

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

BOTIROV FARXOD O‘KTAMOVICH

**SPIRAL GALAKTIKALAR BALJINING FIZIK XUSUSIYATLARI VA
VUJUDGA KELISHINING NAZARIY JIHALARI**

01.03.02 – Kosmos fizikasi va astrofizika

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

Toshkent – 2024

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

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

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on physical-mathematical
sciences**

Botirov Farxod O‘ktamovich

Spiral galaktikalar baljining fizik xususiyatlari va vujudga kelishining
nazariy jihatlari..... 3

Ботиров Фарход Уктамович

Физические свойства балджей спиральных галактик и теоретические
аспекты их происхождения..... 19

Botirov Farkhod Uktamovich

Physical properties of spiral galaxies bulges and theoretical aspects of their
origin..... 35

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 39

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJASINI BERUVCHI
PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

BOTIROV FARXOD O‘KTAMOVICH

**SPIRAL GALAKTIKALAR BALJINING FIZIK XUSUSIYATLARI VA
VUJUDGA KELISHINING NAZARIY JIHLTLARI**

01.03.02 – Kosmos fizikasi va astrofizika

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

Toshkent – 2024

Fizika – matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar Vazirlar huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/FM544 raqami bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiyasi O‘zbekiston Milliy universitetida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:

Nuritdinov Salaxutdin Nasritdinovich,
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Atamurotov Farrux Shuhratovich
fizika-matematika fanlari doktori

Tadjibaev Ikram Uralbaevich
fizika-matematika fanlari doktori

Yetakchi tashkilot:

L.N.Gumilev nomidagi Yevroosiyo Milliy universiteti

Dissertatsiya himoyasi O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil «___» _____ soat ___ 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 (_____ raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100174, Toshkent shahri, Olmazor tumani, Universitet ko‘chasi, 4 – uy, Tel.: (+99871) 246-02-24).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «___» _____ kuni tarqatildi.
(2024 yil “___” _____ dagi _____ raqamli reestr bayonnomasi)

K.T. Mirtadjiyeva

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy
kengash raisi o‘rinbosari,
fizika-matematika fanlari doktori

F.T. Shamshiyev

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy
kengash ilmiy kotibi,
fizika-matematika fanlari nomzodi

T.A. Axunov

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar rais muovini,
fizika-matematika fanlari doktori

KIRISH

(falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahon miqyosida olib borilayotgan ko‘plab ilmiy-amaliy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bugungi kunda galaktikalar markazidagi o‘tamassiv qora o‘ralar, ular atrofidagi yadro sohasi hamda qavariqsimon baljlarni tadqiq qilish orqali ularning ona galaktikalari evolyutsiya bosqichlarini o‘rganish masalalariga yo‘naltirilgan tadqiqotlar dolzarbdir. Hozirgi kunda olib borilayotgan amaliy tadqiqot natijalariga ko‘ra, ushbu tuzilmalarning fizik xossalari va evolyusiyasi galaktika turiga keskin bog‘liq ekani ko‘rsatilmoqda. Ma‘lumki baljlar disksimon galaktikalarning muhim ob‘ektlaridan biridir. Bu borada, jumladan disksimon galaktika hisoblanadigan spiral galaktikalar baljlarining (SGB) jamlanma katalogini yaratish, balj va ona galaktikalar asosiy xarakteristikalarini o‘rtasida fizik bog‘liqlik darajasini anglatuvchi empirik formulalar aniqlash va modellashtirish asosida baljlar vujudga kelish mehanizmini ishlab chiqishga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda galaktikalarning kuzatuv ma‘lumotlar bazasini sezilarli darajada kengaytirish, ularning asosiy fizik xarakteristikalarini o‘rganish, o‘tamassiv qora o‘raning balj hamda galaktika fizik xususiyatlariga ta‘sirini aniqlash, baljlar turlarini aniqlashda Sersik modelini qo‘llash va zamonaviy teleskoplar yordami bilan baljlarning qator xillarini topishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan baljlarning shakliga va g‘alayon turiga ko‘ra minorasimon, disksimon, yeryong‘oq shaklidagi va psevdobaljlar kabi tiplarini sinflashtirish hamda ularning asosiy fizik tabiatini o‘rganish bo‘yicha olib boriladigan tadqiqotlar ustuvordir. Shu bilan birga, SGB asosiy turlarini nostatsionar model fonida vujudga kelishi uchun sodir bo‘ladigan gravitatsion beqarorliklari va markaziy o‘tamassiv qora o‘ralarning SGB hamda ularning ona galaktikalari fizik xususiyatlariga ta‘sirining tadqiqoti dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda fundamental fanlarning ilmiy va amaliy tatbiqiga ega bo‘lgan zamonaviy astrofizikaning dolzarb yo‘nalishlariga e‘tibor oshib bormoqda. Shu jumladan, spiral galaktikalarda sodir bo‘ladigan fizik jarayonlar va ularda mavjud bo‘lgan baljlar tadqiqoti bo‘yicha kuzatuv aspektlarini o‘rganishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Bu esa 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasiga¹ bog‘liq bo‘lgan fundamental tadqiqotlar yo‘nalishi yurtimizda fanning rivojlanishida katta ahamiyat kasb etishini bildiradi. Jumladan, kosmik tadqiqotlar va texnologiyalarni rivojlantirish chora-tadbirlari bo‘yicha xalqaro standartlar darajasida ilmiy tadqiqotlar olib borish fundamental tadqiqotlarning asosiy vazifasi sifatida qaraladi. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, galaktika baljining tadqiqoti uchun model tuzish va balj vujudga kelish nazariyasini rivojlantirish muhim ahamiyatga molik masala hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 29 oktyabrdagi “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-6097-sonli Farmonida, 2018 yil 12 fevraldagi “O‘zbekiston Respublikasida kosmik tadqiqotlar

¹ O‘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

va texnologiyalarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi F-5209-sonli Farmoyishi va O'zbekiston Respublikasi Prezidenti tomonidan 2019 yil 29 oktyabrda qabul qilingan "Ilm-fan va ilmiy faoliyat to'g'risida"gi O'RQ-576-sonli qonuni hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirish – II. "Energetika, energiya va resurs tejamkorligi" ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Hozirgi kunda ko'pgina mamlakatlarda disksimon galaktikalar baljlari tuzilishining kuzatuvlarini olib borish yaxshi rivojlangan. Bugungi kunda Galatikamiz va boshqa disksimon galaktikalar balj tipini aniqlash, ularning alohida xususiyatlarini o'rganish, fotometrik tadqiqotlari va galaktikalarning bu qismini modellashtirish bilan dunyoning ko'pgina yetakchi olimlari shung'ullanib kelishmoqda. Misol tariqasida amerikalik J. Kormendy, D.Fisher, N. Drory, B.F. Madore, D. Zaritskiylarni, chililik D. Gadotti, O.A. Gonzallez, D. Minniti, M. Zoccalilarni, fransiyalik F. Bornaud, E. Athanassoula, F. Combes, P. Prugniellarni, avstraliyalik K.C. Freeman, M.Bureau, J. Mouldlarni, germaniyalik J. Hu, E. Emsellem, O. Gerhard, R. Saglialarni, xitoylik J. Shen, A. Schulze, ispaniyalik J. F. Barroso, P.S. Blazquez va boshqa olimlarni ko'rsatish mumkin. Ammo spiral galaktikalar baljlari uchun alohida kuzatuv ma'lumotlari yig'ilmagan va ularning statistik tahlili qilinmagan.

Ayrim mualliflar, masalan, J. Hu², J. Kormendy va R. Kennicutt³ o'z ishlarida galaktikalar turiga alohida e'tibor qaratmay, ular baljlarining qator fizik parametrlari orasidagi statistik bog'lanishlarni tadqiqot qilishgan. S.Tremaine va boshqalar⁴ esa yulduzlarning tezliklari dispersiyasi bilan balji markzidagi o'ta massiv qora tuynuk massasi kabi ayrim parametrlari orasidagi empirik bog'lanishni topishgan, lekin bunda ular ham galaktika turiga alohida e'tibor bermay, ularning barchasi uchun yagona statistikasini bajarishgan.

Shu bilan birga, O'zbekistonda galaktikalar shakllanish bosqichlarining nohizizliq nomuvozanat fazaviy modellarini tuzish masalalari S.N.Nuritdinov va K.T.Mirtadjevalar tomonidan amalga oshirilgan. S.N. Nuritdinov rossiyalik V.A.Antonov bilan hamkorlikda Eynshteyn statsionar modelining nohizizliq tebranish holi va ushbu dinamik model fonida barsimon g'alayonlar evolyutsiyasi muammolarini tadqiqot qilishgan. O'zbekiston Milliy universitetida olingan nazariy natijalar AQSh, Koreya va Hindiston olimlarining sonli tajribalari bilan tasdiqlandi. Ammo, alohida spiral galaktikalar balji uchun kuzatuv ma'lumotlarini yig'ish asosida ular tahlili olib borilmagan, shuningdek, ular vujudga kelishini keyinchalik

² J. Hu, "The black hole mass–bulge mass correlation: bulges versus pseudo-bulges" *MNRAS*, pp. 1-22, 2021.

³ J. Kormendy and R. Kennicutt, "Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies" *Astronomy & Astrophysics*, vol. 42, pp. 603-683, 2004.

⁴ S. Tremaine, K. Gebhardt, R. Bender, G. Bower, A. Dressler, S. M. Faber, A. V. Filippenko, R. Green, C. Grillmair, L.C. Ho, J. Kormendy, T.R. Lauer, J. Magorrian, J. Pinkney and D. Richstone, "The slope of the black hole mass versus velocity dispersion correlation" *Astrophysical Journal*, 574: 740-753, 2002.

tushuntirib berishda muhim ma'lumot hisoblangan spiral galaktikalar va ularning baljlarining fizik parametrlari orasidagi empirik bog'lanishlar aniqlanmagan.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim va ilmiy-tadqiqot muassasasi ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Milliy universitetining F2-13 – “O'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar evolyutsiyasining nochiziqli nostatsionar bosqichlarida ularning gravitatsion beqarorliklari va mavjud rezonans holatlarni hisobga olgan holdagi fazaviy qorishishi” va FZ-2020092851 – “Turli geometriyaga ega bo'lgan o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar pulsatsiyasi fonida mayda masshtabli g'alayonlar beqarorliklari fizikasi” mavzusidagi ilmiy tadqiqot loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi SGB fizik parametrlari orasidagi empirik formulalarni topish, sinflashtirish va spiral galaktikalar baljlarining vujudga kelish nazariyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

spiral galaktikalar baljlarining sinflashtirish mezonlarini ishlab chiqish uchun kuzatuv ma'lumotlarini to'plash va tahlil qilish;

markaziy qora tuynuk massasi bilan SGB ning asosiy fizik xususiyatlari orasidagi empirik bog'liqliklarini izlash;

o'zgravitatsiyalanuvchi disk nostatsionar modelining vertikal tebranishlarining beqarorligi natijasida SGB hosil bo'lishining egrilanish nazariyasini ishlab chiqish;

anizotrop tezliklar diagrammasiga ega bo'lgan disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar uchun yangi nochiziqli nostatsionar modelini tuzish.

Tadqiqot ob'ekti SGB lar, ularning nazariy modellari va mos keladigan g'alayonlanish modalari, disksimon galaktikalarida bizgacha nazariy jihatdan o'rganilmagan shakllanish strukturalari.

Tadqiqotning predmeti o'zgravitatsiyalanuvchi disksimon sistemalarda SGB hosil bo'lish jarayonlari va mexanizmlari hamda nostatsionar modellar fonida gravitatsion beqarorlik xususiyatlarini aniqlashlardir.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida statistik bog'lanishlarni topishda eng kichik kvadratlar usuli, shuningdek, differensial tenglamalar sistemalarini analitik va sonli yechish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

1101 ta SGB dan iborat jamlanma katalog yaratilgan. Turli mualliflar tomonidan aniqlangan usullar hamda kuzatuv ma'lumotlari uchun solishtirma tahlili bajarilgan, baljlarni vujudga kelish nuqtai nazaridan sinflashtirish ishlab chiqilgan;

ilk bor SGB markazidagi qora o'ra massasi va asosiy fizik xususiyatlari o'rtasidagi bog'liqlikning empirik formulalari topilgan;

ilk bor o'zgravitatsiyalanuvchi disk nostatsionar modelining vertikal tebranishlarining beqarorligi natijasida spiral galaktikalarning baljlari hosil bo'lishining egrilanish nazariyasi ishlab chiqilgan;

Nostatsionar izotrop modelning aylanish parametri bo'yicha o'rtachalash usulini qo'llash orqali anizotrop tezliklar diagrammasiga ega bo'lgan disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar uchun analitik yechimini bera oladigan yangi pulsatsiyalanuvchi model ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

adabiyotlar, xalqaro ma'lumotlar bazalari va boshqa mualliflarning internet saytlaridan foydalanib baljga ega spiral galaktikalarni tanlash orqali 1101 ta SGBdan iborat jamlanma katalogi tuzildi;

aloxida SGB ning fizik xususiyatlari, shuningdek, ularning markaziy qora tuynuk massasi o'rtasida bog'liqligining empirik formulalari amaliy maqsadlar uchun topilgan;

beqarorligi baljlarning shakllanishiga olib keladigan, g'alayonlanish modalari aniqlash bilan SGB ni sinflashtirish tavsiyasi qilingan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligini tasdiqlash uchun ishda kuzatuv ma'lumotlarini statistik tahlil qilishning zamonaviy va tasdiqlangan usullari, shuningdek, yuqori aniqlikdagi sonli hisoblash usullari, statistika va matematik tahlil qilish usullari qo'llanilgan. Bu SGB tadqiqot qilishda ta'sir qiluvchi barcha parametrlarni hisobga olish va ular shakllanishining qonuniyatlari haqida asosli xulosalar chiqarish imkonini berdi. Olingan natijalar bir qator respublika va xalqaro konferensiyalarda aprobatsiya qilingan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Dissertatsiyaning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, olingan natijalar SGB fizikasini va ular shakllanishining nochiziqli nazariyasini yaratishga yordam berishi va tuzilgan jamlanma katalogi hamda uning statistik tahlil natijalari sinflashtirish muammolarini yechish uchun asos bo'lishi bilan izohlanadi.

