

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

OTOJANOVA NILUFAR BAXTIYAROVNA

**GALAKTIKALAR BOY TO‘DALARINING FIZIK XUSUSIYATLARI:
KUZATUV MA‘LUMOTLARI TAXLILI VA MODELLASHTIRISH
NATIJALARI**

01. 03. 02 – Kosmos fizikasi va astrofizika

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi****Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по физико-
математическим наукам****Content of the dissertation abstract of the doctor philosophy (PhD) on physical and
mathematical sciences****Otojanova Nilufar Baxtiyarovna**

Galaktikalar boy to‘dalarining fizik xususiyatlari: kuzatuv ma’lumotlari taxlili
va modellashtirish natijalari 3

Отожанова Нилуфар Бахтияровна

Физические свойства богатых скоплений галактик: анализ данных
наблюдений и результаты моделирования 19

Otojanova Nilufar Bakhtiyarovna

Physical properties of rich galaxy clusters: analysis of observational data and
modeling results 35

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works 39

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

OTOJANOVA NILUFAR BAXTIYAROVNA

**GALAKTIKALAR BOY TO‘DALARINING FIZIK XUSUSIYATLARI:
KUZATUV MA‘LUMOTLARI TAXLILI VA MODELLASHTIRISH
NATIJALARI**

01. 03. 02 – Kosmos fizikasi va astrofizika

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.3.PHD/FM1361 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Chirchiq davlat pedagogika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Kengashning veb-sahifasida (www.ik-fizmat.nuu.uz) va "Ziyonet" Axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Kutlimuratov Sardor Sharipbaevich
pedagogika fanlari falsafa doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Rayimbaev Djavlonbek Rajapbaevich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Burxonov Otabek Anvarjonovich
fizika-matematika fanlari nomzodi, katta ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

Samarqand davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil «21» 04 soat 15⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100174, Toshkent shahri, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi, 4 – uy, Tel.: (+99871) 227-12-24; faks (+99871)246-53-21, 246-02-24, e-mail: nauka@nuu.uz).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Milliy universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (61 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100174, Toshkent shahri, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi, 4 – uy, Tel.: (+99871) 246-02-24).

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil «3» 04 kuni tarqatildi.

(2026 yil «3» 04 dagi 4 raqamli reestr bayonnomasi)



[Handwritten signature]

S.N. Nuritdinov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy Kengash raisi,
fizika-matematika fanlari doktori, professor

[Handwritten signature]

F.O'. Botirov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy Kengash kotibi,
fizika-matematika fanlari falsafa doktori

[Handwritten signature]

I.U. Tadjibayev

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy Kengash qoshidagi Ilmiy seminar raisi,
fizika-matematika fanlari doktori, professor

KIRISH

(doktorlik (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda galaktikalar boy to‘dolari Koinotning noyob ob’ektlaridan biri sifatida qaraladi va ushbu ob’ektlarga Koinotning katta masshtabdagi tuzilishi, modda tarkibi va evolyusiyasini o‘rganish kabi masalalarni hal qilish vositasi sifatida alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda galaktikalar boy to‘dalarini tadqiq qilishga qaratilgan xalqaro astronomik dasturlar jadal rivojlanib bormoqda hamda kosmik teleskoplar va keng ko‘lamli kuzatuv ma’lumotlari natijasida ularning zamonaviy kataloglari yaratilmoqda, aniqlangan galaktikalar boy to‘dolari soni oxirgi yillarda sezilarli darajada ortib, hozirgi kunda 168000 dan ortiq bunday to‘dalar ma’lum, ularning soni har yili taxminan 4000 tagacha ortib bormoqda. Yangi kataloglardagi boy to‘dalarning katta qismi avval ma’lum bo‘lmagan ob’ektlar hisoblanadi. Bu borada, galaktikalar boy to‘dalarining fizikasini kuzatuvlar orqali tushuntirish, ularning kosmologik kelib chiqishining muqobil senariylarini solishtirish, evolyusiyasini sonli modellashtirishga alohida e’tibor qaratilmoqda.

Jahonda yangi galaktikalar to‘dalarini izlash, ularni fotometriya qilish, qoramtir modda ulushini aniqlash, kataloglarini yaratish bo‘yicha muhim ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, galaktikalar boy to‘dalarini kosmik teleskoplarda kuzatish, ular orqali Koinotning yirik masshtabdagi tuzilishini aniqlash, to‘dalardagi yuqori energiyali fizik jarayonlarni kuzatish, qoramtir moddani o‘rganish, kosmologik parametrlarni aniqlash, to‘dalar tezligini topish, to‘da markazida qora tuynuk mavjudligini aniqlash, to‘dalarni maxsus sinflarga ajratish, yaqin masofadagi to‘dalarni tadqiq qilish, dinamik massasini aniqlash bo‘yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, galaktikalar boy to‘dolari bo‘yicha umumlashtirilgan maxsus kataloglarni yaratish, ularning statistik tahlillarni amalga oshirish, asosiy fizik parametrlarini o‘rganish, ular orasida empirik bog‘lanishlarini aniqlash hamda dinamik evolyusiyasini modellashtirish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda fundamental fanlar, jumladan zamonaviy astrofizikaning ustuvor yo‘nalishlarini rivojlantirish bo‘yicha keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarda yangi O‘zbekistonni rivojlantirishning taraqqiyot strategiyasi¹ bilan bog‘liq fundamental tadqiqotlar yo‘nalishlarida mamlakatimiz ilm-fanini rivojlantirish bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, kosmik tadqiqotlar va texnologiyalarni rivojlantirish, xalqaro standartlar darajasida ilmiy tadqiqotlar olib borish, kuzatuv ma’lumotlarini qayta ishlashning yangi usullarini tadbiq qilish hamda mavjudlarini takomillashtirish, jumladan, galaktikalar boy to‘dolari bo‘yicha kuzatuv ma’lumotlari bankini yaratish, kuzatuv ma’lumotlarini tahlil

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni.

qilish orqali ko‘plab noyob bog‘lanishlarni aniqlash, kuzatuv materiallari asosida to‘dalarning dinamik va evolyusion parametrlarini aniqlash, ularning evolyusion bosqichlarini modellashtirish muhim hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasining 2019-yil 29-oktyabrdagi “Fan va ilmiy faoliyat to‘g‘risida”gi O‘RQ-576-son Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktyabrdagi “2030-yilgacha ilm-fanni rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-6097-son Farmoni hamda O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 23 noyabrdagi “Kosmik tarmoqni yanada rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-429-son Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurslarni tejash" ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Hozirgi vaqtda dunyoning ko‘pgina yetakchi olimlari galaktikalar to‘dalarini ochish, ularni kuzatish, fotometrik tadqiqotlar olib borish, to‘dalar fizikasi va o‘ziga xos xususiyatlarini o‘rganish, bu tizimlarni modellashtirish bilan shug‘ullanmoqdalar. Masalan, amerikalik (Eybell, Korvin, Olovin, Gorenshteyn, Taker, Bautz, Morgan), nemis (Kluge, Bender), chililik (Piraino-Cerda, Jaffe, Lourenco, Salkars, Pallero), koreys (Kim, Shin), meksikalik (Bravo-Alfaro), rus (Kopylov, Kopylova), xitoylik (Ven, Xan, Lyu) va boshqa olimlardir.

Galaktika to‘dalarining 2712 ta ob’ektidan iborat katalogi yaratilgan. Katalogdan yagona statistik namunaga ega 1682 ta ob’ekt tanlab olingan (Eybell). Galaktikalar boy to‘dalari sekundiga bir necha kilometr tezlikda harakatlanishi aniqlangan, radiusi to‘da radiusiga deyarli teng bo‘lgan qora tuynuk mavjudligi qayd etilgan (Gorenstein, Tucker). Galaktikalar to‘dalarini sinflashtirish masalalari ko‘rib chiqilgan va ularning turli sinflarga bo‘linishi ko‘rsatilgan (Eybell, Baus, Morgan), galaktikalar to‘dalari alohida o‘rganilgan, kichik masofadagi galaktikalar to‘dalari ham tadqiq etilgan va yorug‘lik tezligidan foydalanib ularning dinamik massalari aniqlangan (Kopylov, Kopylova). Biroq, galaktikalar to‘dalari uchun barcha kuzatuv ma’lumotlari to‘planmagan va ularning kuzatuv ma’lumotlari yetarli darajada statistik tahlil qilinmagan.

O‘zbekistonda galaktikalar va ularning to‘dalarining keng ko‘lamli muammolari bo‘yicha tizimli kuzatishlar natijalari O‘zbekiston Milliy universiteti professori S.Nurritdinov rahbarligida uning shogirglari tomonidan tahlil etilgan. Ushbu tadqiqotlar natijasida ushbu ob’ektlarning ma’lumotlar bazasi qisman shakllantirildi, galaktikalar va ularning to‘dalari, galaktikalar turlari bo‘yicha ma’lumotlarning statistik tahlili orqali katalog tuzilgan hamda kuzatuv va nazariy sirtiy zichlikni taqqoslash yo‘li bilan 5 dan ortiq galaktikalardan iborat to‘dalar uchun tezliklar anizotropiya parametrining qiymati aniqlangan. Biroq, galaktikalar

boy to‘dalari uchun kuzatuv ma’lumotlarini to‘plash asosida to‘liq katalog tuzilmagan va kuzatuv ma’lumotlarining statistik tahlili va anizotropiya parametri, sirtiy zichlikni aniqlash usullari va sirtiy zichlik asosida ularning markaziga nisbatan konsentratsiya parametri aniqlanmagan, bular esa ularning kelib chiqishini kengroq tushunish uchun muhim ma’lumotdir.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya olib borilayotgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog‘liqligi. Tadqiqot universitetning ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq, “Galaktikalar va ular podsystemalari kuzatuv ma’lumotlari taxlili hamda ularning evolyusiyasini sonli modellashtirish” mavzusi doirasida amalga oshirilgan.

Tadqiqotning maqsadi galaktikalar boy to‘dalari bo‘yicha kuzatuv ma’lumotlari bankini yaratish, ular fizik parametrlari orasidagi empirik bog‘liqliklarni izlash va galaktika to‘dalari misolida sferik sistemalarning dinamik evolyusiyasini modellashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

galaktikalar boy to‘dalarining kuzatuv ma’lumotlarini tahlil qilish asosida ularning umumlashtirilgan yangi maxsus katalogini tuzish;

galaktikalar boy to‘dalarining umumlashtirilgan katalogini statistik tahlillarini amalga oshirish;

galaktikalar boy to‘dalarining fizik parametrlari orasida bog‘lanish diagrammalarini tuzish va asosiy fizik parametrlari orasidagi empirik bog‘lanishlarni izlash;

galaktikalar to‘dalarining dinamik evolyusiyasini modellashtirish fonida ularning masshtabli tuzilmalari kelib chiqishi nazariyalarini tushuntirish.

