B и C лидирующие, D – ведомая). Предложен новый метод построения синтетических кривых блеска для оценки ошибок измерения временных задержек.
10. С учетом временных задержек на основе модели гравитационной линзы в H1413+117 с сингулярным изотермическим эллипсоидом и внешним сдвигом получено наиболее вероятное значение кранного смещения линзы:  $z_l = 1.9^{+0.07}_{-0.11}$ .
11. Впервые найдено долговременное (более 6 лет) изменение блеска в источнике-квазаре ГЛК B1422+231 с амплитудой порядка  $0.25^m$ . Кривые блеска трех компонентов показывают также и микролинзирование. Вариации показателей цветов компонентов также подтверждают это утверждение. Предложены новые значения времени задержки здесь:  $\Delta t_{AB} = 2.5 \pm 2.3$  суток,  $\Delta t_{AC} = -7 \pm 1.5$  суток и  $\Delta t_{AD} = 6 \pm 1.8$  суток (компонента A – лидирующая).
12. Разработана компьютерная программа определения фоновой составляющей в изображениях, полученных в режиме ВЗН. Обнаружен эффект прецессии в изображениях, полученных при зенитных наблюдениях. Показано, что при астрометрической калибровке экваториальных координат объектов необходим учет переменного углового масштаба пикселей. Найдено, что при фотометрической калибровке достаточен линейный коэффициент преобразования к стандартной величине.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Shalyapin V.N., Goicoechea L.J., Koptelova E., Artamonov B.P., Sergeyev A.V., Zheleznyak A.P., Akhunov T.A., Burkhonov O.A., Nuritdinov S.N., Ullan A. Microlensing variability in FBQ 0951+2635: short-time-scale events or a long-time-scale fluctuation? // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.- Oxford (Great Britain), 2009. - vol. 397, Issue 4. - pp. 1982-1989 (**№40. Research Gate: IF = 5.56**).
2. Vakulik V.G., Shulga V.M., Schild R.E., Tsvetkova V.S., Dudinov V.N., Minakov A.A., Nuritdinov S.N., Artamonov B.P., Kochetov A.Ye., Smirnov G.V., Sergeyev A.A., Konichek V.V., Sinelnikov I.Ye., Bruevich V.V., Akhunov T., Burkhonov O. Time delays in PG 1115+080: new estimates // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters. - Oxford (Great Britain), 2009. - vol. 400, Issue 1. - pp. L90-L93 (**№40. Research Gate: IF = 5.56**).
3. Tsvetkova V.S., Vakulik V.G., Shulga V.M., Schild R.E., Dudinov V.N., Minakov A.A., Nuritdinov S.N., Artamonov B.P., Kochetov A.Ye., Smirnov G.V., Sergeyev A.A., Konichek V.V., Sinelnikov I.Ye., Zheleznyak A.P., Bruevich V.V., Gaisin R., Akhunov T., Burkhonov O., PG 1115+080: variations of the A2/A1 flux ratio and new values of the time delays // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, - Oxford (Great Britain), 2010. - vol. 406, Issue 4. - pp. 2764-2776. (**№40. Research Gate: IF = 5.36**).
4. Ахунов Т.А., Миртаджиева К.Т., Нуритдинов С.Н. Фотометрический метод обработки изображений гравитационных линз: случай тесных полей // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент (Узбекистан), 2010. - № 3. - С.56-59 (**01.00.00. №7**).
5. Нуритдинов С.Н., Ахунов Т.А., Каххаров Б.Б., Муминов М.М., Усманов О.У. О проблемах оцифровывания и позиционных измерений астрономических изображений // Узбекский физический журнал. – Ташкент (Узбекистан), 2010. - № 3 (12). - С.103-110 (**01.00.00. №5**).
6. Ахунов Т.А. Анализ фотометрических свойств избранных гравитационно линзированных систем. I. Клеверный лист - H1413+117 // Узбекский физический журнал. – Ташкент (Узбекистан), 2017. - № 6 (19). – С. 323-331 (**01.00.00. №5**).
7. Akhunov T.A., Wertz O., Elyiv A., Gaisin R., Artamonov B.P., Dudinov V.N., Nuritdinov S.N., Delvaux C., Sergeyev A.V., Gusev A.S., Bruevich V.V., Burkhonov O.A., Zheleznyak A.P., Ezhkova O., Surdej J. Adaptive PSF fitting - a highly performing photometric method and light curves of the GLS H1413+117: time delays and micro-lensing effects // MNRAS, - Oxford (Great