Dissertatsiyaning amaliy tadqiqot natijalarini kuzatuvdan aniqlangan yangi SGB lariga qo'llash va ularning noma'lum fizik xususiyatlarini oson aniqlashda qo'llanilishi mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dissertatsiya natijalari quyidagilarga joriy qilingan:

tuzilgan SGB katalogi F2-FA-F029 - "Gravitatsion linzalar, kompakt astrofizik obyektlar va nostatsionar disksimon tizimlar fizikasi" mavzusidagi loyiha doirasida, disk shaklidagi galaktikalar galosining xossalarini aniqlashda qo'llanilgan (O'zbekiston fanlar Akademiyasi Ulug'bek nomidagi Astronomiya institutining 2023 yil 24 noyabrdagi №02-09/266 sonli ma'lumotnomasi). Natijada, galo va balj massalari o'rtasidagi empirik munosabatni aniqlashga erishilgan;

balj vujudga kelishining egrilanish nazariyasi va balj massasi bilan markaziy qora tuynuk massasi orasida topilgan empirik formula F2-FA-F029 - "Gravitatsion linzalar, kompakt astrofizik obyektlar va nostatsionar disksimon tizimlar fizikasi" mavzusidagi loyiha doirasida, spiral galaktikalar galolarining xossalarini o'rganishda foydalanilgan (O'zbekiston fanlar Akademiyasi Ulug'bek nomidagi Astronomiya institutining 2023 yil 24 noyabrdagi №02-09/266 sonli ma'lumotnomasi). Ushbu ilmiy natijalar qo'llanilishi galoga ega disk shaklidagi galaktikalar evolyutsiya bosqichlarini tadqiqot qilishga imkon bergan;

baljlarning vujudga kelish nazariyasini tadqiqot qilish uchun tuzilgan model F2-FA-F029 - "Gravitatsion linzalar, kompakt astrofizik obyektlar va nostatsionar disksimon tizimlar fizikasi" mavzusidagi loyiha doirasida bajarilgan halqali galaktikalarning vujudga kelish muammosini tahlil qilishda qo'llanilgan (O'zbekiston fanlar Akademiyasi Ulug'bek nomidagi Astronomiya institutining 2023 yil 24

noyabrdagi №02-09/266 sonli ma'lumotnomasi). Natijada tebranishning shunday modalari topildi-ki, ularning beqarorligi halqasimon galaktikalarning shakllanishiga olib kelgan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 5 ta xalqaro va 10 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilindi va muhokamadan o'tkazilgan. Natijalar O'zbekiston Milliy universiteti "Astrofizik tadqiqotlari" ilmiy laboratoriyasi bilan hamkorlikdagi "Astronomiya va astrofizika" kafedrası seminarlarida, fizika fakulteti seminarida, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutidagi "Galaktikadan tashqi astronomiya" laboratoriyasining ilmiy seminarida muhokama qilindi.

Tadqiqot natijalarini e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari 27 ta ilmiy ishlarda, jumladan, 12 ta ilmiy maqolalarda shundan 3 tasi xorijiy Scopus bazasidagi jurnallarida va 9 ta maqola O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy jurnallarida nashr qilingan.

Dissertatsiya hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovadan iborat. Dissertatsiyaning asosiy hajmi ilovadan tashqari 115 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiya kirish qism, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat.

Dissertatsiyaning **kirish** qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi va zarurati hamda O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlari bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlarga muvofiqligi asoslangan, muammoni o'rganilganlik darajasi ochib berilgan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, shuningdek tadqiqot ob'ekti va predmeti, tadqiqotning ilmiy yangiligi va tadqiqotning amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, uning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalari amaliyotga tatbiq etilganligi va nashr qilingan ishlar, olingan natijalar aprobatsiyasi va dissertatsiyani tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishning "**Spiral galaktika baljlarining (SGB) kuzatuv xususiyatlari va ularning nazariy jihatlarini**" deb nomlangan birinchi bobi dissertatsiya mavzusi bo'yicha kuzatuv ma'lumotlar hamda nazariy tadqiqotlar bo'yicha adabiyotlar tahlil natijalari va SGB larning katta masshtabli tuzilishiga bag'ishlangan ma'lumotlar keltirilgan.

Ma'lumki, Galaktikamizning va boshqa ko'plab spiral galaktikalarning markaziy qismida baljlar ko'pincha elliptik shaklga ega bo'lgan gumbazsimon shaklda kuzatiladi. Kuzatuvlarga ko'ra, SGB lar juda murakkab ichki tuzilishga ega. SGB vujudga kelishini tushuntiruvchi turli hil mexanizmlari orasidan ko'pincha galaktikalarning qo'shilish hodisasi ko'rsatiladi. Biroq, qo'shilish har doim ham spiral galaktikalarning shakllanishiga olib kelmaydi. Bizning fikrimizcha, gravitatsiya kuchining beqarorligi hodisasi nafaqat turli to'qnashuvsiz o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning (TO'S) shakllanishi va evolyutsiyasida, balki TO'S tuzilishining

shakllanishida ham muhim rol o'ynashi mumkin. Astrofizikada bu hodisani o'rganishga doimo katta e'tibor berilishi bejizga emas.

“SGB zamonaviy kuzatish ma'lumotlarining statistik tahlili va ularni tasniflash masalalari” deb nomlanuvchi ikkinchi bobida SGB sinflashtirish muammolari tahlili mavjud. Ushbu bobda SGB ning zamonaviy kuzatuv ma'lumotlari natijalari bo'yicha adabiyotlar tahlili olib borilgan. SGB fizikasidagi mavjud muammolar, balj turlari bo'yicha tasniflash muammolari ko'rib chiqilgan va SGB bo'yicha kuzatuv ma'lumotlari to'plangan. SGB bo'yicha kuzatuv ma'lumotlarini to'plash asosida 1101 ta ob'ektdan iborat jamlangan katalog tuzildi. Bizning katalogimiz boshqa ro'yxat va kataloglardan faqat spiral galaktikalar uchun balj parametrlarini taqdim etilishi bilan farq qiladi. Galaktika balji bilan bog'liq asosiy parametrlar LEDA va NED ma'lumotlar bazalarida mavjud bo'lgan maksimal qo'shimcha ma'lumotlar bilan boyitilgan. Biz aniqladikki, galaktika baljlari ko'pincha Sc morfologik sinfiga mansub spiral galaktikalarda kuzatiladi. Umuman olganda, $S_a \rightarrow S_b \rightarrow S_c$ ($S_{Ba} \rightarrow S_{Bb} \rightarrow S_{Bc}$) morfologik tipdan o'tishda galaktika baljlari soni ortadi.

Bizning ishimizdan oldin ko'plab mualliflar baljlarni ikki turga bo'lishni taklif qilishgan: klassik (gumbaz shaklidagi) baljlar va psevdobaljlar. Biz ularni sinflashtirishni ishlab chiqdik va ularni 5 ta sinfga ajratish kerakligini ko'rsatdik: klassik baljlar (NGC6504); disk shaklidagi baljlar (NGC6782); yeryong'oqsimon baljlar (NGC7332); quti shaklidagi baljlar (NGC891) va psevdobaljlar. Oxirgi tur asosan X shaklidagi baljlarni va umuman tasniflab bo'lmaydigan holatlarni o'z ichiga oladi. Katalogimizda spiral galaktikalarning 32% klassik baljlar, 16% disksimon baljlar, 9% qutisimon, 3% yeryong'oqsimon va 40% psevdobaljlardir.

Keyinchalik, biz o'tamassiv qora o'ra (O'QO') massalarining ma'lum qiymatlari va spiral galaktikalar markaziy qismlarining asosiy fizik xususiyatlariga ega bo'lgan 65 ta galaktikadan iborat ro'yxatini tuzdik, xususan, unda balj massalari, galo massalari, balj yorqinligi, balj yulduzlarining tezlik dispersiyasi va boshqa kattaliklar mavjud. Biz galaktikaning asosiy markaziy qismlarining massalaridan markaziy qora o'ra massasi bilan empirik bog'liqliklarni topdik.

Ma'lumotlarning sinchkovlik bilan tahlili shuni ko'rsatdiki, 65 ta spiral galaktikadan 24 tasi uchun galo massalari ham mavjud bo'ldi. Qora o'ra va galo massalari o'rtasidagi aniqlangan korrelyatsiya koeffitsientining qiymati juda yaxshi bo'lib chiqdi: $cc = 0.64$. Ular orasida quyidagicha logarifmik munosabat topildi:

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = (6.446 \pm 1.13) + (0.588 \pm 0.15) \log(M_{\text{galo}}/M_{\odot}), \quad (1)$$

va koeffitsientlarni aniqlashdagi xatolik ham nisbatan kichik. Galaktik baljning markazidagi qora o'raning massasi ortishi bilan galaktika galosining massasi ham ortib boradi, ya'ni galaktika markazidagi qora o'raning massasi qanchalik katta bo'lsa, undagi galo massasi shunchalik katta bo'ladi, bu fizik jihatdan tushunarli.

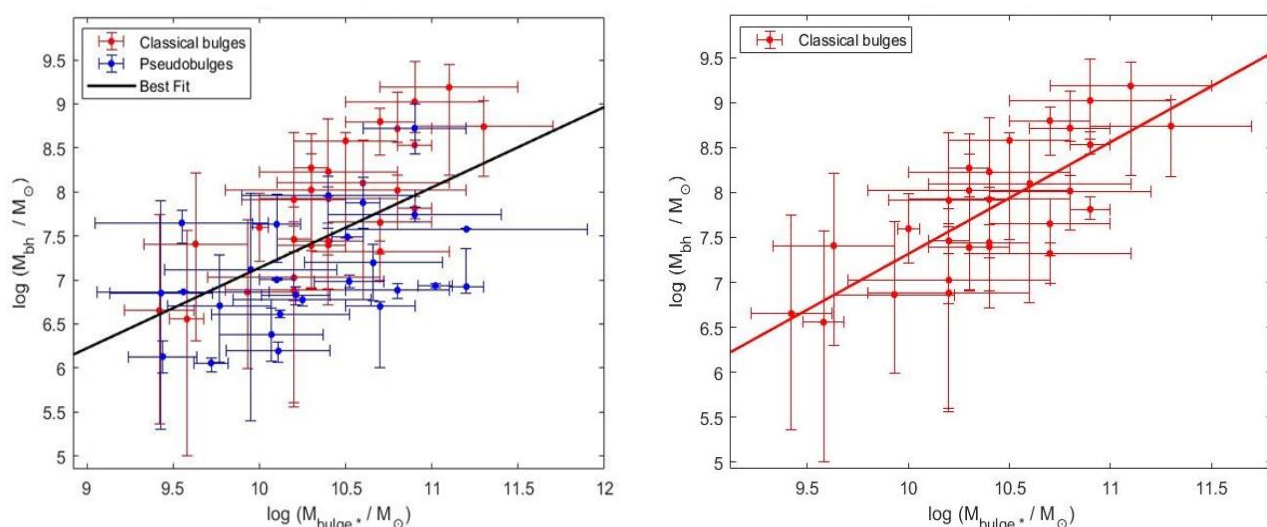
Bundan tashqari, $N_{\text{III C}}$ sharsimon to'dalar soni va O'QO' massasi o'rtasidagi bog'liqlik aniqlandi. Bunda korrelyatsiya koeffitsienti $cc=0.86$, empirik formula esa quyidagi ko'rinishda:

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = 5.073 \pm 0.197 + (1.154 \pm 0.091) \cdot \log N_{\text{шс}}. \quad (2)$$

Agarda biz eng ko‘p uchraydigan faqat ellipsoidal shakldagi baljlar turini alohida qilib olsak, u holda korrelyatsiya biroz oshadi ($cc = 0.89$) va formula (2) quyidagicha ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = 5.4 \pm 0.257 + (1.046 \pm 0.107) \cdot \log N_{\text{шс}}, \quad (3)$$

shuningdek, M_{qD} va baljlarning massa $M_{\text{балдж}}$ qiymatlari o‘rtasidagi bog‘liqlik ham qiziqish uyg‘otadi. Biz ilk bor spiral galaktikalarning balji ($M_{\text{балдж}}$) va O‘QO‘ (M_{qD}) massalari o‘rtasidagi empirik munosabatni izladik va juda yaxshi korrelyatsiya topildi (1-rasm).