Tadqiqot ob’ekti galaktikalar boy to‘dalari va ularning tizimlari kabilar hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti galaktika boy to‘dalari fizik parametrlari orasidagi statistik va empirik formulalari, sferik tizimlarning asosiy fizik xususiyatlari, kuzatuv ma’lumotlari bo‘yicha sferik tizimlarni modellashtirish.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida sonli usullar, statistik bog‘liqliklarni topish uchun eng kichik kvadratlar usuli, simpleks usuli, differensial tenglamalar sistemasini yechishning analitik va anizotropiya parametrini hisoblash uchun χ^2 usullari qo‘llanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ilk marotaba galaktikalar juda boy to‘dalari uchun astrofizik kuzatuv ma’lumotlarini tahlil qilish hamda mavjud kataloglar ma’lumotlari asosida 213 ta obyektidan iborat maxsus katalog tuzilgan;

ilk bor galaktikalar boy to‘dalarining markaziga nisbatan sirtiy zichliklari aniqlanib, ular orqali to‘daning markaziga nisbatan konsentratsiya darajasi qiymatlari aniqlangan;

ilk bor galaktikalar boy to‘dalari uchun ularning massasi va boylik darajasi qiymatlari orasida empirik bog‘liqlik topilgan;

ilk marta 40 ta galaktikalar boy to‘dolari uchun kuzatuv ma’lumotlari asosida tezliklar anizotropiya parametrining qiymatlari va ularning 25 foizi sferik taqsimotga ega ekanligi aniqlangan;

ilk bor ikkita model asosida galaktikalar boy to‘dalarining dinamik evolyusiyasi modellashtirilib, uning markaziy (yadro) qismi dastlab ixcham va kuchli konsentratsiyaga ega bo‘lishi, keyinchalik cho‘zilgan shaklni olishi, galo qismi esa vaqt o‘tishi bilan uzluksiz ravishda kengayishi isbotlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

galaktikalar boy to‘dalariga oid 213 ta ob’ektdan iborat katalog Koinotning yirik masshtabdagi tuzilishini hamda kosmologik parametrlarini (masalan, modda zichligi, qoramtir modda ulushi) aniqlash imkonini bergan;

sirtiy zichlik asosida hisoblangan konsentratsiya parametri orqali galaktika to‘dalarining ichki tuzilishi va evolyutsion bosqichi o‘rganilgan hamda dinamik beqarorligi baholangan;

massa va boyluk daraja orasidagi empirik bog‘liqlikdan galaktika to‘dalarining massasi bevosita o‘lchanmasdan u ushbu bog‘liqlik orqali baholangan, tezliklar anizotropiya parametri esa ularning dinamik holatini o‘rganish imkonini bergan;

sonli modellashtirish natijalari galaktika to‘dalarining dinamikasi bilan bog‘liq bo‘lib, yadroning ixchamligi (kuchli konsentratsiyaga ega bo‘lishi) va galoning kengayishi to‘daning evolyusion qonuniyatlarini ochib bergan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi ishda kuzatuv ma’lumotlari statistik tahlilining zamonaviy va aprobatsiyadan o‘tgan usullaridan, yuqori aniqlikdagi sonli hisoblash usullaridan, matematik tahlil usullaridan va matematik statistikadan foydalanilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, tuzilgan galaktikalar boy to‘dolari katalogi va uni statistik o‘rganish natijalari ushbu ob’ektlarning shakllanishi va galaktikalar to‘dalarida sodir bo‘ladigan evolyusion jarayonlarni o‘rganish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Olingan natijalarning amaliy ahamiyati shundan iboratki, ular yangi galaktikalar to‘dalarini o‘rganish va ularni tadqiq qilishda foydalaniladi. Shuni alohida ta’kidlash kerakki, galaktikalar boy to‘dolari katalogi va aniqlangan bog‘liqliklar va ularni hosil qilish mezonlarini Koinot tuzilishini o‘rganishga qo‘shilgan bebaho hissa deb hisoblash mumkin. Tadqiqot natijalaridan yangi galaktika to‘dalarini qidirishda va Koinotni umumiy o‘rganishda foydalanish mumkin. Ularning dinamik evolyusiyasini tahlil qilishda anizotropiya parametrining topilgan qiymatlari, boy to‘dalar katalogi, olingan empirik formulalar va galaktika to‘dalarining sonli tahlili natijalaridan foydalaniladi.

Tadqiqot natijalari joriy qilinishi. Dissertatsiya natijalari quyidagilarga joriy etilgan:

galaktikalar boy to‘dalarining statistik tahlil natijalari va topilgan empirik bog‘liqliklardan TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental

va amaliy tadqiqotlar institutining ilmiy laboratoriyasida olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida Novikov va Torns disk modelida qora o'ralarning energiyasini o'rganishda foydalanilgan (TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar institutining 2025 yil 20 iyundagi 01/25-105-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, qora o'ra yaqinidagi zarrachalar to'qnashishi mumkin bo'lgan kritik burchakning yuqori chegarasi hamda to'qnashayotgan zarrachalar energiyasining quyi chegarasi qiymatlari topilgan;

galaktikalar to'dasi markaziga nisbatan aniqlangan konsentratsiya darajasi hamda tezliklar anizotropiya parametri qiymatlaridan TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar institutining ilmiy laboratoriyasida olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida magnitlangan zarrachalarning tashqi magnit maydondagi Bocharov-Bronnikov-Melnikov-Bekenshteyn qora o'rasi atrofidagi harakatini tekshirishda foydalanilgan (TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar institutining 2025 yil 20 iyundagi 01/25-105-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, tezliklar anizotropiya parametri magnitlangan zarrachalarning tashqi magnit maydonini o'zgartirishi aniqlangan;

sonli modellashtirishdan olingan natijalardan TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar institutining ilmiy laboratoriyasida olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida tashqi magnit maydonlar va skalyar o'zaro ta'sirlarda ultrarelyativistik zarrachalarning paydo bo'lishini o'rganishda foydalanilgan (TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar institutining 2025 yil 20 iyundagi 01/25-105-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, magnit maydonlar atrofida zarrachalarning shakllanish mexanizmlari modellashtirish natijalari orqali aniq tushuntirilishi isbotlangan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi. Dissertatsiyaning asosiy natijalari 5 ta xalqaro va respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarida taqdim etilgan va muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha olingan natijalarning asosiy mazmuni 15 ta ilmiy ishda bayon etilgan bo'lib, ulardan 8 tasi doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini nashr etish uchun Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan xorijiy va milliy jurnallarda chop etilgan ilmiy maqolalardir.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyaning tuzilishi kirish, to'rt bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya hajmi 103 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob'ekti va predmeti tavsiflangan, O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining

ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi, amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr qilingan ishlar, dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Birinchi bob **“Galaktikalar to‘dolari bo‘yicha kuzatuvlar ma‘lumotlari haqida”** deb nomlanib, unda galaktikalar to‘dolari bo‘yicha kuzatuv ma‘lumotlarining qiyosiy tahlili berilgan, ularning alohida xususiyatlari ko‘rib chiqilgan, bu ob‘ektlar bo‘yicha asosiy kuzatuv ma‘lumotlari keltirilgan va galaktika to‘dalarining boylik muammosi hamda ularning kelib chiqish fizikasida mavjud muammolar ko‘rib chiqilgan.

“Galaktikalar boy to‘dalarining umumlashtirilgan katalogi va uning tahlili” deb nomlangan ikkinchi bobda galaktika to‘dolari bo‘yicha kuzatuv ma‘lumotlari natijalariga oid adabiyotlar tahlil qilingan. Galaktika to‘dolari fizikasidagi mavjud muammolar ko‘rib chiqilgan va ushbu ob‘ektlar bo‘yicha kuzatuv ma‘lumotlari tahlil qilingan. Dastlab dissertatsiya ishida foydalanilgan ma‘lumotlar bazalari hamda kataloglar haqida ma‘lumotlar batafsil berilgan. Kuzatuv ma‘lumotlari tahlili asosida 213 ta ob‘ektdan iborat galaktikalar boy to‘dalarining umumlashtirilgan katalogi tuzilgan. Katalog ob‘ektlarini tanlash uchun mezonlar ishlab chiqilgan: birinchidan, r_{200} radius (to‘dalarning o‘rtacha zichligi Koinotning kritik zichligidan 200 baravar katta bo‘lgan to‘da radiusi) doirasida to‘dalarning boylik darajasi 100 dan katta bo‘lishi kerak; ikkinchidan, ko‘rib chiqilayotgan to‘dadagi galaktikalarning taqsimoti sferik shaklga ega bo‘lishi kerak; uchinchidan, to‘dalar markazlarida galaktikalar kontsentratsiyasi zich bo‘lishi kerak.

Shuningdek, ushbu ob‘ektlarning massalari aniqlangan. Galaktika to‘dolari massalarining topilgan qiymatlari katalogga kiritilgan. Shuningdek, katalogda keltirilgan barcha parametrlar orasidagi korrelyatsiyalarni hisoblab chiqilgan. To‘daning massasi μ_{200} va boyligi R_L orasida korrelyatsiya aniqlangan, uning qiymati 0.712 tengligi topilgan hamda tegishli empirik munosabat quyidagi ko‘rinishga egaligi aniqlangan:

$$\lg\mu_{200} = 14.818 (\pm 0.026) + 0.029 (\pm 2 \times 10^{-4}) R_L. \quad (1)$$

To‘daning massasi μ_{200} va boyligi R_{L500} orasida hamda μ_{500} va boyligi R_{L500} orasida xuddi shunday o‘xshash bog‘liqlik korrelyatsiyasi 0.702 ga teng va unga mos keladigan empirik munosabat quyidagicha:

$$\lg\mu_{200} = 14.945 (\pm 0.018) + 0.002 (\pm 1.35 \times 10^{-4}) R_{L500}. \quad (2)$$

$$\lg\mu_{500} = 14.671 (\pm 0.016) + 0.003 (\pm 1.24 \times 10^{-4}) R_{L500}. \quad (3)$$

Shuningdek, to‘daning massasi μ_{500} va galaktikalar soni N_{500} orasidagi korrelyatsiya aniqlandi: 0.843 ga teng. Ushbu parametrlar orasidagi empirik bog‘liqlik ham topildi:

$$\lg\mu_{500} = 14.773 (\pm 0.024) + 0.004 (\pm 3.46 \times 10^{-4}) N_{500}. \quad (4)$$

Ko‘rinib turibdiki, galaktikalar soni qancha ko‘p bo‘lsa, to‘dalarning massasi shunchalik katta bo‘ladi, ya‘ni to‘dalar zichroq bo‘ladi.

“Konsentratsiya darajasi va anizotropiya parametri qiymatini hisoblash” deb nomlanuvchi uchinchi bobda galaktikalar to‘dalari uchun sirtiy zichlikni aniqlashning muammolari bo‘yicha tahlil natijalari keltirilgan. Dastlabki paragrafda galaktikalar to‘dalari uchun sirt zichlikni aniqlash metodikasi berilgan. Buning uchun SDSS ma’lumotlar bazasida berilgan tasvirlardan foydalanildi. Tasvir halqalarga bo‘lingan va har bir halqaning yuzasi topilgan hamda ularning bir xil bo‘lishi zarur. Tasvirda 20 ta halqa tanlangdi va sirtiy zichlik qiymatlarini hisoblandi.