- Britain), 2017. -vol. 465, Issue 3. - pp. 3607-3621 (**№40. Research Gate: IF = 5.36**).
8. Surdej J., Hickson P., Borra E., Swings J.-P., Habraken S., Akhunov T., Bartczak P., Chand H., De Becker M., Delchambre L., Finet F., Kumar B., Pandey A., Pospieszalska A., Pradhan B., Sagar R., Wertz O., De Cat P., Denis S., de Ville J., Jaiswar M.K., Lampens P., Nanjappa N., Tortolani J.-M. The 4-m International Liquid Mirror Telescope // Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege, - Liege (Belgium), 2018. -vol. 87. - pp. 68 – 79 (**№3. Scopus: IF = 0.15**).
  9. Pradhan B., Delchambre L., Hickson P., Akhunov T., Bartczak P., Kumar B., Surdej J. Present status of the 4-m ILMT data reduction pipeline: application to space debris detection and characterization // Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege, - Liege (Belgium), 2018. -vol. 87. - pp. 88 – 91 (**№3. Scopus: IF = 0.15**).
  10. Нуритдинов С.Н., Ахунов Т.А., Муминов А.А. К проблеме расширяющейся Вселенной и моделирования темной материи // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент (Узбекистан), 2018. - № 2. –С.65-69 (**01.00.00. №7**).
  11. Ахунов Т.А. Анализ фотометрических свойств избранных гравитационно линзированных систем. II. В1422+237 // Узбекский физический журнал. – Ташкент (Узбекистан), 2018. - № 5 (20). –С. 275-282(**01.00.00. №5**).

### **I бўлим (II часть; part II)**

12. Akhunov T. On a problem of microlensing revealing in gravitational lensed systems // Astrophysics and Applied Mathematics. – Karachi (Pakistan), 2009. - vol.1.-pp. 40-44.
13. Сергеев А., Железняк А., Ахунов Т.А., Бурхонов О., Бруевич В. Определение и анализ параметров ГЛС SBS1520+530 по результатам наблюдений в 2000-2006 годах // International conference “Relativistic astrophysics, gravitation and cosmology”. - Kyiv, 2009. – p. 24.
14. Akhunov T.A., Burkhonov O. Photometric researches of gravitational lens system B1422+231 // The International Symposium “New Tendencies of Developing Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements, Prospectives”, Tashkent, November 10-11, 2016, p. 117-119
15. Akhunov T.A., Nuritdinov S.N., Allayorov A.N., Egamberdiev Sh.A. Modeling and computer processing of images of gravitationally lensed quasars // Abstracts of the International scientific conference “Modern problems of the applied mathematics and information technology – Al-Khorezmiy 2018”, hold on September 13-15, 2018, Tashkent, ed. M. Aripov et al., p. 95
16. Бурхонов О.А., Нуритдинов С.Н., Ахунов Т.А., Гайсин Р.А., Таджибаев И.У., Холиков Ш.Э. О банке наблюдательных данных приоритетных гравитационных линз // Сб.: Экспериментальная и теоретическая физика, Том III, Ташкент, 2008, с. 230-234