1-rasm. chapda: barcha ob'ektlar uchun M_{qD} va $M_{\text{балдж}}$ bo‘lanish grafigi; o‘ngda: faqat klassik tipdagi baljlar uchun M_{qD} bilan $M_{\text{балдж}}$ bog‘lanish grafigi.

Agar biz faqat klassik ya’ni ellipsoidal baljlarni alohida ko‘radigan bo‘lsak, u holda korrelyatsiya koeffitsienti $cc = 0.77$ ga teng. Natijada quyidagicha empirik munosabat olindi:

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = -5.11 \pm 2.07 + (1.24 \pm 0.19) \cdot \log(M_{\text{Балдж}}/M_{\odot}). \quad (4)$$

Spiral galaktikalarning baljlarini aniqlash ba’zan juda qiyin, ayniqsa ularni sinflashtirish. Shuning uchun, barcha turdagi baljlarni hisobga olgan holda, korrelyatsiya koeffitsienti tabiiy ravishda kamayadi va $cc = 0.58$ qiymatiga yetadi. Ifoda esa umumiy holatda shunday

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = -1.99 \pm 0.18 + (0.91 \pm 0.17) \cdot \log(M_{\text{Балдж}}/M_{\odot}). \quad (5)$$

Bundan har bir balj tipi uchun alohida zarur bo‘lgan munosabatni aniqlash kerakligini ifodalaydi.

Shuningdek, biz M_{qD} va $L_{\text{балдж}}$ balj yorqinligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni

aniqladik. Empirik munosabatni topish uchun umumiy shakldagi logarifmik munosabatni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = \alpha + \beta * \log(L_{\text{балдж}}/L_{\odot}) . \quad (6)$$

Ikkita holat uchun koeffitsientlarning qiymatlari esa quyidagicha:

– barcha turdagi baljlar uchun: $cc = 0.72$,

$$\alpha = -5.09 \pm 1.69; \quad \beta = 1.22 \pm 0.16, \quad (7)$$

– klassik baljlar uchun: $cc = 0.83$,

$$\alpha = 0.95 \pm 0.85; \quad \beta = 0.64 \pm 0.08. \quad (8)$$

Ko‘rinib turibdiki, erkin hadning qiymatida farq mavjud va barcha turdagi baljlarni birgalikda ko‘rib chiqishda α qiymatini aniqlashda xatolik juda katta, bu har bir balj tipini alohida tahlil qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Nihoyat, biz M_{qD} ning balj yulduzlarining tezliklar $\sigma_{\text{балдж}}$ dispersiyasiga bog‘liqligi natijalarini taqdim etamiz:

– barcha turdagi baljlar uchun ($cc=0.652$)

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = 5.55 \pm 0.318 + (0.014 \pm 0.002) \cdot \log(\sigma/\text{km} \cdot \text{s}^{-1}), \quad (9)$$

– klassik baljlar uchun: ($cc=0.728$)

$$\log(M_{\text{qD}}/M_{\odot}) = 5.96 \pm 0.358 + (0.013 \pm 0.002) \cdot \log(\sigma/\text{km} \cdot \text{s}^{-1}). \quad (10)$$

Shunday qilib, biz ona galaktika markaziy qismlarining asosiy fizik xususiyatlari bilan undagi O‘QO‘ massasi orasida yaqin bog‘liqligini topdik. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, O‘QO‘ ushbu asosiy xususiyatlarning qiymatlarini boshqaradi va olingan natijalarni taqqoslashdan bu birlamchi ekanligi aniqlandi, aksincha emas.

Dissertatsiyaning “**Radial pulsatsiyalanuvchi disk shaklidagi modellar va ularning asosiy xarakteristikalari**” nomli uchinchi bobida anizotrop tezlik diagrammasi bilan radial beqaror diskning yangi fazali modeli tuzilgan.

Anizotropik tezliklar diagrammasi bilan nostatsionar disk modeli quyidagi ko‘rinishda tuzilgan:

$$\Psi_A = \frac{3\sigma_0}{2\pi} \left[\left(\left(\frac{r}{\Pi} + v_{\perp} \Pi \right)^2 + \Pi^2 (v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \left(\left(\frac{r}{\Pi} - v_{\perp} \Pi \right)^2 + \Pi^2 (v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \frac{2}{3} \right] \chi(D). \quad (11)$$

Ushbu model o‘z tekisligida $R = \Pi(t) R_0$ qonuniga muvofiq pulsatsiyalanadi, $\Pi(t)$ funktsiyasi

$$\Pi(t) = \frac{(1 + \lambda \cos \psi)}{1 - \lambda^2}, \quad t = \frac{\psi + \lambda \sin \psi}{(1 - \lambda^2)^{3/2}}.$$

Bu (11) anizotrop pulsatsiyalanuvchi modelni qurishning birinchi bosqichi bo‘lib, ikkinchi bosqich - superpozitsiya orqali quyidagicha kompozit modelni hosil qilishdan iborat:

$$\Psi_{\text{cocma6}} = (1-\mu) \left[\frac{\sigma_0}{2\pi\Pi\sqrt{1-\Omega^2}} \left[\frac{1-\Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_b)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \chi(R-r) \right] +$$

$$+ \mu \left[\frac{3\sigma_0}{2\pi} \left[\left(\left(\frac{r}{\Pi} + v_\perp\Pi \right)^2 + \Pi^2(v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \left(\left(\frac{r}{\Pi} - v_\perp\Pi \right)^2 + \Pi^2(v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \frac{2}{3} \right] \chi(D) \right] , \quad (12)$$

bu yerda μ - superpozitsiya parametri bo‘lib uning qiymati $[0;1]$ oralig‘ida o‘zgaradi. Shuningdek, agarda $\mu=0$ bo‘lsa sof izotrop, agarda $\mu=1$ bo‘lsa anizotropik holat, ya’ni superpozitsiya printsiptan foydalanish bu ikki holat o‘rtasidagi barcha modellarni qamrab olish imkonini beradi.

Keyingi bosqichda ushbu anizotrop modelning fizik xususiyatlari topildi. Masalan, pulsatsiyalanuvchi diskning kinetik energiyasining tarkibiy qismlari quyidagi formulalar yordamida hisoblanadi:

$$T_r^{\text{reg}} = \frac{MR_0^2\lambda^2\sin^2\psi}{5\Pi^2(1-\lambda^2)}, \quad T_\perp^{\text{reg}} = \frac{3MR_0^2}{20\Pi^2}, \quad (13)$$

radial va vertikal yo‘nalishlarda tezlik dispersiyasi esa:

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{\sigma} \iint (v_r - \bar{v}_r)^2 \psi_a d\bar{v} = \frac{1}{12\Pi^2} \left(R_0^2 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right), \quad (14)$$

$$\sigma_\perp^2 = \frac{1}{\sigma} \iint (v_\perp - \bar{v}_\perp)^2 \psi_a d\bar{v} = \frac{R^2}{12\Pi^4}. \quad (15)$$

Topilgan fizik parametrlar nostatsionar diskning nohiziqli modelini to‘liq tavsiflaydi.

Dissertatsiyaning “**Disk shaklidagi galaktikalarning nohiziqli nostatsionar modellari fonida SGB larning shakllanishi**” nomli to‘rtinchi bobida baljlarning kelib chiqishining nohiziqli nazariyasi masalalari ko‘rib chiqilgan. Turli mualliflarning nashr etilgan kuzatuv ma’lumotlarining jamlangan katalogiga asoslanib, SGB turini tanlash va mos modalarni qidirish amalga oshirildi. Galaktikalarda turli xil balj turlarining vujudga kelish muammolari nohiziqli nostatsionar modellar fonida, unga mos keladigan beqarorlik modalarining o‘zgravitatsiyalanuvchi beqarorligini tahlil qilish orqali o‘rganiladi..

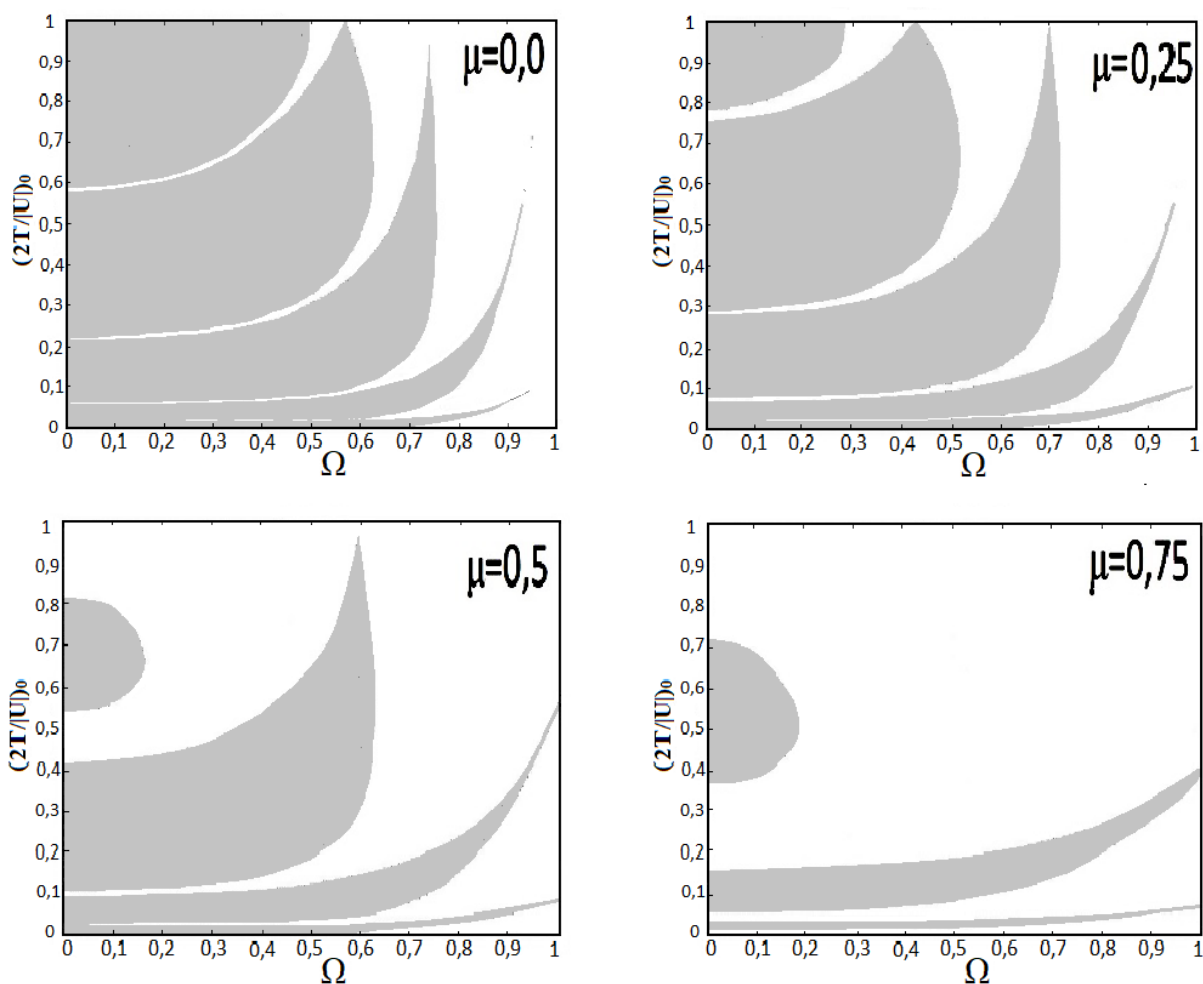
Diskning vertikal tebranishlarining beqarorligi natijasida baljning aniq ko‘rinishdagi shaklini olish uchun biz yupqa diskning kichik egilish tebranishlari nazariyasidan foydalandik.