To‘da markaziga nisbatan galaktikalar konsentratsiyasi darajasini ifodalovchi parametr qiymatlari kuzatuv ma’lumotlari bo‘yicha 40 ta to‘da uchun hisoblab topilgan. Sirtiy zichlik taqsimot funksiyasi $\sigma(r)$ ni ifodalovchi quyidagi formula orqali aniqlanuvchi model tanlab olindi:

$$\sigma(r, \gamma, r^*, \sigma_0) = \sigma_0 \left[1 + \left(\frac{r}{r^*} \right)^2 \right]^{-\gamma}, \quad (4)$$

bu yerda σ_0 , r^* , γ erkin parametrlar, ya’ni γ – to‘da markaziga nisbatan yulduzlar konsentratsiya darajasi bilan bog‘liq parametr, r^* - to‘da yadrosining radiusi r_c bilan bog‘liq kattalik va σ_0 – markazdagi ko‘rinma zichlik. Aniqlangan sirtiy zichlikdan foydalangan holda γ parametrning qiymatlari 40 ta to‘da uchun aniqlandi (1-jadval).

1-jadval. Galaktikalar to‘dalari modeli parametrlari va konsentratsiya darajasini hisoblash natijalari

No	Galaktika to‘dalarining identifikatori	F ₀	r [*]	γ
1	J001051.4+290940	155,6814	0,1931	0,2462
2	J002016.1+000446	78,4472	0,8172	0,3175
3	J002712.5-193045	85,6719	0,574	0,2415
4	J002800.9+244744	241,8503	0,231	0,3669
5	J004118.5+252609	72,5782	0,2149	0,1508
6	J004511.7+084111	40,9774	2,4684	0,3908
7	J023127.6+065856	82,7679	0,5312	0,2619
8	J023952.7-013419	386,835	0,1613	0,3569
9	J083057.3+655031	117,9669	0,4227	0,2607
10	J085007.9+360414	112,2458	1,1409	0,3528
11	J090912.7+105829	203,5664	0,1259	0,2804
12	J091609.0-002226	77,5699	1,4599	0,3187
13	J091753.4+514338	386,4694	0,1315	0,3351
14	J092048.3+302818	132,4687	0,1242	0,1712
15	J094951.8+170711	133,7621	0,514	0,2986
16	J100226.8+203102	109,7053	0,6505	0,2510
17	J105417.5+143904	160,7753	0,2526	0,2664
18	J111450.3-121351	171,6555	0,1563	0,2440
19	J112358.8+212850	83,036	0,5638	0,2263
20	J113553.9+400132	14,2845	2,1784	0,2540
21	J115235.4+371543	18,4877	0,1334	0,1006
22	J115914.9+494748	33,2696	0,4127	0,2469

23	J121218.5+273255	40,0439	0,6385	0,3299
24	J122902.5+473721	39,3388	0,2603	0,2649
25	J123048.9+103247	17,9791	2,1219	0,3066
26	J124932.5+495344	16,9474	0,054	0,0371
27	J130650.0+463333	20,964	2,5626	0,5735
28	J131129.5-012028	121,2828	1,0006	0,3661
29	J131505.2+514903	149,471	0,516	0,3095
30	J133238.4+503336	215,0104	0,1807	0,2719
31	J133520.1+410004	173,7122	0,1898	0,2133
32	J140102.1+025242	94,3957	1,1394	0,3554
33	J141424.1-002240	20,8051	0,2613	0,1289
34	J144431.8+311336	236,0683	0,0694	0,2307
35	J153940.5+342527	162,4453	0,248	0,2380
36	J155820.0+271400	221,4657	0,1008	0,2334
37	J160319.0+031645	104,5931	0,5564	0,2300
38	J164019.8+464242	371,6218	0,0326	0,2324
39	J164325.4+132236	132,0536	0,2691	0,2209
40	J212823.4+013536	99,4691	1,4662	0,3122

Ko‘rinib turibdiki, konsentratsiya darajasi qiymatlari (0.03; 0.58) intervalda yotadi.

Galaktikalar to‘dalari asosiy xarakteristikalarini bilan konsentratsiya darajasi γ ning turli xil bog‘lanishlari ko‘rib chiqildi. Hisoblangan korrelyatsiya koeffitsienti qiymatidan ma‘lum bo‘ldiki, konsentratsiya darajasi to‘dalarning ayrim xarakteristikalarini bilan chiziqli bog‘langan. Masalan, konsentratsiya darajasi γ to‘dagacha masofaga chiziqli ravishda bog‘liq (korrelyatsiya koeffitsient 0.61 teng):

$$\gamma = -0.197(\pm 0.101) + 0.345(\pm 0.076) \cdot r_{500} \quad (5)$$

To‘dalargacha masofa qanchalik katta bo‘lsa, konsentratsiya darajasi γ shunchalik kichik.

Shuningdek, konsentratsiya darajasi va to‘daning boylik darajasi orasida ham chiziqli bog‘lanish borligi (korrelyatsiya 0.59 ga teng) aniqlandi:

$$\gamma = 0.109(\pm 0.037) + 0.001(\pm 2.3 \cdot 10^{-4}) \cdot R_{L500}. \quad (6)$$

Ko‘rinib turibdiki, boylik daraja ortgan sari γ ning qiymati o‘sib boradi.

Konsentratsiya darajasining qizilga siljishga bog‘liqligi va ular orasidagi korrelyatsiya koeffitsienti $\rho=0.62$ ga tengligi aniqlandi. Bunga mos ravishda empirik formula quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\gamma = 0.142(\pm 0.029) + 0.474(\pm 0.104) \cdot z. \quad (7)$$

Ko‘rinib turibdiki, qizilga siljish qiymatining oshishi bilan γ ning ortishi, ya‘ni to‘dalar konsentratsiyasining asta-sekin kamayishi kuzatiladi. Shuni ta‘kidlash kerakki, γ ning radius (r_{200}) ga va to‘dalarning ko‘rinma kattaligiga nisbatan juda zaif bog‘liqligi mavjud. Bu holdagi korrelyatsiya koeffitsientlari mos ravishda 0,19 va 0,22 ni tashkil qiladi.

Bundan tashqari, galaktika to‘dalarining aloxida xarakteristikalarining ushbu ob‘ektlarning evolyutsiyasi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin bo‘lgan dinamik

parametrlari bilan bog‘liqligini izlash zarurati qayd etilgan. Bu parametrlardan biri tezliklar anizotropiya parametri $A = \frac{2\overline{\Pi^2} - \overline{T^2}}{\overline{\Pi^2}}$ bo‘lib, bu yerda $\overline{\Pi^2}$ va $\overline{T^2}$ mos ravishda radial va ko‘ndalang (transversal) yo‘nalishdagi tezlik dispersiyasidir. Ta’kidlag kerakki, tezliklar anizotropiya parametri, birinchidan, kuzatuv ma’lumotlarini nazariy hisob-kitoblar bilan bog‘laydi, ikkinchidan, uning qiymati evolyutsiya bosqichini taxmin qilish imkonini beradi. Shuning uchun biz 40 ta galaktika to‘dasi uchun sirt zichlik taqsimoti bo‘yicha kuzatuv ma’lumotlaridan foydalandik. Quyida 2-jadvalda galaktika to‘dalarining asosiy xarakteristikalar va tezliklar anizotropiya parametrining hisoblab topilgan qiymatlari keltirilgan.

2-jadval. Galaktika to‘dalari uchun asosiy fizik xarakteristikalar va tezliklar anizotropiya qiymatlari

No	Galaktika to‘dalarining identifikatori	A	No	Galaktika to‘dalarining identifikatori	A
1	J001051.4+290940	0,08	21	J115235.4+371543	0,08
2	J002016.1+000446	0,00	22	J115914.9+494748	1,36
3	J002712.5-193045	0,88	23	J121218.5+273255	0,00
4	J002800.9+244744	1,50	24	J122902.5+473721	0,00
5	J004118.5+252609	0,60	25	J123048.9+103247	0,00
6	J004511.7+084111	0,48	26	J124932.5+495344	0,00
7	J023127.6+065856	1,12	27	J130650.0+463333	0,00
8	J023952.7-013419	1,44	28	J131129.5-012028	0,84
9	J083057.3+655031	0,88	29	J131505.2+514903	1,04
10	J085007.9+360414	0,72	30	J133238.4+503336	1,12
11	J090912.7+105829	1,24	31	J133520.1+410004	0,80
12	J091609.0-002226	0,56	32	J140102.1+025242	0,72
13	J091753.4+514338	1,32	33	J141424.1-002240	0,16
14	J092048.3+302818	0,72	34	J144431.8+311336	1,00
15	J094951.8+170711	0,92	35	J153940.5+342527	0,96
16	J100226.8+203102	0,76	36	J155820.0+271400	0,20
17	J105417.5+143904	1,00	37	J160319.0+031645	0,84
18	J111450.3-121351	1,08	38	J164019.8+464242	1,00
19	J112358.8+212850	0,96	39	J164325.4+132236	0,00
20	J113553.9+400132	0,00	40	J212823.4+013536	0,80

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, 10 ta galaktika to‘dasi nolga yaqin anizotropiya parametri qiymatlariga ega, ya’ni to‘dalarning 25 foizi sferik tezliklar taqsimotiga ega hamda evolyutsiyaning oxirgi bosqichida bo‘lishi mumkin. 9 ta to‘da uchun tezliklar anizotropiya parametrining qiymatlari 1 dan katta. Shuning uchun bu to‘dalardagi tezliklar taqsimoti radial cho‘zilgan holatga to‘g‘ri keladi, bu ularning regulyar maydondagi statsionar bo‘lmaganligi bilan bog‘liq bo‘ladi.

So‘ng, tezlik anizotropiya parametrining qiymatlarini taqqoslab, biz ularni shartli ravishda uchta sinfga bo‘lish mumkinligini ko‘ratdik:

Sinflar	A	To‘dalar soni
1	$0 \leq A \leq 0.5$	13
2	$0.5 < A \leq 1$	18
3	$1 < A \leq 1.5$	9

Ta’kidlab o‘tish kerakki, $1.50 < A < 2$ oralig‘ida bitta ham to‘da mavjud emas, bu kekusida galaktika to‘dalarining ko‘rinma zichligi bo‘yicha qo‘shimcha ma’lumotlarni izlashni talab etadi.

Shuningdek, biz anizotropiya parametrining boshqa fizik xususiyatlar bo‘yicha korrelyatsiya koeffitsienti qiymatlarini hisobladik va tegishli empirik formulalarni topdik. Ma’lumotlar tahlilidan anizotropiya parametri va to‘dadagi galaktikalar soni orasida empirik munosabat mavjudligini aniqladik:

$$A = -0.499(\pm 0.321) + 0.009(\pm 0.002) \cdot N_{200} \quad (8)$$

$$A = -0.503(\pm 0.291) + 0.013(\pm 0.003) \cdot N_{500} \quad (9)$$

Ko‘rinib turibdiki, anizotropiya parametri qiymatining oshishi bilan to‘dalardagi galaktikalar soni ham ortadi. Bunda korrelyatsiya koeffitsienti $\rho = 0,54$ ga teng.

Biz tomondan anizotropiya parametri va boylik daraja orasida yaxshi korrelyatsiya ($\rho = 0,57$ va $0,68$) va quyidagi statistik formulalar topildi:

$$A = -0.602(\pm 0.314) + 0.008(\pm 0.002) \cdot R_L \quad (10)$$

$$A = -0.587(\pm 0.291) + 0.008(\pm 0.002) \cdot R_{L500} \quad (11)$$

Empirik bog‘liqlik (10 va (11) lardan ko‘rinib turibdiki, to‘daning boylik darajasining oshishi anizotropiya parametrining qiymatini ham oshiradi.