17. Нуритдинов С.Н., Муминов М.М., Усмонов О., Каххаров Б.Б., Ахунов Т.А. Оцифровательно-измерительная машина. I. // Сб.: Экспериментальная и теоретическая физика, Том III, Ташкент, 2008, с. 250-255
18. Гайсин Р.А., Ахунов Т.А., Бурхонов О.А., Таджибаев И.У. Первые результаты обработки гравитационной линзы H1413+117 («Клеверный Лист») // Сб.: Экспериментальная и теоретическая физика, Том III, Ташкент, 2008, с. 262-266
19. Миртаджиева К.Т., Гайсин Р.А., Нуритдинов С.Н., Бурхонов О.А., Ахунов Т.А., Таджибаев И.У. Исследование гравитационно-линзированной системы B1422+231 // Сб.: Гравитационные линзы и формирующиеся галактики: наблюдения и теория, Ташкент, 2008, с. 15 – 19
20. Гайсин Р.А., Ахунов Т.А., Бурхонов О.А., Таджибаев И.У. Миртаджиева К.Т. Первые результаты обработки гравитационной линзы H1413+117 («Клеверный Лист») // Сб.: Гравитационные линзы и формирующиеся галактики: наблюдения и теория, Ташкент, 2008, с. 22 – 23
21. Нуритдинов С.Н., Бурхонов О.А., Ахунов Т.А., Гайсин Р.А., Таджибаев И.У., Холиков Ш.Э. Усовершенствование банка наблюдательных данных приоритетных гравитационных линз // Сб.: Гравитационные линзы и формирующиеся галактики: наблюдения и теория, Ташкент, 2008, с. 24 – 26
22. Миртаджиева К.Т., Гайсин Р.А., Аллаёров С., Бурхонов О.А., Ахунов Т.А. Об оптических наблюдениях избранных гравитационных линз на Майданаке // Сб.: Оптические методы в современной физике, Ташкент, 2008, с. 129 – 131
23. Ахунов Т.А., Нуритдинов С.Н. К методике обработки цифровых изображений гравитационных линз // Сб.: Современная физика и ее перспективы, Ташкент, 2009, с. 276 – 278
24. Ахунов Т.А. О методике обработки ПЗС изображений в случае близкого расположения объектов // Сб.: РИАК – 2010, Ташкент, 2010, с.28-31
25. Ахунов Т., Гайсин Р., Асфандияров И. Микролинзирование и время задержки в H1413+117 // “Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых – 2013” Ташкент, 2013, с. 122
26. Т.А. Ахунов, Р. Гайсин, С.Н. Нуритдинов, О.А. Бурхонов Измерение времени задержки в ГЛС H1413+177 // «Улугбековские чтения - 3», Ташкент, 2014, с. 42-47
27. Ахунов Т.А., Умрзоков О. Разработка методике обработки ПЗС кадров в случае широких пространственных полей // Сб.: РИАК-2015, Ташкент, 2015, с. 180-183
28. Ахунов Т.А., Умрзоков О., Абдурасулов Қ. О методике обработки ПЗС кадров в случае широких пространственных полей // Сб.: РИАК-2015, Ташкент, 2015, с. 339-343

29. Ахунов Т.А., Бурхонов О.А., Шайманов А.М., Усмонов О.У. Наблюдения избранных гравитационно линзированных квазаров на майданакской обсерватории // Сб.: РИАК-2016, Ташкент, 2016, с. 20-25
30. Axunov T.A., Burxonov O.A., Shaymanov A.M., Usmonov O.U. Tanlangan gravitatsion linzalangan sistemalar va qo'shaloq kvazarning ravshanlik egri chiziqlari // Сб.: РИАК - 2016, Ташкент, 2016, с. 97-102
31. Axunov T.A., Ametova B.X. B1422+231 gravitatsion linzalangan sistema komponentalarining fotometriyasi // Сб.: РИАК-2016, Ташкент, 2016, с. 104-106
32. Рашидов Д.Г., Ахунов Т.А. Программа Source Extractor для обнаружения и фотометрии объектов в ПЗС изображениях: основные характеристики, преимущества и недостатки // Сб.: РИАК-2017, Ташкент, 2017, с. 97-100
33. Ахунов Т.А., Гайсин Р.А., Рашидов Д. Определение вероятной массы микролинзы в ГЛС H1413+117 // Сб.: РИАК-2017, Ташкент, 2017, с. 120-123
34. Ахунов Т.А. Первичная обработка изображений, полученных в режиме TDI // Сб.: Республиканский научно-практической конференции «Актуальные проблемы физики», посвященной памяти академика Пулата Киргизбаевича Хабибуллаева, Ташкент, 2017 йил, с. 222-225

Автореферат «Тил ва адабиёт» журнали тахририятида  
тахриридан ўтказилди (22.02.2019 йил)