Ilk bor, biz tamonimizdan klassik baljlarning kelib chiqish nazariyasi o‘rganildi. O‘zgravitatsiyalanuvchi diskning nohiziqli pulsatsiyalanuvchi fazali modeli qurilgan va uning fonida, beqarorligi klassik balj shakllanishiga olib keladigan egrilanish beqarorligining xatti-harakati o‘rganilgan. Buning uchun biz tebranish modalari (0,3) ni ko‘rib chiqdik, ya’ni $m=0$ azimutal to‘lqin soni, bu diskning aylanish o‘qiga nisbatan beqarorlik simmetriyasini bildiradi va asosiy

to'liqin soni $N=3$, bu gumbaz shakli bilan bog'liq. Bu holda (12) model uchun biz nostatsionar dispersiya tenglamasini (NDT) quyidagicha olindi:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{dB}{d\psi} + \left[\frac{5}{2} - \frac{10}{3} \frac{(1-\mu)(1-\Omega^2)(1-\lambda^2)}{(1+\lambda \cos \psi)} - \frac{5\mu(1-\lambda^2)}{6(1+\lambda \cos \psi)} \right] B(\psi) = 0. \quad (16)$$

Ko'rinib turibdiki, NDT (16) uchta parametrغا bog'liq: λ , μ va Ω . Shubhasiz, bu erda uni faqat analitik o'rganish mumkin emas va shuning uchun biz fizik parametrlarning aniq qiymatlari uchun sonli integratsiyani (16) amalga oshiramiz. Berilgan μ qiymatlari uchun aylanish parametri Ω ga $\lambda=1-(2T/|U|)_0$ ning kritik diagrammasini qurish uchun parametrik rezonans barqarorligining ma'lum usulini qo'llaymiz. Biz superpozitsiya parametri 0; 0.25; 0.5 va 0.75 bo'lgan holatlarni ko'rib chiqdik. Hisoblash natijalari 1-rasmda ko'rsatilgan.



2-rasm. μ ning turli qiymatlarida $N=3$, $m=0$ tebranish modasi uchun virial parametrning disk aylanish parametriga bog'liqligi. Qoraga bo'yalgan sohalar beqaror bo'lgan sohalarini ekanligini ifodalaydi.

2-rasmdan ko'rinib turibdiki, $\mu=0$ da bizda faqat izotrop tezliklar diagrammasi nostatsionar bo'lgan disk mavjud va butun maydonning yarmidan ko'pi beqaror,

bundan tashqari, $(2T/|U|)_0 \rightarrow 0$ bilan sof radial harakatlar holatiga yaqinlashganda, beqarorlikning «barglari» soni kamayadi. A $(2T/|U|)_0 \rightarrow 1$ bilan «barglar» maydoni asta-sekin o'sib boradi. Odatda μ ning qiymati oshishi bilan beqarorlik hududi kamayadi, ya'ni anizotrop qismning kompozit modelga kiritilishi kompozit modelning beqarorlik darajasi pasayishiga olib keladi (12).

Nostatsionar kompozit model uchun (12) ga muvofiq beqarorlikning xatti-harakati (0;5) quyidagi NDT yordamida tavsiflanadi:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \cdot \frac{dB}{d\psi} + \left\{ \frac{161}{32} - \frac{7\mu(1-\lambda^2)}{3(1+\lambda \cos \psi)} - \frac{28(1-\mu)(1-\lambda^2)(1-\Omega^2)}{3(1+\lambda \cos \psi)} \right\} B(\psi) = 0, \quad (17)$$

va (0;7) uchun NDT quyidagi ko'rinishga ega:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \cdot \frac{dB}{d\psi} + \left\{ \frac{969}{128} - \frac{9\mu(1-\lambda^2)}{2(1+\lambda \cos \psi)} - \frac{18(1-\mu)(1-\lambda^2)(1-\Omega^2)}{(1+\lambda \cos \psi)} \right\} B(\psi) = 0. \quad (18)$$

Ushbu NDT lar sonli yechish bilan hal qilindi va ko'rsatilgan beqarorliklarning uchta erkin parametrlarning qiymatlariga qarab ortib borishi aniqlandi.

m ning qiymati oshgani sayin, kompozit noturg'un disk modeli barqarorroq bo'ldi. Bundan tashqari, «barglari» soni ham kamayadi ekan.

Yana disk shaklidagi tebranish modalari ham ko'rib chiqilgan. Buning uchun modalar $m=0; N=15$ va $m=0; N=17$. Kompozit model (12) uchun disk shaklidagi tebranish modalarining ($m=0; N=15$) va ($m=0; N=17$) ga mos keladigan NDT lari topilgan.

Shubhasiz, olingan bu NDT larni analitik yechish imkoni mavjud emas va shuning uchun ularning sonli tadqiqotini davriy yechimlarning barqarorligi usuli yordamida bajardik.

Bundan tashqari, bu bobda psevdobaljnning vujudga kelishi muammolari ham tahlil qilingan. Ko'pgina mualliflar yeryong'oq, X shaklidagi va disk shaklidagi psevdobaljlar ekanligiga ishonishadi. Shuning uchun biz ikki xil X shaklidagi va yeryong'oqsimon baljlar uchun beqarorlik modalarini o'rganib chiqdik, ya'ni quyidagi modalar: $m=1, N=2$ va $m=2, N=5$.

Kompozit model (12) uchun moda ($m=1; N=2$) ning NDT si bizni quyidagi tenglamaga olib keladi:

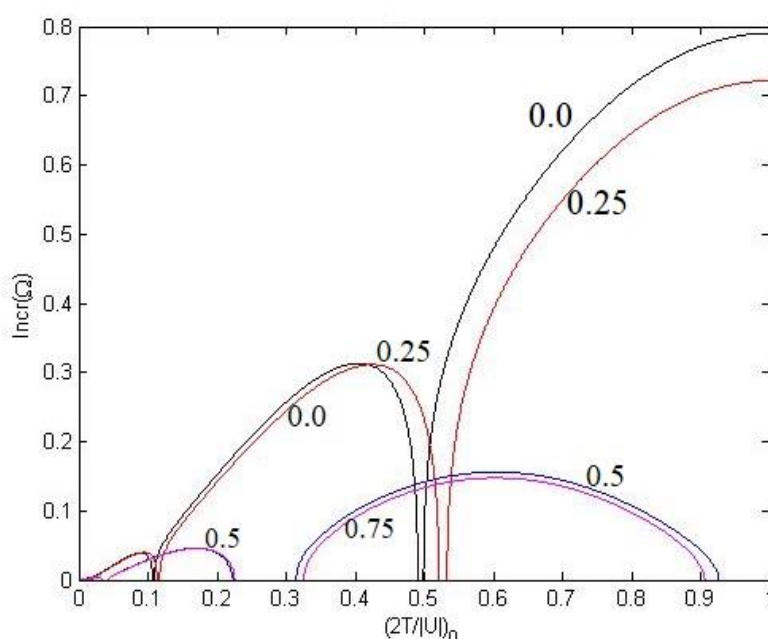
$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 2i\Omega \sqrt{1-\lambda^2} (1-\mu) \right) \frac{dB}{d\psi} + \left\{ 1 - \frac{\mu(1-\lambda^2)}{1+\lambda \cos \psi} + \frac{(1-\mu)(1-\lambda^2)}{1+\lambda \cos \psi} \left[\frac{2i\Omega \lambda \sin \psi}{\sqrt{1-\lambda^2}} - 1 \right] \right\} B(\psi) = 0 \quad (19)$$

(12) model uchun tebranish modas ($m=2; N=5$) ining NDT quyidagi ko'rinishga ega:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 4i\Omega\sqrt{1-\lambda^2}(1-\mu) \right) \frac{dB}{d\psi} + \left\{ \frac{73}{16} - \frac{5\mu(1-\lambda^2)}{1+\lambda \cos \psi} + \frac{(1-\mu)(1-\lambda^2)}{1+\lambda \cos \psi} \left[\frac{4i\Omega\lambda \sin \Psi}{\sqrt{1-\lambda^2}} + 4\Omega^2 - 8 \right] \right\} B(\psi) = 0 \quad (20)$$

Barcha NDT lar ularning beqarorligi va kritik holatlarining o‘shishini aniqlash uchun sonli tarzda hal qilindi.

Keyinchalik, biz beqarorlik o‘shishini solishtirdik. Aylanish parametrining turli qiymatlari uchun beqarorlik o‘shishini hisoblash shuni ko‘rsatadiki, aylanish tezligi oshishi bilan beqarorlik o‘shishining qiymatlari asta-sekin kamayadi.



3-rasm. Ω ning turli qiymatlarida $\mu = 0.5$ model uchun gumbazsimon modaning beqarorlik inkrementi.

Radial tebranishlar bo‘lmaganda, ya’ni. $(2T/|U|)_0 = 1$ bo‘lsa, model $\Omega < 0.3536$ da butunlay beqaror. Shundan so‘ng, beqarorlik o‘shishi asta-sekin kamayadi (3-rasm) va barqarorlik kanali mavjudligi sababli beqarorlikning mos keladigan maydoni torayadi. Agar biz barqarorlik kanallaridan o‘tsak, har safar o‘zimizni aperidik beqarorlik zonasida topamiz. Shuningdek, hisob-kitoblar beqarorlik $(2T/|U|)_0 = 0.389$ dan boshlanishini ko‘rsatadi. Bunday holda, aylanish parametri $\Omega < 0.922$ qiymatiga qadar beqarorlashadi va keyin u barqarorlashtiruvchi rol o‘ynaydi. Bundan shuni aytishimiz mumkinki, tizimning evolyutsiyasi nostatsionarlik va aylanish darajasiga kuchli bog‘liqdir. Aylanish bo‘lmasa, biz barqarorlikning tor mintaqasini topdik (0,127; 0,084). Bu interval ortib borayotgan aylanish parametri bilan tezda torayib boradi va $\Omega > 0.04$ qiymatida yo‘qoladi. Barqarorlik hududi tebranish rezonans beqarorligi hududini radial harakatlarning beqarorligi zonasidan ajratib turadi. Ushbu beqarorliklar aylanish parametrining kichik qiymatlarida birlashadi. Beqarorlik

o'sishining aylanish parametriga bog'liqligidan kelib chiqadiki, virial parametrning qiymati oshishi bilan mos keladigan o'sish ham ortadi.

Ikki holat uchun ellipsoidal va gumbazsimon modalarning beqarorlik o'sishini Ω bo'yicha taqqoslash shuni ko'rsatadiki, aylanish parametrning 0 dan 0.5 gacha bo'lgan qiymatlari uchun gumbazsimon moda asosiy va undan keyin ellipsoidal moda asosiyga aylanadi. Aylanish darajasi oshgani sayin, gumbaz shaklidagi modaning beqarorligi asta-sekin kamayadi va ellipsoidal beqarorlik o'sishi ortadi.

Ilovada SGB galaktikalarining jamlanma katalogi hamda O'QO' massalariga ega bo'lgan spiral galaktikalar ro'yxati keltirilgan.

XULOSALAR

“Spiral galaktikalar baljining fizik xususiyatlari va vujudga kelishining nazariy jihatlarini” mavzusidagi dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar olindi.

1. Adabiyotlar, xalqaro ma'lumotlar bazalari va boshqa mualliflarning Internet saytlaridan baljga ega spiral galaktikalarni tanlab, 1101 ta SGB ning jamlangan katalogi tuzildi. E'tibor berib, biz tuzgan baljlar katalogida spiral galaktikalar va ularning baljlar xususiyatlarining ma'lum qiymatlari mavjud bo'lib, ular asosan LEDA va NED ma'lumotlar bazasidan olingan.

2. Ma'lumotlarning statistik tahlili natijasida ma'lum bo'ldiki, galaktika baljlari boshqlariga nisbatan Sc morfologik sinfiga mansub spiral galaktikalarda ko'proq kuzatiladi. Umuman olganda, xarakteristikalar ma'lum qiymatlarga ega bo'lgan spiral galaktikalar soni morfologik tipi bo'yicha shunday ketma – ketlikda bo'larkan - Sa → Sb → Sc (SBa → SBb → SBc). Balj turlari sonining foizda quyidagi nisbati topildi: Klassik : Disksimon : Yeryong'oqsimon : Quti shaklidagi : Pseudo = 32% : 16% : 9% : 3% : 40% .

3. Ilk bor qora o'ra massasiga ega bo'lgan SGB ning maxsus ro'yxati tuzildi. Hozirda u O'QO' massalari ma'lum bo'lgan 65 ta ob'ektni o'z ichiga oladi. SGB larining aloxida fizik parametrlari, shuningdek, ularning markaziy qora tuynuk massasiga bog'liqligi o'rtasida empirik formulalar topildi.

4. Galaktika podsistemalarining asosiy fizik xususiyatlari va ona galaktika markaziy qora o'ra massasi o'rtasida yuqori darajali korrelyatsiya topildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, Qora o'ra ushbu asosiy xususiyatlarning qiymatlarini boshqaradi va ko'rib chiqilgan podsistemalar bilan taqqoslaganda qora o'ra asosiy ekanligi aniqlandi.