Shuningdek, galaktika to‘dalarining konsentratsiya darajasi va tezliklar anizotropiya parametri orasidagi bog‘liqlikni ham ko‘rib chiqdik. Bu holatda juda yaxshi korrelyatsiya topildi ($\rho = 0,796$) va empirik bog‘liqlik qayd etildi:

$$A = 0.097(\pm 0.156) + 3.462(\pm 0.588) \cdot \gamma \quad (12)$$

Formula (12) dan ko‘rinib turibdiki, konsentratsiya darajasi qiymatining oshishi bilan tezliklarning anizotropiya parametri ham ortadi.

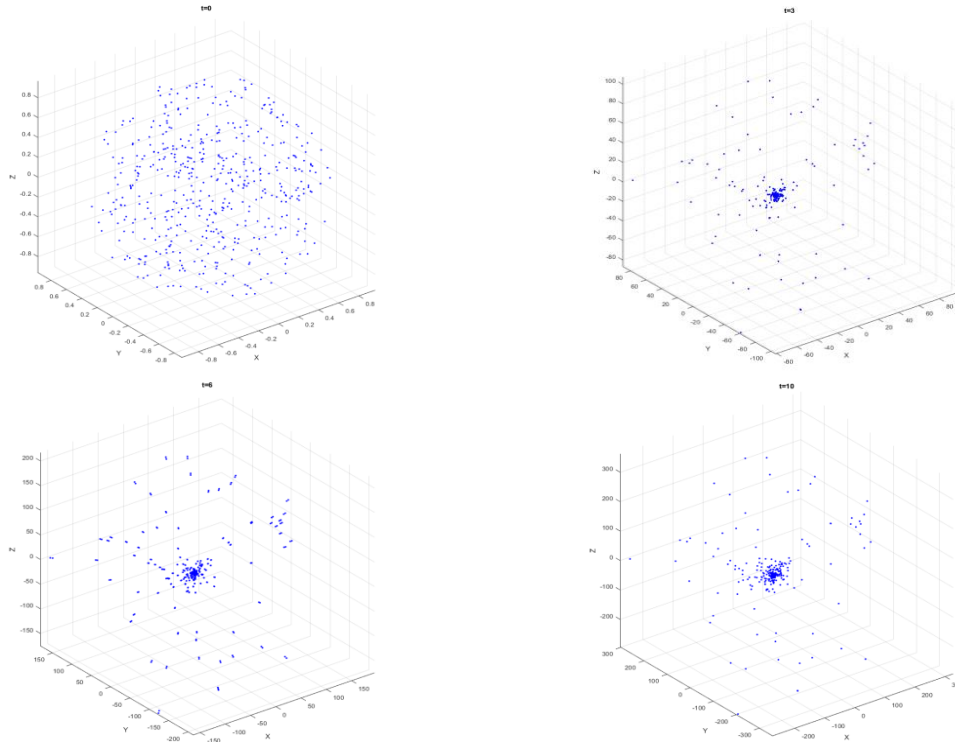
“Galaktikalar to‘dalari evolyusiyasini modellashtirish” nomli to‘rtinchi bob avvalgi bobning mantiqiy davomi bo‘lib, galaktikalar to‘dalarining dinamik evolyusiyasini sonli modellashtirishga bag‘ishlangan. Dastlabki paragrafda galaktikalar to‘dalari evolyusiyasini modellashtirishning nazariy masalalari qaralgan. Bunda foydalaniladigan qo‘llaniladigan zamonaviy usullardan bo‘lgan N-ta jismni modellashtirish haqida gap yuritilgan. Shuni hisobga olgan holda, bu bobda galaktikalar to‘dalari evolyusiyasini o‘rganishning asosiy usullari, masalan, gidrodinamik usul, N-ta jism tenglamalarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri integrallash usuli va Monte-Karlo usuli keltirilgan. Galaktika to‘dalarini o‘rganish uchun biz uning evolyusiyasini sonli modellashtirish orqali ko‘rib chiqdik. Buning uchun N-ta jismlarning harakat tenglamalarini Aarset dasturi yordamida bevosita integrallash usulidan foydalandik.

Ishda ikkita modelni ko‘rib chiqdik, ulardagi jismlar soni mos ravishda 500 va 1000. Birinchi modelda sistema sferik bir jinsli, izotrop taqsimotga ega.

Koordinatalar va tezliklar tasodifiy sonlar generatori yordamida olinadi. Barcha jismlarning massalari bir xil. Ikkinchi modelda zarrachalar taqsimoti Plammer modeliga bo‘ysunadi.

Hisoblash natijalari grafiklar shaklida taqdim etilgan. Har bir model uchun sistemadagi jismlarning joylashuvidagi o‘zgarishlar va turli vaqt momentlari uchun tezliklarning taqsimlanishi berilgan.

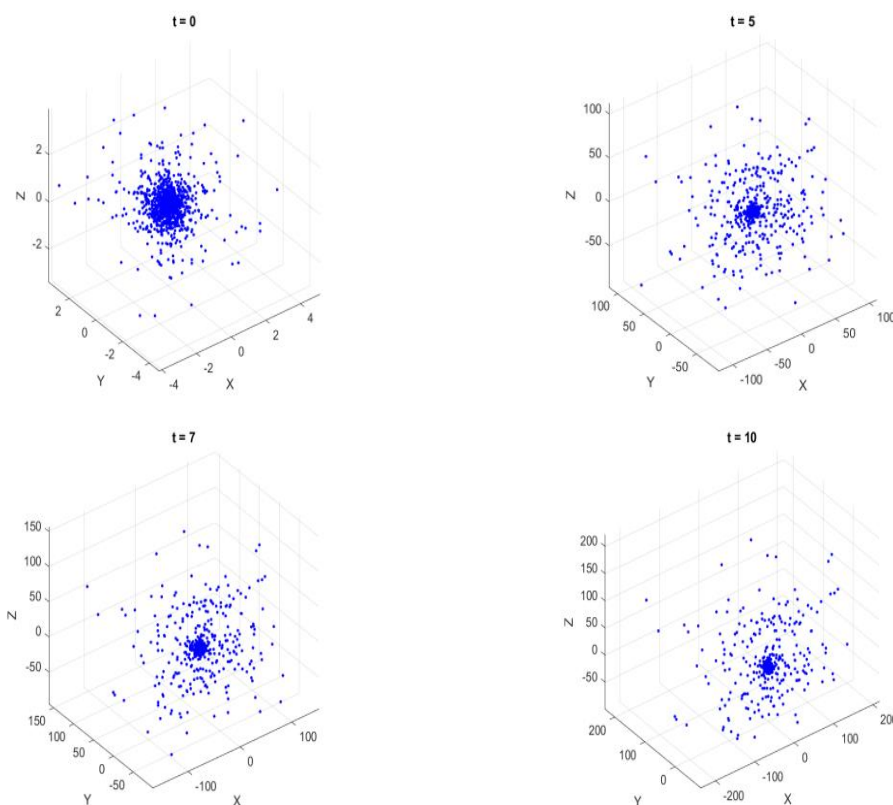
1-model (birjinsli model). Ushbu modelda sistema zichligi masofaga bog‘liq bo‘lmagan vaqtning boshlang‘ich momentida sistemadagi jismlarning fazaviy taqsimoti olindi.



1-rasm. Bir jinsli va izotrop model uchun sonli modellashtirish natijalari (turli vaqt momentida markaziy soha)

1-rasmda turli vaqt momentlari uchun jismlar koordinatalarining proeksiyasi ko‘rsatilgan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, evolyusiyaning dastlabki bosqichida sistema kollapslanadi: markazda zich yadro hosil bo‘ladi va uning atrofida qobiq hosil bo‘ladi. Keyingi bosqichlarda yadro konsentratsiyasi pasayadi va u cho‘zila boshlaydi, sistemaning umumiy o‘lchamlari kattalasha boshlaydi. Sistema jismlarining taqsimlanishi taxminan Gauss taqsimotiga bo‘ysunadi va u evolyusiya oxirigacha deyarli o‘zgarishsiz qoladi.

2-chi model (Plammer modeli). Hisob-kitoblar natijalari 2-rasmda ko‘rsatilgan.



2-rasm. Plammer model uchun sonli modellashtirish natijalari (turli vaqt momentida markaziy soha)

Vaqtning dastlabki momentida sistema jismlarining zichligi masofa kvadratiga teskari proporsionaldir. 2-modelda sistema evolyusiyaning dastlabki bosqichida ham kollapslanadi: sistema biroz siqiladi va markazda ixcham yadro hosil bo'ladi. Ushbu modelning birinchisidan farqi shundaki, yadro atrofida ixcham galo paydo bo'ladi: a) yadro o'lchamlari juda katta; b) galo tarkibi biroz zich va butun sistema simmetriyaga ega. Keyinchalik sistema kengayishni boshlaydi va yadro ordinata o'qiga nisbatan cho'zila boshlaydi.

XULOSA

Ushbu dissertatsiya ishini bajarish davomida erishilgan quyidagi asosiy natijalar va xulosalar olindi:

1. Galaktikalarning juda boy to'dalarini kuzatuv ma'lumotlari asosida kompleks o'rganishga qaratilgan fundamental tadqiqotlar amalga oshirildi. Olingan natijalar asosida galaktikalar boy to'dalarining xususiyatlari, ularning strukturaviy parametrlari hamda dinamik evolyusiyasi haqidagi tasavvurlarni kengaytiruvchi ilmiy dalillar taqdim etildi.
2. Galaktikalar boy to'dalarining 213 obyektini qamrab olgan maxsus katalogi ular uchun empirik asosga ega bo'lgan muhim ma'lumotlar bazasini yaratdi. Ushbu katalog galaktikalar boy to'dalarining massasi, boylik darajasi,

strukturaviy yaxlitligi va fazoviy taqsimotining tavsifini olish imkonini berib, ular orasida chiziqli bog‘lanishlar mavjudligini ko‘rsatdi. Xususan, boyluk darajasi qiymatining ortishi massasining chiziqli ravishda ortishi ko‘rsatildi.