5. Zamonaviy kuzatuv ma'lumotlarini hisobga olgan holda, SGB shakllanishining noxiziqli nostatsionar nazariyasi ishlab chiqildi. O'zgravitatsiyalanuvchi diskning yangi noxiziqli nomuvozanat anizotrop modeli qurildi va bu yangi nostatsionar disk modeli uchun umumiy ifodalar aniqlandi.

6. Anizotrop tezliklar diagrammasi bilan o'zgravitatsiyalanuvchi diskning noxiziqli nostatsionar kompozit modeli tuzilgan. Tuzilgan model uchun egrilanish beqarorlik modalarining NDTlari, N va m beqarorlik indekslarining ixtiyoriy qiymatlari uchun umumiy shakldagi ko'rinishi topildi.

7. Minora shaklidagi tebranish modalarining beqarorligi o'rganildi. Superpozitsiya parametrining berilgan qiymati uchun virial parametr qiymati va diskning aylanish parametri o'rtasidagi bog'liqlikning kritik diagrammalari tuzildi. Superpozitsiya parametrining qiymati ortib borishi bilan kompozit model tobora barqaror bo'lishligi ko'rsatildi. Diskning aylanishi, bizning modelimiz fonida gumbazsimon beqarorlik modasi uchun barqarorlashtiruvchi rol o'ynaydi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

БОТИРОВ ФАРХОД УКТАМОВИЧ

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БАЛДЖЕЙ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК И
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

01.03.02 – Физика космоса и астрофизика

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2023.4.PhD/FM544.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

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

Научный руководитель: **Нуритдинов Салахутдин Насритдинович,**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Атамуротов Фаррух Шухратович**
доктор физико-математических наук

Таджибаев Икрам Уралбоевич
доктор физико-математических наук

Ведущая организация: **Евразийский Национальный университет имени Л.
Н. Гумилёва**

Защита диссертации состоится “___” _____ 2024 года в ___ часов на заседании Научном совете PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 при Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 4; Тел.: (+99871) 227-12-24, факс: (+99871) 246-53-21, 246-02-24, e-mail: nauka@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирована за № _____). (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 4; Тел.: (+99871) 246-02-24).

Автореферат диссертации разослан “___” _____ 2024 г.
(Реестр протокола рассылки № ___ от “___” _____ 2024 г.)

К.Т. Миргаджиева

Заместитель председателя научного совета по присуждению ученой степени, доктор физико-математических наук

Ф.Т. Шамшиев

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученой степени, кандидат физико-математических наук

Т.А. Ахунов

Заместитель председателя научного семинара при научном совете по присуждению ученой степени, доктор физико-математических наук

ВВЕДЕНИЕ

(аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мировой литературе сегодня актуальными являются исследования, сосредоточенные на вопросах изучения этапов эволюции родительских галактик путем исследования сверхмассивных черных дыр в их центре, околядерных областей вокруг них и выпуклых балджей. Согласно результатам современных исследований, физические свойства и эволюция этих структур сильно зависят от типа галактики. Известно, что балджи являются одним из важных структурных единиц дисковых галактик. В связи с этим, особое внимание уделяется разработке механизмов их формирования, нахождению эмпирических формул на основе создания сводного каталога балджей спиральных галактик (БСГ), в том числе, показывающих важность физической связи между основными характеристиками балджа и родительских галактик.

Отметим, что в мировой литературе значительно расширена база данных наблюдений галактик, проводится изучение основных их физических характеристик, влияния сверхмассивной черной дыры на балдж и физические свойства галактик, причем для определения типа балджей используется, например, модель Серсика и проводится исследование данных, полученных с помощью современных телескопов. В этом направлении, среди прочего, считаются приоритетными исследования, направленные на классификацию типов балджей по их внешней форме и модам возмущения, а именно разделение на классические, дискообразные, арахисоподобные и псевдобалджи с изучением соответствующей физической природы. В то же время изучение гравитационных неустойчивостей и влияния центральных сверхмассивных черных дыр на физические свойства БСГ и их родительских галактик, возникающих при формировании основных типов БСГ на фоне нестационарной модели, считается также актуальной задачей.

В нашей республике уделяется большое внимание современным направлениям астрофизики с научным и практическим применением соответствующих результатов. В частности, особое внимание уделяется изучению наблюдательных аспектов физических процессов, происходящих в спиральных галактиках, и изучению присутствующих в них балджей. Это означает, что направление фундаментальных исследований, связанное со стратегией⁵ развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы, имеет большое значение в развитии науки в нашей стране. В частности, основной задачей фундаментальных исследований считается проведение научных исследований на уровне международных стандартов в области космических исследований и развития технологий. Важным вопросом в реализации этих задач является создание модели для исследования балджа галактик и разработка теории образования балджа.

⁵ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 г. “О Стратегии развития нового Узбекистан на 2022–2026 годы”

Настоящая диссертация в определённой степени посвящена решению задач, обозначенных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №-УП-6097 “Об утверждении концепции развития науки до 2030 года” от 29 октября 2020 года, №-РП-5209 “О мерах по развитию космических исследований и технологий в Республике Узбекистан” от 12 февраля 2018 года и законе №-ЗРУ-576 “О науке и научной деятельности”, подписанный Президентом Республики Узбекистан 29 октября 2019 года, а также других нормативно-правовых актах по данной деятельности.

Связь исследования с приоритетными направлениями 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 во многих странах хорошо развиты наблюдения за строением дискообразных галактик. Сегодня многие ведущие ученые мира занимаются определением типа балджа нашей Галактики и других дискообразных галактик, изучением их особенностей, фотометрическими исследованиями и моделированием этой части галактик. В качестве примера можно привести американцев Дж. Корменди, Д. Фишера, Н. Дрори, Б.Ф. Мадоре, Д. Зарицкого, чилийцев Д. Гадотти, О.А. Гонсалеса, Д. Миннити, М. Зоккаларни, французов Ф. Бурно, Э. Атанассула, Ф. Комба, П. Пруньеллари, австралийцев К.К. Фримана, М. Бюро, Дж. Моулдларни. Дж. Ху и Э. Эмселлема, О. Герхарда, Р. Сальярни из Германии, Дж. Шена и А. Шульце из Китая, Дж. Ф. Баррозу, П.С. Блазкеса из Испании и других учёных. Однако для балджей спиральных галактик не собрано отдельных наблюдательных данных и не проведен их статистический анализ.

Некоторые авторы, например, Дж. Ху⁶, Дж. Корменди и Р. Кенникутт⁷ не уделяли в своих работах особого внимания типу галактик, а изучали статистические связи между рядом физических параметров их галактик. С.Тремейн и другие⁸ обнаружили эмпирическую связь между дисперсией скоростей звезд и некоторыми параметрами, такими как масса сверхмассивной черной дыры в центре галактики, но они не обратили особого внимания на тип галактики и выполнили единую статистику для них.

В Национальном университете Узбекистана впервые были проведены исследования по нелинейной динамике разных подсистем галактик и специфических типов самогравитирующих систем, а также по анализу задачи создания точных фазовых моделей нелинейных неравновесных стадий развития галактик, что выполнено С.Н.Нуритдиновым и К.Т.Миртаджиевой. Н.Нуритдинов совместно с В.А.Антоновым из России исследовал нелинейные колебания стационарной модели Эйнштейна и проблемы эволюции бароподобных возмущений на фоне этой динамической модели. Теоретические

⁶ J. Hu, “The black hole mass–bulge mass correlation: bulges versus pseudo-bulges” *MNRAS*, pp. 1-22, 2021.

⁷ J. Kormendy and R. Kennicutt, “Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies” *Astronomy & Astrophysics*, vol. 42, pp. 603-683, 2004.

⁸ S. Tremaine, K. Gebhardt, R. Bender, G. Bower, A. Dressler, S. M. Faber, A. V. Filippenko, R. Green, C. Grillmair, L.C. Ho, J. Kormendy, T.R. Lauer, J. Magorrian, J. Pinkney and D. Richstone, “The slope of the black hole mass versus velocity dispersion correlation” *Astrophysical Journal*, 574: 740-753, 2002.

результаты, полученные в Национальном университете Узбекистана, были подтверждены численными экспериментами ученых из США, Кореи и Индии. Кроме того, была построена динамическая модель с изотропной диаграммой скоростей для дискообразных самогравитирующих систем и на её основе были исследованы вопросы неустойчивости отдельных мод возмущений. Однако сбор наблюдательных данных отдельно для балджей спиральных галактик и их анализ не проводился, также не были определены эмпирические связи между физическими параметрами спиральных галактик и их балджей, которые считаются важной информацией для последующего объяснения их формирования.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация. Исследование выполнено в соответствии с планами научно - исследовательских проектов Ф2-13 – “Фазовое перемешивание нелинейно нестационарных стадий эволюции самогравитирующих систем с учетом их гравитационных неустойчивостей и возможных резонансных состояний” и Ф3-2020092851 – “Физика неустойчивостей мелкомасштабных возмущений на фоне пульсации самогравитирующих систем с различной геометрией” Национального университета Узбекистана.

Целью исследования является нахождение и классификация эмпирических связей между физическими параметрами БСГ и разработка теории образования балджей спиральных галактик.

Задачи исследования:

накопление и анализ данных наблюдений с целью разработки классификации балджей спиральных галактик;

поиск эмпирических зависимостей основных физических характеристик БСГ от массы центральной черной дыры;

разработка теории формирования БСГ в результате неустойчивости вертикальных колебаний нестационарной модели самогравитирующего диска;

построение новой нелинейной нестационарной модели дискообразных самогравитирующих систем с анизотропными диаграммами скоростей.

Объектом исследования являются БСГ, их теоретические модели и соответствующие моды возмущений, не изученные до нас теоретически для объяснения наблюдаемых структурных образований в дисковых галактиках.

Предметом исследования являются процессы и механизмы формирования БСГ в самогравитирующих дискообразных системах и определение характеристик гравитационных неустойчивостей на фоне нестационарных моделей.

Методы исследования. В ходе исследования использовался метод наименьших квадратов для поиска статистических связей, а также аналитические и численные методы решения систем дифференциальных уравнений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

создан сводный каталог из 1101 БСГ. На основе наблюдательных данных и методов, предложенных различными авторами, выполнен сравнительный

анализ этого каталога, разработана классификация наблюдаемых балджей с точки зрения их теории формирования;

впервые найдены эмпирические формулы, связывающие между собой массу черной дыры в центре БСГ и ее основные физические характеристики;

впервые построена изгибная теория формирования балджей спиральных галактик в результате неустойчивости вертикальных колебаний нестационарной модели самогравитирующего диска;

методом осреднения по параметру вращения нестационарной изотропной модели разработана новая пульсирующая модель, способная обеспечить аналитическое решение дискообразных самогравитирующих систем с анизотропной диаграммой скоростей.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

составленный сводный каталог из 1101 БСГ путем отбора таких галактик из литературных источников, международных баз данных и интернетовских сайтов других авторов;

найденные для практических целей эмпирические формулы между отдельными физическими характеристиками БСГ, а также их зависимости от массы центральной черной дыры;

предложенная классификация БСГ с определением соответствующих мод возмущений, неустойчивости которых приводит к их формированию.

Достоверность результатов исследования. Для подтверждения достоверности результатов исследования в работе использовались современные и проверенные методы статистического анализа данных наблюдений, а также высокоточные численные методы расчета и методы математического анализа и статистики. Это позволило учесть все возможные параметры, влияющие на исследуемые БСГ, и сделать обоснованные выводы о закономерностях их развития. Полученные результаты были апробированы на ряде республиканских и международных конференций.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная ценность диссертации определяется тем, что полученные результаты дают возможность создать физику БСГ и нелинейную теорию их формирования, а также показано, что составленный каталог агрегатов и результаты его статистического анализа станут основой для решения проблемы классификации.

Это объясняется применением результатов практических исследований диссертации к новым БСГ, выявленным в результате наблюдений, и возможностью определения их неизвестных физических свойств.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертации внедрены:

Составленный каталог БСГ использовался в рамках проекта F2-FA-F029-“Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем” для определения свойств гало дискообразных галактик (справка №02-09/266 Астрономического института имени Улугбека Академии наук Узбекистана от 24 ноября 2023 года). В

результате удалось определить эмпирическую зависимость между массами гало и балджа;

Теория изгибного образования балджа и найденная эмпирическая формула между массой балджа и массой центральной черной дыры использованы в проекте F2-FA-F029 – “Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем”, для изучения свойств гало спиральных галактик (справка №02-09/266 Астрономического института имени Улугбека Академии наук Узбекистана от 24 ноября 2023 года). Применение этих научных результатов позволило изучить этапы эволюции дискообразных галактик с гало;

Модель, созданная для исследования теории образования галактик, использовалась при анализе проблемы образования кольцевых галактик, который проводился в рамках проекта по теме F2-FA-F029 – “Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем” (справка №02-09/266 Астрономического института имени Улугбека Академии наук Узбекистана от 24 ноября 2023 года). В результате были найдены моды возмущения, неустойчивость которых привела к формированию кольцевых галактик.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5-ти международных и 10-ти республиканских научно-практических конференциях. Результаты обсуждались на семинарах кафедры Астрономии и астрофизики совместно с Научной лабораторией “Астрофизических исследований” Национального университета Узбекистана, на объединенном семинаре физического факультета, а также на семинаре Лаборатории “Внегалактической астрономии” Астрономического института АН РУз.

Опубликованность результатов исследования. Результаты исследования по теме диссертации представлены в 27 научных работах, включая 12 научных статей, из которых 3 опубликованы в зарубежных журналах Скопус и 9 - в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Основной объем диссертации 115 страниц без учета приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и список использованной литературы.

Во введении обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с исследованиями по приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, раскрывается степень изученности проблемы, формулируются цели и задачи, а также объект и предмет исследования, излагаются научная новизна и практические результаты

исследования, обосновывается достоверность полученных результатов, раскрывается ее теоретическая и практическая значимость, приведен список внедрений в практику результатов исследования и опубликованных работ, сведения об апробации полученных результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Наблюдательные свойства балджей спиральных галактик (БСГ) и их теоретические аспекты»**, приведен литературный обзор результатов по теме диссертации, как в направлении данных наблюдений, так и теоретических исследований, посвященных крупномасштабному строению БСГ.

Нам известно, что в центральной области нашей Галактики и многих других спиральных галактик наблюдаются балджи в виде некоторого вздутия, имеющие, чаще всего, чисто эллиптическую форму. Согласно наблюдениям, БСГ имеют весьма сложную внутреннюю структуру. Среди возможных различных механизмов формирования БСГ чаще всего указывают явление слияния галактик. Однако далеко не всегда слияния приводят к формированию спиральных галактик. На наш взгляд, явление гравитационной неустойчивости может играть важную роль не только в формировании и эволюции различных бесстолкновительных самогравитирующих систем (БСС), но и в образовании структуры БСГ. Незря в астрофизике исследованию данного явления всегда уделяется большое внимание.

Вторая глава **«Статистический анализ современных данных наблюдений БСГ и вопросы их классификации»** содержит анализ проблем классификации БСГ. В этой главе, прежде всего, выполнен литературный обзор результатов современных данных наблюдений по БСГ. Рассмотрены существующие проблемы в физике БСГ, в частности, вопросы классификации балджей и накопления данных наблюдений по БСГ. На основе накопления наблюдательных данных БСГ составлен сводный каталог, состоящий из 1101 объекта. Наш каталог отличается от других списков и каталогов тем, что в нем представлены параметры балджа только для спиральных галактик. Основные параметры, относящиеся к балджу галактики, обогащены максимальными дополнительными данными, доступными в базах данных LEDA и NED. Нами выявлено, что балджи галактик больше всего наблюдаются у спиральных галактик морфологического класса Sc. В общем случае, количество балджей галактик увеличивается при переходе от морфологического типа $Sa \rightarrow Sb \rightarrow Sc$ ($SBa \rightarrow SBb \rightarrow SBc$).

До наших работ многие авторы предлагали разделять балджи на два вида: классические (куполообразные) балджи и псевдо-балджи. Нами разработана их классификация и показано, что их необходимо разделить на 5 классов: классические (К) балджи (NGC6504); дискообразные (Д) балджи (NGC6782); арахисоподобные (А) балджи (NGC7332); ящикообразные (Я) балджи (NGC891) и псевдобалджи (П). Последний тип объединяет, главным образом, Х-образные балджи и те случаи, которых невозможно классифицировать вообще. В нашем каталоге 32 % спиральных галактик имеют классический балдж, 16 % дискообразные, 9 % ящикообразные, 3 % арахисоподобные и 40 % псевдобалджи.

Далее, нами составлена выборка из 65 галактик с известными значениями масс сверхмассивной черной дыры (СЧД) и основных физических характеристик подсистем спиральных галактик, в частности, масс балджа, гало, звездной составляющей, светимости балджа, дисперсии скоростей звезд и др. Найдены эмпирические зависимости массы центральной СЧД от масс основных подсистем галактики.

Тщательный анализ данных показал, что для 24 из 65 спиральных галактик имеются надежные значения массы их гало. Коэффициент корреляции между массами СЧД и гало оказался достаточно хорошим: $\text{cc} = 0.64$. Найдена логарифмическая связь между ними:

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = (6.446 \pm 1.13) + (0.588 \pm 0.15) \log(M_{\text{гало}}/M_{\odot}), \quad (1)$$

причем ошибки определения коэффициентов являются сравнительно низкими. Масса СЧД в центре галактического балджа растет с ростом массы галактического гало, т.е. чем больше масса черной дыры в центре галактики, тем больше масса гало в ней, что физически вполне понятно.

Кроме того, определена зависимость между количеством шаровых скоплений $N_{\text{шс}}$ и массой СЧД. В этом случае коэффициент корреляции $\text{cc}=0.86$, а эмпирическая формула имеет вид:

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = 5.073 \pm 0.197 + (1.154 \pm 0.091) \cdot \log N_{\text{шс}}. \quad (2)$$

Если брать только наиболее распространенный тип балджей в виде эллипсоидальной формы, то корреляция несколько растет ($\text{cc}=0.89$) и формула (2) примет следующий вид:

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = 5.4 \pm 0.257 + (1.046 \pm 0.107) \cdot \log N_{\text{шс}}, \quad (3)$$

где ошибки незначительно выше, чем в (2). Интерес представляет также связь $M_{\text{чд}}$ от значений массы самих балджей $M_{\text{балдж}}$. Мы впервые выполнили поиск возможной эмпирической зависимости между массами СЧД ($M_{\text{чд}}$) и балджей ($M_{\text{балдж}}$) спиральных галактик и обнаружили достаточно хорошую корреляцию (рис.1.).

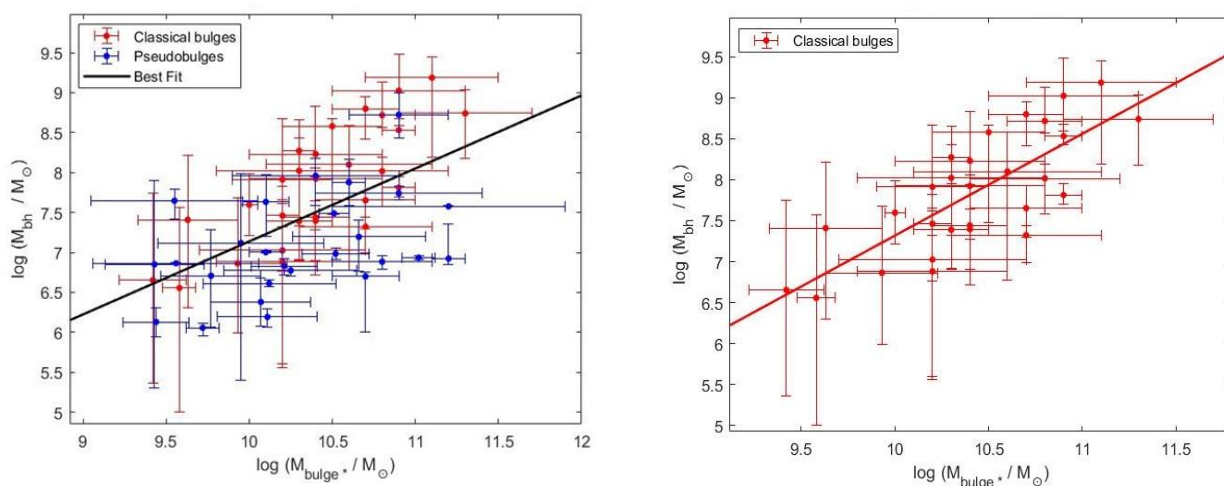


Рис.1. слева: для всех объектов поведение зависимости $M_{\text{чд}}$ и $M_{\text{балдж}}$; справа: для классических балджей зависимость $M_{\text{чд}}$ и $M_{\text{балдж}}$.

Если рассмотреть отдельно только классические, эллипсоидальные балджи, то коэффициент корреляции $cc=0.77$. Соответствующая эмпирическая зависимость получена в виде:

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = -5.11 \pm 2.07 + (1.24 \pm 0.19) \cdot \log(M_{\text{Балдж}}/M_{\odot}). \quad (4)$$

Балджи спиральных галактик иногда весьма трудно выделить и тем более их классифицировать. Поэтому при рассмотрении всех типов балджей коэффициент корреляции естественно уменьшается и достигает значения $cc = 0.58$. Тогда в общем случае:

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = -1.99 \pm 0.18 + (0.91 \pm 0.17) \cdot \log(M_{\text{Балдж}}/M_{\odot}). \quad (5)$$

Отсюда следует необходимость определения искомой зависимости для каждого типа балджей в отдельности.

Мы также обнаружили связь $M_{\text{чд}}$ со светимостью балджа $L_{\text{балдж}}$. Для нахождения эмпирической зависимости можно взять логарифмическую связь в общем виде:

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = \alpha + \beta * \log(L_{\text{балдж}}/L_{\odot}). \quad (6)$$

Тогда значения коэффициентов для двух случаев равны:

– для случая всех типов балджей вместе: $cc = 0.72$,

$$\alpha = -5.09 \pm 1.69; \quad \beta = 1.22 \pm 0.16, \quad (7)$$

– для случая классических балджей: $cc = 0.83$,

$$\alpha = 0.95 \pm 0.85; \quad \beta = 0.64 \pm 0.08. \quad (8)$$

Как видно, имеется различие в знаке у свободного члена, причем в случае рассмотрения вместе всех типов балджей ошибка определения значения α довольно высока, что опять-таки говорит о необходимости анализа каждого типа балджей в отдельности.

Наконец, приведем результаты зависимости $M_{\text{чд}}$ с дисперсией скоростей звезд $\sigma_{\text{балдж}}$ в балджах:

- для всех типов балджей ($cc=0.652$)

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = 5.55 \pm 0.318 + (0.014 \pm 0.002) \cdot \log(\sigma/\text{km} \cdot \text{s}^{-1}), \quad (9)$$

- для классических балджей ($cc=0.728$)

$$\log(M_{\text{чд}}/M_{\odot}) = 5.96 \pm 0.358 + (0.013 \pm 0.002) \cdot \log(\sigma/\text{km} \cdot \text{s}^{-1}). \quad (10)$$

Таким образом, нами найдены тесные корреляции основных физических характеристик подсистем родительской галактики от массы центральной СЧД. Полученные результаты указывают на то, что СЧД регулируют значения этих основных характеристик и являются первичными по сравнению с рассмотренными подсистемами, но никак не наоборот.

В третьей главе «**Радиально пульсирующие дискообразные модели и основные их характеристики**» построены новые фазовые модели радиально нестационарного диска с анизотропной диаграммой скоростей.

Сначала построена нами нестационарная модель диска с анизотропной диаграммой скоростей в следующем виде:

$$\Psi_A = \frac{3\sigma_0}{2\pi} \left[\left(\left(\frac{r}{\Pi} + v_{\perp}\Pi \right)^2 + \Pi^2 (v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \left(\left(\frac{r}{\Pi} - v_{\perp}\Pi \right)^2 + \Pi^2 (v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \frac{2}{3} \right] \chi(D). \quad (11)$$

Данная модель пульсирует в своей плоскости по закону $R = \Pi(t)R_0$, функция $\Pi(t)$

$$\Pi(t) = \frac{(1 + \lambda \cos \psi)}{1 - \lambda^2}, \quad t = \frac{\psi + \lambda \sin \psi}{(1 - \lambda^2)^{3/2}}.$$

Вывод (11) был первым этапом построения анизотропной пульсирующей модели, а вторым этапом является создание составной модели путем суперпозиции:

$$\Psi_{\text{состав}} = (1 - \mu) \left[\frac{\sigma_0}{2\pi\Pi\sqrt{1-\Omega^2}} \left[\frac{1-\Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_{\perp} - v_b)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \chi(R-r) \right] + \mu \left[\frac{3\sigma_0}{2\pi} \left[\left(\left(\frac{r}{\Pi} + v_{\perp}\Pi \right)^2 + \Pi^2 (v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \left(\left(\frac{r}{\Pi} - v_{\perp}\Pi \right)^2 + \Pi^2 (v_r - v_a)^2 \right)^{-1/2} - \frac{2}{3} \right] \chi(D) \right], \quad (12)$$

где μ - параметр суперпозиции, который принимает значения из интервала $[0;1]$. Следовательно, при $\mu = 0$ мы имеем чисто изотропный случай, а при $\mu = 1$ - анизотропный Ψ_A , т.е. использование принципа суперпозиции дает возможность охватить все модели между двумя состояниями.