3. Galaktikalar boy to‘dalarining fazodagi tasimotining a’lum bir hududda to‘planishi ularning katta tuzilmalar bilan bog‘liqligini ko‘rsatdi. Sirtiy zichlik profillarining taqsimoti va konsentratsiya parametrining kuzatuvga asoslangan holda aniqlanishi esa to‘dalar konsentratsiya darajasini aniq miqdoriy tavsiflash imkonini berdi. Ushbu parametrning to‘dalar fizik kattalıkları bilan empirik bog‘lanishi ular ichki dinamikasi va tuzilmaviy evolyusiyasi haqida yangi ilmiy dalillar taqdim etdi.
4. To‘dalar dinamik xususiyatlari tahlili galaktikalar boy to‘dalari kinematik jihatdan bir xil emasligini ko‘rsatdi: tezlik anizotropiyasining topilgan qiymatlari ular uchta asosiy kinematik guruhga ajralishini tasdiqladi. Anizotropiya parametri nolga yaqin qiymatlarga ega bo‘lgan to‘dalar nisbatan yuqori ulushga egaligi, ular o‘z navbatida evolyusiyaning oxirgi bosqichiga yetib kelgan obyektlar ekanligini ko‘rsatdi.
5. Sonli modellashtirish natijalari kuzatuvdan olingan xulosalarni nazariy jihatdan mosligi ko‘rsatildi: to‘da yadrosining vaqt o‘tishi bilan ixcham holatdan cho‘ziq konfiguratsiyaga o‘tishi, galo qismining esa kengayishi galaktikalar to‘dalari evolyusiyasining murakkab, ko‘p bosqichli tabiatga egaligini ko‘rsatdi. Ayrim holatlarda butun sistemaning cho‘ziqlikdan sferik simmetriyaga qaytish jarayoni to‘dalar dinamik barqarorlashuviga xos bo‘lgan xususiyat sifatida kuzatildi.
6. Olingan natijalar galaktikalar juda boy to‘dalarining tuzilmaviy va dinamik xususiyatlari haqidagi empirik va nazariy tasavvurlarni sezilarli darajada boyitdi. Tadqiqot natijalari kelgusida galaktikalar to‘dalarining kosmologik ahamiyatini o‘rganish, ularning shakllanish va evolyusiyalanish mexanizmlarini aniqlashtirish, shuningdek, Koinotning katta masshtabli tuzilmalarining evolyutsiyasi haqidagi muhim ilmiy muammolarni yechishda asos bo‘lib xizmat qilishi aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
УЗБЕКИСТАНА**

**ЧИРЧИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ОТОЖАНОВА НИЛУФАР БАХТИЯРОВНА

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БОГАТЫХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК:
АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

01.03.02 – Физика космоса и астрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) физико-математических наук

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) физико-математических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министре высшего образования, науки и инновации Республики Узбекистан за № В2025.3.PhD/FM1361.

Диссертация выполнена в Чирчикском государственном педагогическом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.nuu.uz) и на Информационно-образовательном портале "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Кутлимуратов Сардор Шарипбаевич
доктор философии педагогических наук, доцент

Официальные оппоненты: Райимбаев Джавланбек Ражапбаевич
доктор физико-математических наук, профессор

Бурхонов Отабек Анваржонович
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

Ведущая организация: Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится "21" 04 2026 г. в 15⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 при Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г.Ташкент, ул. Университетская, 4; Тел.: (+99871) 227-12-24; факс (+99871) 246-53-21, 246-02-24, электронная почта: pauka@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (регистрационный номер 61). (Адрес: 100174, г.Ташкент, ул. Университетская, 4; Тел.: (+99871) 227-12-24; факс (+99871) 246-53-21, 246-02-24, электронная почта: pauka@nuu.uz).

Автореферат диссертации разослан "3" 04 2026 г.
(Реестр протокола рассылки № 4 от "3" 04 2026 г.)



Handwritten signature in blue ink.

С.Н. Нуритдинов

Председатель научного совета по присуждению ученой степени, доктор физико-математических наук, профессор

Ф.У. Ботиров

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор философии по физико-математическим наукам

И.У. Таджибаев

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор физико-математических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ **(аннотация докторской диссертации(PhD))**

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире богатые скопления галактик считаются одним из уникальных объектов Вселенной, и этим объектам придается особое значение как средству решения таких задач, как изучение крупномасштабной структуры, состава материи и эволюции Вселенной. В настоящее время в развитых странах быстро развиваются международные астрономические программы, направленные на изучение богатых скоплений галактик, и в результате работы космических телескопов и получения крупномасштабных наблюдательных данных создаются их современные каталоги. Число идентифицированных богатых скоплений галактик значительно возросло в последние годы, и в настоящее время известно более 168000 таких скоплений, и их число ежегодно увеличивается примерно на 4000. Подавляющее большинство богатых скоплений в новых каталогах являются ранее неизвестными объектами. В этой связи особое внимание уделяется объяснению физики богатых скоплений галактик посредством наблюдений, сравнению альтернативных сценариев их космологического происхождения и численному моделированию их эволюции.

В мире проводятся важные научные исследования по поиску новых скоплений галактик, проведению их фотометрии, определению доли темной материи и созданию каталогов. В этом направлении приоритетными задачами являются наблюдение за богатыми скоплениями галактик с помощью космических телескопов, что позволит определить крупномасштабную структуру Вселенной, наблюдать за высокоэнергетическими физическими процессами в скоплениях, изучать темную материю, определять космологические параметры, определять скорость скоплений, выявлять наличие черной дыры в центре скопления, делить скопления на специальные классы, изучать близлежащие скопления и определять их динамическую массу. Одновременно с этим неотложными задачами считаются создание специальных каталогов богатых скоплений галактик, проведение статистического анализа, изучение их основных физических параметров, определение эмпирических связей между ними и моделирование их динамической эволюции.

В Республике также реализуется комплекс широкомасштабных мер по развитию фундаментальных наук, в том числе приоритетных направлений современной астрофизики. В Стратегии развития Нового Узбекистана¹ на 2022-2026 годы определены важные задачи по развитию науки в стране в области фундаментальных исследований. Реализация этих задач, в частности, связана с развитием космических исследований и технологий, а

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы».

также проведением научных исследований на уровне международных стандартов. При выполнении этих задач важное значение приобретает создание банка наблюдательных данных по богатым скоплениям галактик, выявление множества уникальных связей посредством анализа наблюдательных данных, определение динамических и эволюционных параметров скоплений на основе наблюдательных материалов и моделирование их эволюционных стадий.

Реализация задач, определённых в Законе Республики Узбекистан № УП-576 от 29 октября 2019 года «О науке и научной деятельности», Указе Президента Республики Узбекистан № УП-6097 от 29 октября 2020 года «Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года», Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПК-429 от 23 ноября 2022 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию космической отрасли», а также в других нормативно-правовых документах, касающихся данной сферы, в определённой степени обеспечивается результатами настоящей диссертационной работы.

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

Степень изученности проблемы. В настоящее время многие ведущие учёные мира занимаются открытием скоплений галактик, их наблюдением, фотометрическими исследованиями, изучением физики и специфических свойств скоплений, моделированием этих систем и определением количества шаровых скоплений в скоплениях галактик. Например, американские (Эбелл, Корвин, Оловин, Горенштейн, Такер, Баутц, Морган), немецкие (Клюге, Бендер), чилийские (Пирайно-Серда, Джаффе, Лоуренко, Салькарс, Паллеро), корейские (Ким, Шин), мексиканские (Браво-Альфари), российские (Копылов, Копылова), китайские (Вэнь, Хань, Ли) и другие учёные.

Создан каталог скоплений галактик, состоящий из 2712 объектов. Из каталога отобрано 1682 объекта с единой статистической выборкой (Эйбелл). Было обнаружено, что богатые скопления галактик движутся со скоростью несколько километров в секунду, и было отмечено наличие чёрной дыры с радиусом, почти равным радиусу скопления (Горенштейн, Такер). Рассмотрена классификация скоплений галактик и показано их разделение на различные классы (Эйбелл, Баус, Морган), скопления галактик изучались отдельно, также изучались скопления галактик на малых расстояниях и определялись их динамические массы с использованием скорости света (Копылов, Копылова). Однако не все наблюдательные данные для скоплений галактик были собраны, и наблюдательные данные

вышеупомянутых ученых не были в достаточной степени статистически проанализированы.

Результаты систематических наблюдений по крупномасштабным проблемам галактик и их скоплений в Узбекистане были проанализированы студентами Национального университета Узбекистана под руководством профессора С.Нуритдинова. В результате этих исследований частично сформирована база данных этих объектов, составлен каталог на основе статистического анализа данных о галактиках и их скоплениях, типов галактик, а также определено значение параметра анизотропии скоростей для скоплений, состоящих более чем из 5 галактик, путем сравнения наблюдательных и теоретических поверхностных плотностей. Однако для богатых скоплений галактик полный каталог на основе сбора наблюдательных данных составлен не был, не был проведен статистический анализ наблюдательных данных и не определены параметр анизотропии, методы определения поверхностных плотностей и параметр концентрации относительно их центра на основе поверхностных плотностей, что является важной информацией для более широкого понимания их происхождения.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация. Исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательской работы университета в рамках темы «Анализ данных наблюдений галактик и их подсистем и численное моделирование их эволюции».

Цель исследования – создание банка наблюдательных данных по богатым скоплениям галактик, поиск эмпирических соотношений между их физическими параметрами и моделирование динамической эволюции сферических систем на примере скоплений галактик.

Задачи исследования:

составление нового обобщенного специального каталога богатых скоплений галактик на основе анализа данных их наблюдений;

статистический анализ обобщенного каталога богатых скоплений галактик;

построение диаграмм связей между физическими параметрами богатых скоплений галактик и поиск эмпирических связей между основными физическими параметрами;

обоснование теорий происхождения их крупномасштабных структур на фоне моделирования динамической эволюции скоплений галактик.

Объектом исследования являются богатые скопления галактик и их системы.

Предметом исследования являются богатые галактиками скопления, эмпирические формулы, основные физические свойства сферических систем, наблюдательные данные по моделированию сферических систем.

Методы исследования. В процессе исследования использовались численные методы, метод наименьших квадратов для поиска статистических зависимостей, метод симплекс-минимизации и метод χ^2 для расчета параметра анизотропии.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые на основе анализа астрофизических наблюдательных данных и из существующих каталогов по очень богатым скоплениям галактик создан специальный каталог, состоящий из 213 объектов;

впервые определены поверхностные плотности богатых скоплений галактик относительно их центра и вычислены значения параметра, характеризующего степени их концентрации относительно центра;

впервые найдена эмпирическая зависимость между массой и степенью богатства для богатых скоплений галактик;

впервые на основе наблюдательных данных определены значения параметра анизотропии скорости для 40 богатых скоплений галактик, 25% из которых имеют сферическое распределение;

впервые динамическая эволюция богатых скоплений галактик была смоделирована на основе двух моделей, и было доказано, что их центральная (ядерная) часть первоначально имеет компактную и сильную концентрацию, затем принимает вытянутую форму, а гало – непрерывно расширяется со временем.

Практические результаты исследования:

каталог из 213 объектов, принадлежащих к богатым скоплениям галактик, позволил определить крупномасштабную структуру Вселенной и ее космологические параметры (например, плотность материи, доля темной материи);

внутренняя структура и стадия эволюции скоплений галактик были изучены с использованием параметра концентрации, рассчитанного по поверхностной плотности, и оценена их динамическая неустойчивость;

эмпирическая зависимость между массой и степени богатства скоплений галактик позволяет оценить их массу без прямых измерений, а параметр анизотропии скорости позволил изучить их динамическое состояние;

результаты численного моделирования связаны с динамикой скоплений галактик, а компактность ядра (имеющего сильную концентрацию) и расширение гало выявили закономерности эволюции скопления.

Достоверность результатов исследования основана на использовании современных и апробированных методов статистического анализа наблюдательных данных, высокоточных численных методов расчета, методов математического анализа и математической статистики.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость исследования заключается в том, что составленный

каталог богатых скоплений галактик и результаты его статистического изучения служат основой для изучения формирования этих объектов и эволюционных процессов, происходящих в скоплениях галактик.