Далее найдены физические характеристики данной анизотропной модели. Например, компоненты кинетической энергии пульсирующего диска вычисляются по формулам:

$$T_r^{\text{reg}} = \frac{MR_0^2 \lambda^2 \sin^2 \psi}{5\Pi^2 (1 - \lambda^2)}, \quad T_{\perp}^{\text{reg}} = \frac{3MR_0^2}{20\Pi^2}, \quad (13)$$

а дисперсии скоростей в радиальном и трансверсальном направлениях:

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{\sigma} \iint (v_r - \bar{v}_r)^2 \Psi_a d\vec{v} = \frac{1}{12\Pi^2} \left(R_0^2 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right), \quad (14)$$

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{\sigma} \iint (v_{\perp} - \bar{v}_{\perp})^2 \Psi_a d\vec{v} = \frac{R^2}{12\Pi^4}. \quad (15)$$

Найденные физические параметры полностью характеризуют нелинейную модель нестационарного диска.

В четвертой главе «Формирование БСГ на фоне нелинейно нестационарных моделей дискообразных галактик» рассмотрены вопросы нелинейной теории происхождения балджей. На основе нашего сводного каталога выполнен отбор типов БСГ и поиск подходящих мод. Исследованы проблемы происхождения различных структур балджа в галактиках путем

анализа гравитационных неустойчивостей соответствующих мод возмущений на фоне нелинейно нестационарных моделей.

Для того, чтобы получить четкую внешнюю форму балджа в результате неустойчивости вертикальных колебаний диска, воспользовались теорией малых изгибных колебаний тонкого диска.

В первую очередь нами изучены вопросы происхождения классических балджей. Построена нелинейно пульсирующая фазовая модель самогравитирующего диска и на ее фоне изучено поведение изгибного возмущения, неустойчивость которого приводит к формированию классического балджа. Для этого нами рассмотрена мода колебаний $(0; 3)$, т.е. азимутальное волновое число $m=0$, что означает симметрию возмущения относительно оси вращения диска, а значение основной гармоники $N=3$ связано с формой купола. В этом случае для модели (12) получено нестационарное дисперсионное уравнение (НДУ):

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{dB}{d\psi} + \left[\frac{5}{2} - \frac{10(1-\mu)(1-\Omega^2)(1-\lambda^2)}{3(1+\lambda \cos \psi)} - \frac{5\mu(1-\lambda^2)}{6(1+\lambda \cos \psi)} \right] B(\psi) = 0. \quad (16)$$

Как видно, НДУ (16) зависит от трех параметров: λ, μ и Ω . Очевидно здесь невозможно чисто аналитическое его исследование и поэтому выполнен численное интегрирование (16) для конкретных значений физических параметров. Для построения критической зависимости $\lambda = 1 - (2T/|U|)_0$ от параметра вращения Ω при заданных значениях μ применен известный метод устойчивости параметрического резонанса. Мы рассмотрели случаи, когда параметр суперпозиции μ равен 0; 0,25; 0,5 и 0,75. Результаты расчета приведены на рис.1.

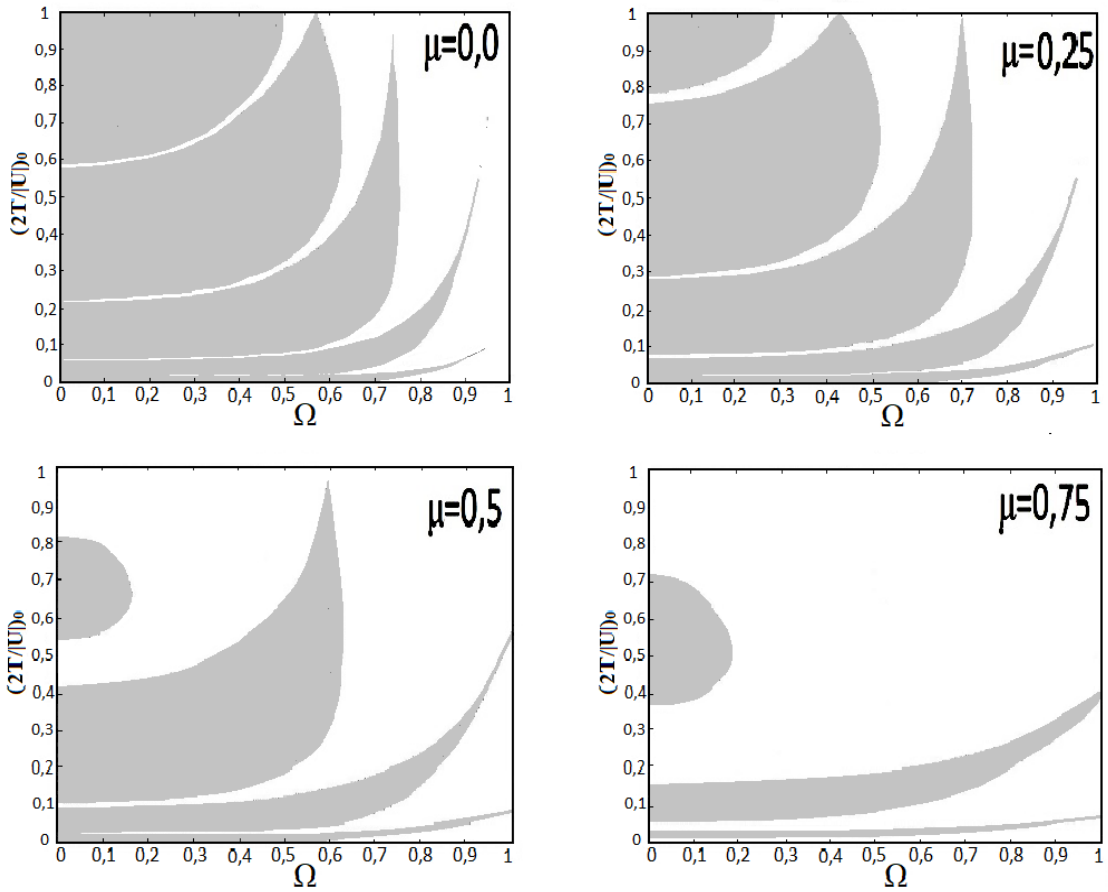


Рис.2. Критическая зависимость вириального отношения от параметра вращения для моды колебаний $N=3$, $t=0$ при различных значениях μ . Темные участки соответствуют неустойчивым областям.

Из рис.2 видно, что при $\mu=0$ мы имеем только нестационарный диск с изотропной диаграммой скоростей и более половины всей области является неустойчивой, причем по мере приближения к состоянию чисто радиальных движений с $(2T/|U|)_0 \rightarrow 0$ имеется счетное множество мелких «лепестков» неустойчивости. Площадь «лепестков» постепенно нарастает при $(2T/|U|)_0 \rightarrow 1$. С ростом значения μ область неустойчивости в целом уменьшается, т.е. включение в составную модель анизотропной части приводит к уменьшению степени неустойчивости составной модели (12).

Для нестационарной составной модели поведение возмущения (0;5) в соответствии с (12) описывается при помощи следующего НДУ:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \cdot \frac{dB}{d\psi} + \left\{ \frac{161}{32} - \frac{7\mu(1-\lambda^2)}{3(1+\lambda \cos \psi)} - \frac{28(1-\mu)(1-\lambda^2)(1-\Omega^2)}{3(1+\lambda \cos \psi)} \right\} B(\psi) = 0, \quad (17)$$

а для (0;7) НДУ имеет вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \cdot \frac{dB}{d\psi} + \left\{ \frac{969}{128} - \frac{9\mu(1-\lambda^2)}{2(1+\lambda \cos \psi)} - \frac{18(1-\mu)(1-\lambda^2)(1-\Omega^2)}{(1+\lambda \cos \psi)} \right\} B(\psi) = 0. \quad (18)$$

Эти НДУ решались численно и найдены инкременты неустойчивостей указанных возмущений в зависимости от значений трех свободных параметров. С ростом значения μ составная нестационарная модель диска становится более устойчивой. Кроме того, количество «лепестков» явно уменьшается.

Далее рассмотрены дискообразные моды колебаний. Для этого рассмотрены моды $m=0$; $N=15$, и $m=0$; $N=17$. Найдены соответствующие НДУ дискообразных мод колебаний ($m=0$; $N=15$) и ($m=0$; $N=17$) для составной модели (12).

Очевидно, полученные НДУ не поддаются аналитическому рассмотрению и поэтому они также исследованы нами методом устойчивости периодических решений численно.

Кроме того в этой главе рассмотрены вопросы происхождения псевдобалдзов. Многие авторы считают, что арахисовые, X-образные и дискообразные – это псевдобалдзы. Поэтому мы изучали подробно моды колебаний для двух различных X-образных и арахисоподобных балджей, т.е. моды $m=1$, $N=2$ и $m=2$, $N=5$.

НДУ моды ($m=1$; $N=2$) для составной модели (12) приводит нас к следующему уравнению:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 2i\Omega \sqrt{1 - \lambda^2} (1 - \mu) \right) \frac{dB}{d\psi} + \left\{ 1 - \frac{\mu(1 - \lambda^2)}{1 + \lambda \cos \psi} + \frac{(1 - \mu)(1 - \lambda^2)}{1 + \lambda \cos \psi} \left[\frac{2i\Omega \lambda \sin \Psi}{\sqrt{1 - \lambda^2}} - 1 \right] \right\} B(\psi) = 0 \quad (19)$$

НДУ моды колебаний ($m=2$; $N=5$) для модели (12) имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 B}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 4i\Omega \sqrt{1 - \lambda^2} (1 - \mu) \right) \frac{dB}{d\psi} + \left\{ \frac{73}{16} - \frac{5\mu(1 - \lambda^2)}{1 + \lambda \cos \psi} + \frac{(1 - \mu)(1 - \lambda^2)}{1 + \lambda \cos \psi} \left[\frac{4i\Omega \lambda \sin \Psi}{\sqrt{1 - \lambda^2}} + 4\Omega^2 - 8 \right] \right\} B(\psi) = 0 \quad (20)$$

Все эти НДУ решались численно с целью определения инкрементов их неустойчивости и критических состояний.

Нами выполнено сравнение инкрементов неустойчивостей этих мод возмущений. Расчеты инкрементов неустойчивостей для различных значений параметра вращения показывают, что с ростом темпа вращения значения инкремента неустойчивости постепенно уменьшаются.

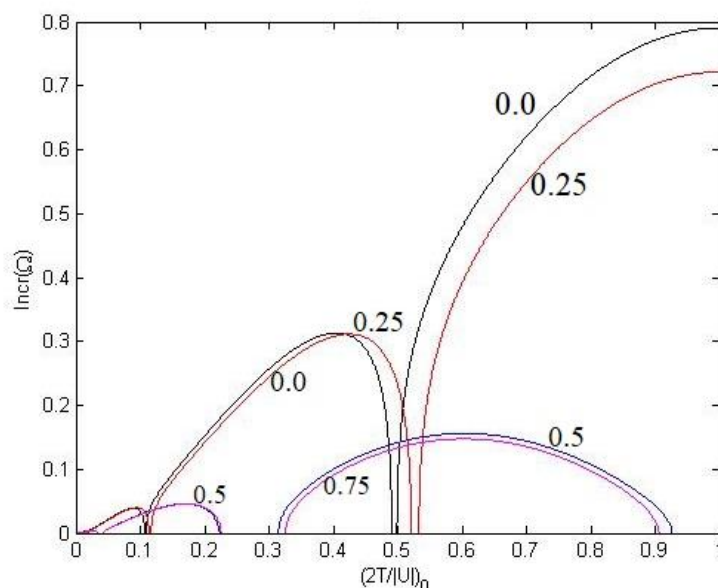


Рис.3. Инкременты неустойчивости куполообразной моды для модели $\mu = 0.5$ при различных значениях Ω .

При отсутствии радиальных колебаний, т.е. когда $(2T/|U|)_0 = 1$ модель полностью неустойчива при $\Omega < 0.3536$. После этого инкремент неустойчивости постепенно уменьшается (рис.3.) и соответствующий область неустойчивости сужается из-за наличия канала устойчивости. Если мы перейдем через каналы устойчивости, попадаем каждый раз в зону апериодической неустойчивости. Расчеты показывают, что неустойчивость начинается при $(2T/|U|)_0 = 0.389$. В этом случае параметр вращения является дестабилизирующим до значения $\Omega < 0.922$, а затем он играет стабилизирующую роль. Отсюда мы можем сказать, что эволюция системы сильно зависит от степени нестационарности и вращения. При отсутствии вращения нами найдена узкая область устойчивости (0.127; 0.084). Этот интервал быстро сужается с ростом параметра вращения и исчезает при значении $\Omega > 0.04$. Область устойчивости разделяет зону колебательно-резонансной неустойчивости от зоны неустойчивости радиальных движений. Эти неустойчивости при малых значениях параметра вращения сливаются. Из зависимости инкремента неустойчивости от параметра вращения следует, что с ростом значения вириального отношения также растет соответствующий инкремент.

Сравнения поведений инкрементов неустойчивости эллипсоидальной и куполообразной моды для двух случаев по Ω показывает, что при значениях параметра вращения от 0 до 0.5 лидирует куполообразная мода, а после этого лидирующей становится эллипсоидальная мода. По мере роста степени вращения неустойчивость куполообразной моды постепенно падает, а инкремент эллипсоидальной растет.

В приложении приведены сводный каталог галактик БСГ и список балджей спиральных галактик с известными значениями масс СЧД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме диссертации “Физические свойства балджей спиральных галактик и теоретические аспекты их происхождения”, получены следующие выводы:

1. Составлен сводный каталог из 1101 БСГ путем отбора таких галактик из литературных источников, международных баз данных и интернетовских сайтов других авторов. Отметим, что составленный нами список балджей содержит известные значения характеристик спиральных галактик и их балджей, взятые больше всего из базы данных LEDA и NED.

2. Путем статистического анализа данных выявлено, что балджи галактик чаще всего наблюдаются у спиральных галактик морфологического класса Sc. Количество спиральных галактик с известными значениями их характеристик увеличивается при переходе от морфологического типа $Sa \rightarrow Sb \rightarrow Sc$ ($SBa \rightarrow SBb \rightarrow SBc$). Найдено следующее соотношение количества типов балджей в процентах: Купол: Диск: Арахис: Ящик: Псевдо = 32% : 16% : 9% : 3% : 40% .

3. Впервые создана специальная выборка только БСГ, имеющие СЧД. Она содержит 65 объектов с известными массами СЧД. Были найдены эмпирические формулы между отдельными физическими характеристиками БСГ, а также их зависимости от массы центральной черной дыры.

4. Найдены тесные корреляции основных физических характеристик подсистем родительской галактики от массы центральной СЧД. Полученные результаты указывают на то, что СЧД регулируют значения этих основных характеристик и являются, вероятно, первичными по сравнению с рассмотренными подсистемами.

5. С учетом современных наблюдательных данных разработана нелинейная нестационарная теория формирования БСГ. Построена новая анизотропная нелинейно-неравновесная модель самогравитирующего диска и получены общие выражения для данной новой нестационарной модели диска.

6. Построена составная нелинейно-неравновесная модель самогравитирующего диска с анизотропной диаграммой скоростей. Выведены НДУ изгибных мод колебаний для построенной модели в общем виде при произвольных значениях индексов возмущения N и m .

7. Изучена неустойчивость куполообразных мод колебаний. Построены критические диаграммы зависимости между значением вириального отношения и степенью вращения диска для заданного значения параметра суперпозиции. Показано, что с ростом значения параметра суперпозиции составная модель становится всё более устойчивой. Вращение диска в среднем играет стабилизирующую роль для купольной моды возмущения на фоне построенной модели.

**SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDING THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 AT THE
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

BOTIROV FARKHOD UKTAMOVICH

**PHYSICAL PROPERTIES OF SPIRAL GALAXIES BULGES AND
THEORETICAL ASPECTS OF THEIR ORIGIN**

01.03.02 - Space physics and astrophysics

**Abstract of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and
mathematical sciences**

Tashkent – 2024

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under №B2023.4.PhD/FM544.

Dissertation has been prepared at National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (www.ik-fizmat.nuu.uz) and the “Ziyonet” informational and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Nuritdinov Salakhutdin Nasritdinovich**
Doctor of Physics and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents: **Atamurotov Farrukh Shukhratovich**
Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Tadjibaev Ikram Uralbaevich
Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Leading organisation: **Eurasian National university named after L.N. Gumilyov**

Defense will take place “___” _____ 2024 at ___ at the meeting of Scientific Council number PhD.03/05.05.2023.FM.01.18 at National University of Uzbekistan (Address: University str. 4, Almazar area, Tashkent, 100174, Uzbekistan, Phon.: (+99871) 227-12-24; fax.: (+99871) 246-53-21, 246-02-24; e-mail: nauka@nuu.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource centre at National University of Uzbekistan (is registered №_____). (Address: University str. 4, Almazar area, Tashkent, 100174, Uzbekistan Phon.: (+99871) 246-02-24).

Abstract of dissertation sent out on “___” _____ 2024 year.
(Registry record № _____ on “___” _____ 2024 year).

K.T. Mirtadjieva

Vice-chairman of the scientific council on award of scientific degrees, doctor of physics and mathematical sciences

F.T. Shamshiev

Scientific secretary of the scientific council on award of scientific degrees, candidate of physics and mathematical sciences

T.A. Axunov

Vice-chairman of the scientific Seminar of the Scientific Council on award of scientific degrees, Doctor of Physics and Mathematical Sciences

INTRODUCTION

(abstract PhD dissertation)

The aim of the research is to find empirical formulas between the physical parameters of the BSG and to develop the classification criteria and the theory of the formation of spiral galaxies.

The objects of study are BSGs, their theoretical models, and corresponding perturbation modes that have not been investigated theoretically to explain the observed structural formations in disk galaxies.

The scientific novelty of the research is as follows:

a consolidated catalog of 1101 BSGs was created. Based on observational data and methods proposed by various authors, a comparative analysis of this catalog was performed, a classification of the observed bulges was developed from the point of view of their theory of formation;

for the first time, empirical formulas have been found for the relationship between the mass of the black hole at the center of the BSG and its main physical characteristics;

for the first time, a bending theory of the formation of bulges of spiral galaxies as a result of instability of vertical oscillations of a non-stationary model of a self-gravitating disk was constructed;

using the method of averaging over the rotation parameter of a nonstationary isotropic model, a new pulsating model has been developed that can provide an analytical solution for disk-shaped self-gravitating systems with an anisotropic velocity diagram.

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

The compiled SGB catalog was used in the framework of the project F2-FA-F029 - "Physics of gravitational lenses, compact astrophysical objects and non-stationary disk systems" to determine the properties of the halo of disk-shaped galaxies (reference №02-09/266 of the Ulugbek Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan dated November 24, 2023). As a result, it was possible to determine the empirical relationship between halo and bulge masses;

The theory of bending bulge formation and the found empirical formula between the mass of the bulge and the mass of the central black hole were used in the project F2-FA-F029 - "Physics of gravitational lenses, compact astrophysical objects and non-stationary disk systems" to study the properties of the halos of spiral galaxies (reference №02-09/266 of the Ulugbek Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan dated November 24, 2023). The application of these scientific results has made it possible to study the stages of evolution of disk-shaped galaxies with haloes;

The model created to study the theory of galaxy formation was used to analyze the problem of the formation of ring galaxies, which was carried out within the framework of the project on the topic F2-FA-F029 - "Physics of gravitational lenses, compact astrophysical objects and non-stationary disk systems" (reference №02-

09/266 of the Ulugbek Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan dated November 24, 2023). As a result, modes of perturbation were found, the instability of which led to the formation of ring galaxies.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and an appendix. The main volume of the dissertation is 115 pages excluding the appendix.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. **Botirov F.U.**, Nuritdinov S.N., Ashurov A.E. Dependences of Characteristics of Bulges on the Mass of the Central Black Hole and Theoretical Aspects of Their Origin // *Astron. Reports.*, 2023, 100, №5, pp.448-457, ISSN 1063-7729 (**№40. Scopus Cite Score IF=1.145**)
2. **Botirov F.U.**, Nuritdinov S.N. Nonlinear cosmogony of the spiral galaxy bulges // *Open Astronomy* 2021, 30: pp. 144-148 (**№40. Scopus Cite Score IF=0.935**)
3. Nuritdinov S.N., Muminov A.A., **Botirov F.U.** On the method for the analysis of compulsive phase mixing and its application in cosmogony // *AApTr*, 2021, Vol. 32, Issue 2, pp. 81–86, ISSN 1055-6796 (**№40. Scopus Cite Score IF=0.125**)
4. **Botirov F.U.**, Nuritdinov S.N. Problems of formation and evolution of балджс of spiral galaxies // *Bull.Nat.Univer. of Uzbekistan*, 2022, №5(1), pp.34-43 (**01.00.00; №40**)
5. **Ботиров Ф.У.** Можно ли идентифицировать наблюдаемые виды балджей спиральных галактик модами возмущений? // *Узбекский Физический журнал*, 2023. № 3 (25), pp.26-42 (**01.00.00; №5**)
6. Nuritdinov S.N., Muminov A.A., **Botirov F.U.** Phase mixing at the earlier evolution stages of self – gravitation systems. I. Disk – like systems. // *Uz. Phys. J.*, 2019. – № 2 (21), pp.65-69 (**01.00.00; №5**)
7. **Ботиров Ф.У.** Изгибные возмущения на фоне одной нелинейно составной модели самогравитирующего диска // *Вестник Мол. Уч. Акад. Наук Узбекистан. – Ташкент*, 2023. – № 4(1), стр.38-42 (**01.00.00; №7**)
8. Нуритдинов С.Н., Муминов А.А., **Ботиров Ф.У.** Фазовое перемешивание в нелинейно нестационарных динамических системах и коллапсирующих галактиках // *Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент*, 2019. – № 2, стр. 38-41. (**01.00.00; №7**)
9. **Ботиров Ф.У.** Новая анизотропная модель пульсирующего самогравитирующего диска // *Физико-математические науки*, № 5/2020.г. стр. 9-14, ISSN 2181-0656, doi: 10.26739/2181-0656 (**01.00.00; №35**)
10. **Ботиров Ф.У.** К теории происхождения балджа спиральных галактик. I. Купольная мода возмущения // *Физико-математические науки*, № 1/2022.г. стр. 4-7, ISSN 2181-0656, doi: 10.26739/2181-0656 (**01.00.00; №35**)
11. **Ботиров Ф.У.** Центральные балджи спиральных галактик: обзор // *НамГУ*, № 3 / 2022 г. стр. 43-49, ISSN 2181-0427 (**01.00.00; №14**)
12. Нуритдинов С.Н., **Ботиров Ф.У.** Сверхмассивные черные дыры в центрах балджей спиральных галактик: что первично? // *Доклады Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент*, 2023. № 5, стр.20-24 (**01.00.00; №7**)

II bo'lim (II часть; part II)

13. Botirov F.U. Development of a classification of spiral galaxy bulges based on their observed characteristics // International scientific conference of young scientists, InnoWeek - 2023, pp.185-186
14. Ботиров Ф.У. Новая классификация балджей спиральных галактик // РИАК-XVI, Ташкент – 2023, стр.45-47
15. Ботиров Ф.У. О модах возмущений, приводящие к формированию балджей // Улугбековские чтения, 2023, том 5, стр. 45-48
16. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. Зависимости характеристик балджей от массы центральной черной дыры и теоретические аспекты их происхождения // "Современная звездная астрономия" КГО ГАИШ МГУ им., М.В.Ломоносова, 2022.
17. Нуритдинов С.Н. Ботиров Ф.У. Моделирование пульсирующих и коллапсирующих самогравитирующих систем// of the Uzbekistan-Malaysia international conference, 2022, стр.123
18. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. К проблеме классификации балджей спиральных галактик // Респуб. конф., посвященная акад. П.К. Хабибуллаеву. 2022 стр.130-131
19. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. К теории происхождения балджа спиральных галактик // РИАК-XV. 2022, стр. 6 - 9
20. Алламова И.М., Ботиров Ф.У. Спирал ва линзасимон галактика балдж массаларининг бошқа катталиклар билан боғлиқлиги // РИАК-XV. 2022, стр. 23 - 26
21. Botirov F.U., Nuritdinov S.N. Nonlinear cosmogony of the spiral galaxy балджс // ВАК-21, Moscow, 2021, pp.336-337
22. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. О механизмах происхождения балджа спиральных галактик // Респуб. конф., посвященная акад. П.К. Хабибуллаеву., 2021, стр.120-121
23. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. Нелинейная космогония балджа спиральных галактик // ГАИШ МГУ им., М.В.Ломоносова, ВАК-2021., стр.393 (<http://www.vak2021.ru>)
24. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. Structure and types of the балдж of spiral galaxies // РИАК-XIV. 2021, стр.150-153
25. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. Об одном механизме формирования балджа спиральных галактик // Магнетизм и активность Солнца, звезд и галактик. Москва, 2020.
26. Ботиров Ф.У., Нуритдинов С.Н. Создание каталога балджей спиральных галактик // РИАК-XIII., 2020, стр.148-150.
27. Рузибоев Ж.К., Ботиров Ф.У. Новый сводный каталог изгибных галактик // Улугбековские чтения, 2019, том 4, стр. 155-172

Avtoreferat “Fan va innovatsiyalar” xalqaro ilmiy jurnali (International scientific journal “Science and Innovation”) tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, ingliz va rus tillaridagi matnlari o‘zaro muvofiqlashtirildi (14.12.2023 yil №29)

Bosishga ruxsat etildi _____2023 yil
Buyurtma № _____. Adadi 100 nusxa.
Bichimi 60x84 ¹/₁₆, Bosma tabog‘i 3,9.
«Times New Roman» garniturasida.
“Zebo prints” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent sh. Yashnabod t., 22- harbiy shaharcha.