Практическая значимость полученных результатов заключается в их использовании при изучении новых скоплений галактик и их исследовании. Следует отметить, что каталог богатых скоплений галактик и выявленные зависимости и критерии их образования можно считать неопределимым вкладом в изучение строения Вселенной. Результаты исследования могут быть использованы при поиске новых скоплений галактик и в общем изучении Вселенной. Анализ их динамической эволюции использует найденные значения параметра анизотропии, каталог богатых скоплений, полученные эмпирические формулы и результаты численного анализа скоплений галактик.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертации внедрены:

результаты статистического анализа богатых скоплений галактик и найденные эмпирические формулы были использованы в исследованиях, проводимых в лаборатории Института фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета ТИИМСХ для изучения энергии черных дыр в модели диска Новикова и Торнса (справка № 01/25-105 Института фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета ТИИМСХ от 20 июня 2025 г.). В результате были определены верхний предел критического угла, при котором могут сталкиваться частицы вблизи черной дыры, и нижний предел энергии сталкивающихся частиц.

найденные значения параметров, выражающих степени концентрации, определяемый относительно центра скопления галактик, и значения параметра анизотропии скорости были использованы в исследованиях, проводимых в лаборатории Института фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета ТИИМСХ для исследования движения намагниченных частиц вокруг черной дыры Бочарова-Бронникова-Мельникова-Бекенштейна во внешнем магнитном поле (справка № 01/25-105 Института фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета ТИИМСХ от 20 июня 2025 г.). В результате было установлено, что параметр анизотропии скорости изменяет внешнее магнитное поле намагниченных частиц;

результаты численного моделирования были использованы в исследованиях, проводимых в лаборатории Института фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета ТИИМСХ для изучения возникновения ультрарелятивистских частиц во внешних магнитных полях и скалярных взаимодействиях (справка № 01/25-105 Института фундаментальных и прикладных исследований

Национального исследовательского университета ТИИМСХ от 20 июня 2025 г.). В результате было доказано, что механизмы образования частиц вблизи магнитных полей хорошо объясняются результатами моделирования.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на 5 международных и республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Основное содержание полученных результатов по теме диссертации изложено в 15 научных работах, 8 из которых – научные статьи, опубликованные в зарубежных и отечественных журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 103 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность и необходимость темы исследования, описываются цели и задачи, объект и предмет исследования, указывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники Республики Узбекистан, описываются научная новизна и практические результаты исследования, раскрывается научно-практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах, структуре диссертации.

Первая глава называется **«О наблюдательных данных по скоплениям галактик»**. В ней дается сравнительный анализ наблюдательных данных по скоплениям галактик, рассматриваются их специфические свойства, приводятся основные наблюдательные данные по этим объектам, а также рассматривается проблема распространенности скоплений галактик и существующие проблемы в физике их происхождения.

Во второй главе, озаглавленной **«Обобщенный каталог богатых скоплений галактик и его анализ»**, анализируется литература, посвященная результатам наблюдательных данных по скоплениям галактик. Рассматриваются существующие проблемы в физике скоплений галактик и анализируются наблюдательные данные по этим объектам. Прежде всего, подробно приводится информация о базах данных и каталогах, использованных в диссертации. На основе анализа наблюдательных данных составлен сводный каталог богатых скоплений галактик, состоящий из 213 объектов. Разработаны критерии отбора объектов каталога: во-первых, богатство скоплений в пределах радиуса r_{200} (радиуса скопления, при котором средняя плотность скоплений в 200 раз превышает критическую плотность Вселенной) должно быть больше 100; во-вторых, распределение

галактик в рассматриваемом скоплении должно иметь сферическую форму; в-третьих, концентрация галактик в центрах скоплений должна быть высокой.

Были оценены массы скоплений галактик. Полученные значения масс скоплений галактик включены в сводный каталог. Также были вычислены корреляции между всеми параметрами, указанными в каталоге. Была обнаружена корреляция между массой скопления μ_{200} и содержанием R_L , её значение составило 0,712, а соответствующее эмпирическое соотношение оказалось следующим:

$$\lg\mu_{200} = 14.818 (\pm 0.026) + 0.029 (\pm 2 \times 10^{-4}) R_L. \quad (1)$$

Аналогичная корреляция между массой скопления μ_{200} и содержанием R_{L500} , а также между μ_{500} и содержанием R_{L500} составляет 0,702, а соответствующее эмпирическое соотношение имеет вид:

$$\lg\mu_{200} = 14.945 (\pm 0.018) + 0.002 (\pm 1.35 \times 10^{-4}) R_{L500}. \quad (2)$$

$$\lg\mu_{500} = 14.671 (\pm 0.016) + 0.003 (\pm 1.24 \times 10^{-4}) R_{L500}. \quad (3)$$

Далее, обнаружена корреляция между массой скопления μ_{500} и числом галактик N_{500} : 0,843 и найдена эмпирическая зависимость между этими параметрами:

$$\lg\mu_{500} = 14.773 (\pm 0.024) + 0.004 (\pm 3.46 \times 10^{-4}) N_{500}. \quad (4)$$

Очевидно, что чем больше число галактик, тем больше масса скоплений, то есть тем плотнее скопления.

В третьей главе, озаглавленной «**Расчёт уровня концентрации и значения параметра анизотропии**», представлены результаты анализа задач определения поверхностной плотности скоплений галактик. В первом параграфе представлена методология определения поверхностной плотности скоплений галактик. Для этого использовались изображения, предоставленные в базе данных SDSS. Изображения были разделены на кольца и найдена поверхность каждого кольца, которая должна быть одинаковой. На каждом изображении было выбрано 20 колец и рассчитаны значения поверхностной плотности.

На основе наблюдательных данных для 40 скоплений были рассчитаны значения параметра, характеризующего степень концентрации галактик относительно центра скопления. Была выбрана модель, определяемая следующей формулой, которая представляет собой функцию распределения поверхностной плотности $\sigma(r)$:

$$\sigma(r, \gamma, r^*, \sigma_0) = \sigma_0 \left[1 + \left(\frac{r}{r^*} \right)^2 \right]^{-\gamma}, \quad (4)$$

где σ_0 , r^* , γ — свободные параметры, т.е. γ — параметр, характеризующий степень концентрации галактик относительно центра скопления, r^* — величина, связанная с радиусом ядра скопления r_c , а σ_0 — видимая плотность в центре. С использованием найденной поверхностной плотности для 40 скоплений были определены значения параметра γ (таблица 1).

Таблица 1. Параметры модели скопления галактик и результаты расчета степени концентрации

№	Идентификатор скоплений галактик	F_0	r^*	γ
1	J001051.4+290940	155,6814	0,1931	0,2462
2	J002016.1+000446	78,4472	0,8172	0,3175
3	J002712.5-193045	85,6719	0,574	0,2415
4	J002800.9+244744	241,8503	0,231	0,3669
5	J004118.5+252609	72,5782	0,2149	0,1508
6	J004511.7+084111	40,9774	2,4684	0,3908
7	J023127.6+065856	82,7679	0,5312	0,2619
8	J023952.7-013419	386,835	0,1613	0,3569
9	J083057.3+655031	117,9669	0,4227	0,2607
10	J085007.9+360414	112,2458	1,1409	0,3528
11	J090912.7+105829	203,5664	0,1259	0,2804
12	J091609.0-002226	77,5699	1,4599	0,3187
13	J091753.4+514338	386,4694	0,1315	0,3351
14	J092048.3+302818	132,4687	0,1242	0,1712
15	J094951.8+170711	133,7621	0,514	0,2986
16	J100226.8+203102	109,7053	0,6505	0,2510
17	J105417.5+143904	160,7753	0,2526	0,2664
18	J111450.3-121351	171,6555	0,1563	0,2440
19	J112358.8+212850	83,036	0,5638	0,2263
20	J113553.9+400132	14,2845	2,1784	0,2540
21	J115235.4+371543	18,4877	0,1334	0,1006
22	J115914.9+494748	33,2696	0,4127	0,2469
23	J121218.5+273255	40,0439	0,6385	0,3299
24	J122902.5+473721	39,3388	0,2603	0,2649
25	J123048.9+103247	17,9791	2,1219	0,3066
26	J124932.5+495344	16,9474	0,054	0,0371
27	J130650.0+463333	20,964	2,5626	0,5735
28	J131129.5-012028	121,2828	1,0006	0,3661
29	J131505.2+514903	149,471	0,516	0,3095
30	J133238.4+503336	215,0104	0,1807	0,2719
31	J133520.1+410004	173,7122	0,1898	0,2133
32	J140102.1+025242	94,3957	1,1394	0,3554
33	J141424.1-002240	20,8051	0,2613	0,1289
34	J144431.8+311336	236,0683	0,0694	0,2307
35	J153940.5+342527	162,4453	0,248	0,2380
36	J155820.0+271400	221,4657	0,1008	0,2334
37	J160319.0+031645	104,5931	0,5564	0,2300
38	J164019.8+464242	371,6218	0,0326	0,2324
39	J164325.4+132236	132,0536	0,2691	0,2209
40	J212823.4+013536	99,4691	1,4662	0,3122

Видно, что значения степени концентрации лежат в интервале (0,03; 0,58).

Были рассмотрены различные зависимости степени концентрации γ от основных характеристик скоплений галактик. На основе рассчитанных значений коэффициента корреляции установлено, что степень концентрации линейно зависит от некоторых характеристик скоплений. Например, степень концентрации γ линейно связана с расстоянием до скопления (коэффициент корреляции равен 0,61):

$$\gamma = -0.197(\pm 0.101) + 0.345(\pm 0.076) \cdot r_{500}. \quad (5)$$

Чем больше расстояние до скоплений, тем меньше степень концентрации γ . Также было обнаружено, что существует линейная зависимость между степенью концентрации и степенью богатства скоплений (корреляция составляет 0,59):

$$\gamma = 0.109(\pm 0.037) + 0.001(\pm 2.3 \cdot 10^{-4}) \cdot R_{L500}. \quad (6)$$

Видно, что значение γ увеличивается с ростом степени богатства.

Было обнаружено, что степень концентрации зависит от красного смещения, а коэффициент корреляции между ними составляет 0,62. Соответственно, эмпирическая формула выглядит следующим образом:

$$\gamma = 0.142(\pm 0.029) + 0.474(\pm 0.104) \cdot z. \quad (7)$$

Видно, что с увеличением красного смещения наблюдается увеличение γ , т.е. постепенное уменьшение концентрации скоплений. Следует отметить, что γ очень слабо зависит от радиуса (r_{200}) и видимого размера скоплений. Коэффициенты корреляции в этом случае составляют 0,19 и 0,22 соответственно.

Кроме того, отмечено, что необходим поиск связи отдельных характеристик скоплений галактик с динамическими параметрами, которые могут быть связаны с эволюцией этих объектов. Одним из таких параметров является параметр анизотропии скоростей $A = \frac{2\overline{\Pi^2} - \overline{T^2}}{\overline{\Pi^2}}$, где $\overline{\Pi^2}$ и $\overline{T^2}$ – дисперсия скорости в радиальном и трансверсальном направлениях соответственно. Следует отметить, что параметр анизотропии скоростей, во-первых, связывает наблюдательные данные с теоретическими расчетами, а во-вторых, его значение позволяет оценить стадию эволюции. Поэтому мы использовали наблюдательные данные о распределении поверхностной плотности для 40 скоплений галактик. В таблице 2 представлены основные характеристики скоплений галактик и расчетные значения параметра анизотропии скорости.

Таблица 2. Основные физические характеристики и значения анизотропии скоростей скоплений галактик

№	Идентификатор скоплений галактик	A	№	Названия скоплений	A
1	J001051.4+290940	0,08	21	J115235.4+371543	0,08
2	J002016.1+000446	0,00	22	J115914.9+494748	1,36
3	J002712.5-193045	0,88	23	J121218.5+273255	0,00
4	J002800.9+244744	1,56	24	J122902.5+473721	0,00

5	J004118.5+252609	0,60	25	J123048.9+103247	0,00
6	J004511.7+084111	0,48	26	J124932.5+495344	0,00
7	J023127.6+065856	1,12	27	J130650.0+463333	0,00
8	J023952.7-013419	1,44	28	J131129.5-012028	0,84
9	J083057.3+655031	0,88	29	J131505.2+514903	1,04
10	J085007.9+360414	0,72	30	J133238.4+503336	1,12
11	J090912.7+105829	1,24	31	J133520.1+410004	0,80
12	J091609.0-002226	0,56	32	J140102.1+025242	0,72
13	J091753.4+514338	1,32	33	J141424.1-002240	0,16
14	J092048.3+302818	0,72	34	J144431.8+311336	1,00
15	J094951.8+170711	0,92	35	J153940.5+342527	0,96
16	J100226.8+203102	0,76	36	J155820.0+271400	0,20
17	J105417.5+143904	1,00	37	J160319.0+031645	0,84
18	J111450.3-121351	1,08	38	J164019.8+464242	1,00
19	J112358.8+212850	0,96	39	J164325.4+132236	0,00
20	J113553.9+400132	0,00	40	J212823.4+013536	0,80

Как видно из таблицы 2, 10 скоплений галактик имеют значения параметра анизотропии, близкие к нулю, т.е. 25% скоплений имеют сферическое распределение скоростей и, возможно, находятся на последней стадии эволюции. Для 9 скоплений значения параметра анизотропии скоростей больше 1. Следовательно, распределение скоростей в этих скоплениях соответствует радиально вытянутому состоянию, что связано с их нестационарностью в регулярном поле. Затем, сравнивая значения параметра анизотропии скоростей, мы показали, что их условно можно разделить на три класса:

Классы	A	Количество скоплений
1	$0 \leq A \leq 0.5$	13
2	$0.5 < A \leq 1$	18
3	$1 < A \leq 1.5$	9

Следует отметить, что в диапазоне $1,50 < A < 2$ нет ни одного скопления, что требует поиска дополнительных данных о видимой плотности скоплений галактик.

Мы также рассчитали значения коэффициентов корреляции параметра анизотропии с другими физическими свойствами и нашли соответствующие эмпирические формулы. В результате анализа данных установлено, что между параметром анизотропии и числом галактик в скоплении существует эмпирическая связь:

$$A = -0.499(\pm 0.321) + 0.009(\pm 0.002) \cdot N_{200} \quad (8)$$

$$A = -0.503(\pm 0.291) + 0.013(\pm 0.003) \cdot N_{500} \quad (9)$$

Видно, что с увеличением значения параметра анизотропии число галактик в скоплениях также увеличивается. Коэффициент корреляции в этом случае равен 0,54. Мы обнаружили хорошую корреляцию между

параметром анизотропии и уровнем богатства (0,57 и 0,68) и нашли следующие статистические формулы:

$$A = -0.602(\pm 0.314) + 0.008(\pm 0.002) \cdot R_L \quad (10)$$

$$A = -0.587(\pm 0.291) + 0.008(\pm 0.002) \cdot R_{L500} \quad (11)$$

Как видно из эмпирических соотношений (10) и (11), увеличение степени богатства скоплений также увеличивает значение параметра анизотропии.

Мы также исследовали связь между степенью концентрации скоплений галактик и параметром анизотропии скоростей. В этом случае была обнаружена очень хорошая корреляция (0,796) и найдена эмпирическая зависимость:

$$A = 0.097(\pm 0.156) + 3.462(\pm 0.588) \cdot \gamma \quad (12)$$

Как видно из формулы (12), параметр анизотропии скоростей также увеличивается с ростом степени концентрации.

Четвёртая глава, названная «**Моделирование эволюции скоплений галактик**», является логическим продолжением предыдущей главы и посвящена численному моделированию динамической эволюции скоплений галактик. В первом параграфе рассматриваются теоретические вопросы моделирования эволюции скоплений галактик. Одним из современных методов, используемых при этом, является моделирование N-тел. Учитывая это, в данной главе представлены основные методы исследования эволюции скоплений галактик, такие как гидродинамический метод, метод прямого интегрирования уравнений движения N-тел и метод Монте-Карло. Для исследования скоплений галактик мы рассмотрели их эволюцию посредством численного моделирования. Для этого нами использован метод прямого интегрирования уравнений движения N-тел с помощью программы Aarset.

Мы рассмотрели две модели, число тел в которых составляет 500 и 1000 соответственно. В первой модели система имеет сферически однородное изотропное распределение. Координаты и скорости получены с помощью генератора случайных чисел. Массы всех тел одинаковы. Во второй модели распределение частиц подчиняется модели Пламмера.

Результаты расчётов представлены в виде графиков. Для каждой модели приведены изменения положений тел в системе и распределение скоростей для различных моментов времени.

Модель 1 (однородный модель). В данной модели получено фазовое распределение тел в системе в начальный момент времени, когда плотность системы не зависит от расстояния.

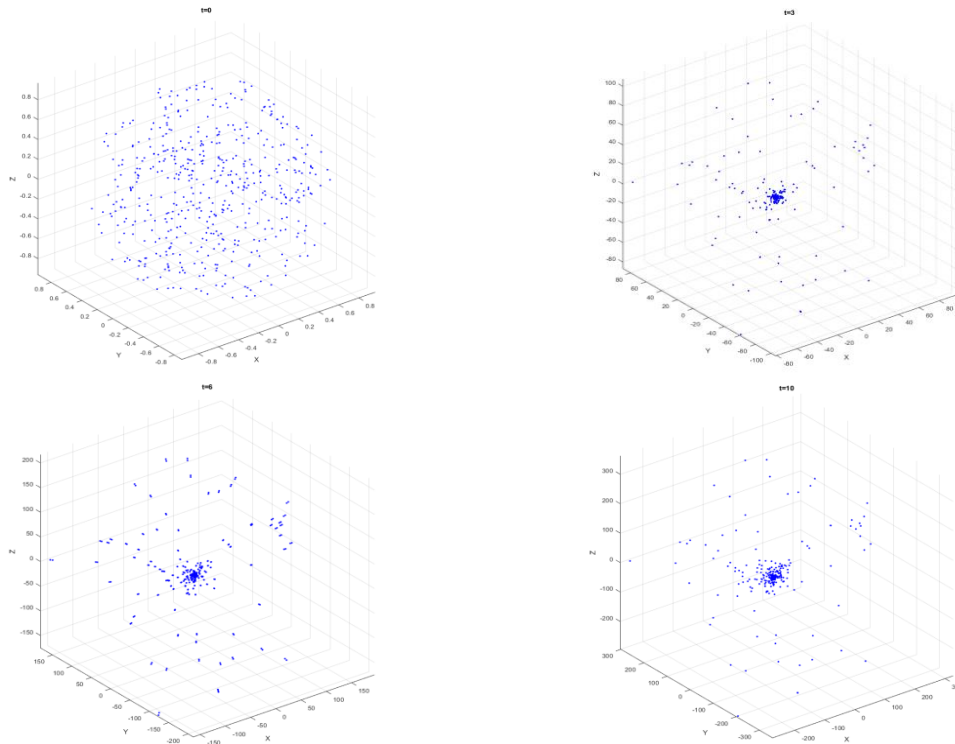
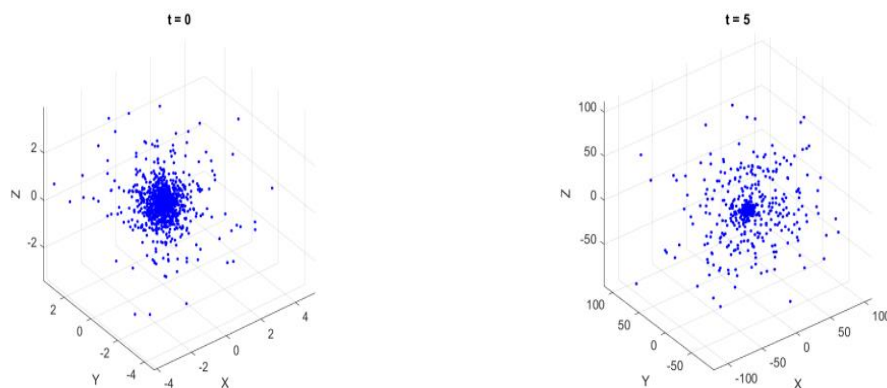


Рис.1. Результаты численного моделирования для однородной и изотропной модели (центральная область для различных моментов времени)

На рис.1 показаны проекции координат тел для различных моментов времени. Как видно из рисунка, на начальном этапе эволюции система коллапсирует: в центре формируется плотное ядро, вокруг которого формируется гало. На последующих этапах концентрация ядра уменьшается и оно начинает растягиваться, общий размер системы увеличивается. Распределение тел системы приблизительно подчиняется гауссовому распределению и практически не изменяется до конца эволюции.

Модель 2 (модель Пламмера). Результаты расчётов представлены на рис.2.



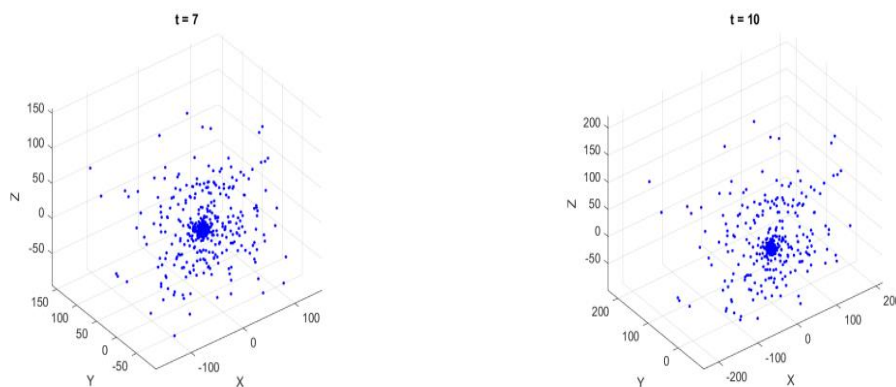


Рис.2. Результаты численного моделирования для модели Пламмера (центральная область для различных моментов времени)

В начальный момент времени плотность тел системы обратно пропорциональна квадрату расстояния. В модели 2 система также коллапсирует на начальном этапе эволюции: система слегка сжимается, и в центре образуется компактное ядро. Эта модель отличается от первой тем, что вокруг ядра возникает компактное гало: а) размеры ядра очень велики; б) гало довольно плотный, и вся система обладает симметрией. В дальнейшем система начинает расширяться, а ядро – растягиваться относительно оси ординат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты и выводы:

1. Фундаментальные исследования были проведены на основе наблюдательных данных о богатых скоплениях галактик. На основе полученных результатов были представлены научные доказательства, расширяющие понимание свойств богатых скоплений галактик, их структурных параметров и динамической эволюции.
2. Специальный сводный каталог богатых скоплений галактик, охватывающий 213 объектов, создал важную базу данных по ним с эмпирической основой. Этот каталог позволил получить описание массы, богатства, структурной целостности и пространственного распределения богатых скоплений галактик, а также показал наличие линейных зависимостей между ними. В частности, было показано, что увеличение значения богатства соответствует линейному увеличению массы.
3. Концентрация богатых скоплений галактик в определенной области распределения в пространстве показала их связь с крупными структурами. Распределение профилей поверхностной плотности и наблюдательное определение параметра концентрации позволили точно количественно охарактеризовать степень концентрации

скоплений. Эмпирическая корреляция этого параметра с физическими характеристиками скоплений предоставила новые научные данные об их внутренней динамике и структурной эволюции.

4. Анализ динамических свойств скоплений показал, что богатые скопления галактик кинематически неоднородны: полученные значения параметра анизотропии скорости подтверждают их разделение на три основные кинематические группы. Относительно большая доля скоплений со значениями параметра анизотропии, близкими к нулю, свидетельствует о том, что они являются объектами, достигшими последней стадии своей эволюции.
5. Результаты численного моделирования показали, что выводы, полученные из наблюдений, теоретически непротиворечивы: переход ядра скопления из компактного состояния в вытянутую конфигурацию с течением времени и расширение гало, соответственно, указывают на сложный, многоэтапный характер эволюции скоплений галактик. В некоторых случаях наблюдался процесс возврата всей системы из вытянутой в сферическую симметрию как характерная черта динамической стабилизации скоплений.
6. Полученные результаты существенно обогатили эмпирические и теоретические представления о структурных и динамических свойствах богатых скоплений галактик. Определено, что результаты исследования послужат основой для дальнейшего изучения космологического значения скоплений галактик, выяснения механизмов их формирования и эволюции, а также решения важных научных задач, связанных с эволюцией крупномасштабных структур Вселенной.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 FOR ADDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

CHIRCHIK STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

OTOJANOVA NILUFAR BAKHTIYAROVNA

**PHYSICAL PROPERTIES OF RICH GALAXY CLUSTERS: ANALYSIS
OF OBSERVATIONAL DATA AND MODELING RESULTS**

01.03.02 – Space physics and astrophysics

ABSTRACT

**of the dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in physical and
mathematical sciences.**

Tashkent – 2026

The theme of the dissertation for doctor of philosophy (PhD) in physical and mathematical sciences is registered with the Supreme Attestation Commission under the Minister of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under B2025.3.PhD/FM1361.

Dissertation for doctor of philosophy was carried out at the Chirchik State Pedagogical University.

The abstract of the dissertation was posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council at www.nuu.uz and on the website of "Ziyonet" informational and Educational Portal www.ziyonet.uz.

Scientific supervisor:

Kutlimuratov Sardor Sharipbaevich
doctor of philosophy in pedagogical sciences,
associate professor

Official opponents:

Raimbaev Djavlanbek Rajapbaevich
doctor of physics and mathematical sciences,
professor

Burxonov Otabek Anvarjanovich
doctor of phylosophy in physics and
mathematical sciences, senior research fellow

Leading organisation:

Samarkand State university

The defense of the dissertation will be held on "21" 04 2026 at 15⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council DSc.03/2025.27.12.FM.01.05 at the National University of Uzbekistan (Adress: 100174, Tashkent city, Universitetskaya Street 4, Phon.: (+99871) 246-02-24; e-mail: nauka@nuu.uz)

The dissertation can be looked through at the Information Resource Centre of the National University of Uzbekistan (registered under No. 61. Address: 10074, Tashkent city, Universitetskaya Street 4, Phon.: (+99871) 246-02-24; e-mail: nauka@nuu.uz)

Abstract of dissertation was distributed on "3" 04 2026.
(Registry record No 4 dated "3" 04 2026).



S.N. Nuritdinov
Chairman of the Scientific Council on Award of
Scientific Degrees, Doctor of Physics and
Mathematical Sciences, Professor

F.U. Botirov
Scientific Secretary of the Scientific Council on
Award of Scientific Degrees, Doctor of
Phylosophy Physical ana Mathematical Sciences

I.U. Tadjibaev
Chairman of the Scientific Seminar of the
Scientific Council on Award of Scientific Degrees,
Doctor of Physics and Mathematical Sciences,
Professor

INTRODUCTION

(abstract of the doctoral dissertation (PhD))

The aim of the research is to create a bank of observational data on rich galaxy clusters, search for empirical relationships between their physical parameters, and model the dynamic evolution of spherical systems using galaxy clusters as an example.

The object of research is rich clusters of galaxies and their systems.

The scientific novelty of the research is as follows:

based on the analysis of astrophysical observational data and existing catalogs of very rich galaxy clusters, a special catalog consisting of 213 objects was created;

for the first time, the surface densities of rich galaxy clusters relative to their centers were determined and the values of the parameter characterizing their degrees of concentration relative to the center were calculated;

for the first time, an empirical relationship between mass and degree of richness was found for rich galaxy clusters;

for the first time, velocity anisotropy parameters were determined for 40 rich galaxy clusters based on observational data, 25% of which have a spherical distribution;

for the first time, the dynamic evolution of rich galaxy clusters was modeled using two models, demonstrating that their central (nuclear) region is initially compact and highly concentrated, then assumes an elongated shape, while the halo continuously expands over time.

Implementation of the research results. The results of the dissertation are implemented as follows:

the results of a statistical analysis of rich galaxy clusters and the empirical formulas found were used in research conducted at the laboratory of the Institute for Fundamental and Applied Research of the National Research University TIIAME to study the energy of black holes in the Novikov-Thornes disk model (reference 01/25-105, Institute for Fundamental and Applied Research, National Research University TIIAME, dated June 20, 2025). As a result, an upper limit for the critical angle at which particles can collide near a black hole and a lower limit for the energy of colliding particles were determined;

the obtained values of the parameters expressing the degree of concentration, determined relative to the center of the galaxy cluster, and the values of the velocity anisotropy parameter were used in research conducted at the laboratory of the Institute of Fundamental and Applied Research of the National Research University TIIAME to study the motion of magnetized particles around a Bocharov-Bronnikov-Melnikov-Bekenstein black hole in an external magnetic field (reference 01/25-105, Institute for Fundamental and Applied Research, National Research University TIIAME, dated June 20, 2025). It was found that the

velocity anisotropy parameter modifies the external magnetic field of magnetized particles;

the results of numerical modeling were used in research conducted at the laboratory of the Institute of Fundamental and Applied Research of the National Research University TIIAME to study the formation of ultrarelativistic particles in external magnetic fields and scalar interactions (reference 01/25-105, Institute for Fundamental and Applied Research, National Research University TIIAME, dated June 20, 2025). As a result, it was demonstrated that the mechanisms of particle formation near magnetic fields are well explained by the modeling results.

Publication of research results. The results of the research conducted on the topic of the dissertation were published in 15 scientific works, including 8 scientific articles, 3 of which were published in foreign Scopus-based journals and 5 articles in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references. The volume of the dissertation is 103 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Kutlimuratov S., Otojanova N., Tadjibaev I. Calculation of the anisotropy parameter for galaxy clusters // Ukrainian Journal of Physics, 2024. 69. 6, 367-372. (**Scopus, Web of Science, IF=1.2**)
2. Kutlimuratov S., Otojanova N., Tadjibaev I., Tillaboev K. A study of the dynamic evolution of spherical gravitating systems // Eureka: Physics and Engineering, 2024. 4, 3-12. (**Scopus IF=1.9**)
3. Otojanova N., Kutlimuratov S., Tadjibaev I., Golovko Ya. A brief overview of rich galaxy clusters // Journal of Fundamental and Applied Research, 2024, Vol. 4, Issue 6, (20230019)
4. Кутлимуратов С., Таджибаев И., Отажонова Н., Джумаева Г. Каталог богатых скоплений галактик и результаты статистического анализа // Узбекский физический журнал, 2024. 26. 2, 7-17 (**01.00.00 №5**)
5. Кутлимуратов С.Ш., Отожанова Н.Б., Таджибаев И.У. Расчет параметра анизотропии для скоплений галактик // Вестник НУУз, 2024. 3/1/1, 480-483 (**01.00.00 №8**)
6. Кутлимуратов С., Отожанова Н., Таджибаев И., Тиллабоев К. Численный анализ эволюции скоплений галактик // Научный Вестник Самаркандского университета, 2024. 3, 145/1, 17-21 (**01.00.00 №2**)
7. Kutlimuratov S., Turdalieva A., Otojanova N., Tadjibaev I. Problems of determining the degree of concentration for galaxy clusters // Astronomical and Astrophysical Transactions, 2025, Vol. 35, Issue 2, pp. 185-190 (**Scopus IF=0.170**)
8. Кутлимуратов С., Отожанова Н., Турдалиева А., Таджибаев И. Результаты расчета степени концентрации для богатых скоплений галактик // Научный Вестник НамГУ, 2025, № 6, стр. 4-7 (**01.00.00 №14**)

II bo'lim (II часть; part II)

9. Кутлимуратов С., Отожанова Н., Таджибаев И. Масса очень богатых скоплений галактик и результаты статичтического анализа // Fundamental and Applied Research in Physics, NUUz, 2024, May 24-25, pp.219-220
- 10.Кутлимуратов С., Отожанова Н., Таджибаев И. Краткий обзор по скоплениям галактик // Замоновий физика ва астрономиянинг долзарб муаммолари, ечимлари, ўқитиш услублари, Халқаро илмий-амалий конференция, 2024, Тошкент, 16-17 апрел, 115-118 стр.

11. Кутлимуратов С., Отожанова Н., Таджибаев И. О сценариях происхождения скоплениям галактик // Замодавий физика ва астрономиянинг долзарб муаммолари, ечимлари, ўқитиш услублари, Халқаро илмий-амалий конференция, 2024, Тошкент, 16-17 апрел, 119-122 стр.
12. Кутлимуратов С., Отожанова Н., Таджибаев И. Численный анализ эволюции скоплений галактик // Замодавий физика ва астрономиянинг долзарб муаммолари, ечимлари ва ўқитиш услублари, Республика илмий-амалий конференцияси, 2024, Чирчиқ, 17-18 май, 39-42 бетлар
13. Кутлимуратов С.Ш., Таджибаев И.У., Отожанова Н.Б. Параметр анизотропии скоростей для скоплений галактик // Физика фанининг ривожда истедодли ёшларнинг ўрни – Республика илмий-амалий конференцияси, 2024, Тошкент, 5-6 апрел, 73-76 бетлар
14. Кутлимуратов С., Турдалиева А., Отожанова Н., Таджибаев И. Проблемы определения степени концентрации для скоплений галактик // Современная астрофизика: от ядер атомов до галактик, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, 13-16 мая 2025 г.
15. Кутлимуратов С., Турдалиева А., Отожанова Н., Таджибаев И. Богатые скопления галактик. I. Анализ наблюдательных данных // Современная астрономия: наука и образование, Москва, Россия, 23-27 июня 2025 года