

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

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

MANNAPOVA KAMOLA ALIMDJANOVNA

**O‘ZGRAVITATSIYALANUVCHI DISKNING TOJINI HISOBGA OLGAN
HOLDA NOCHIZIQLI NORADIAL TEBRANISHLARI**

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**

Mannapova Kamola Alimdjanovna

O‘zgravitatsiyalanuvchi diskning tojini hisobga olgan holda nochiziqli
noradial tebranishlari 3

Маннапова Камола Алимджановна

Нерадиальные нелинейные колебания самогравитирующего диска с
учетом гало 19

Mannapova Kamola Alimdjanovna

Non-radial nonlinear oscillations of a self-gravitating disk taken into account
for halo 37

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 41

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

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

MANNAPOVA KAMOLA ALIMDJANOVNA

**O‘ZGRAVITATSIYALANUVCHI DISKNING TOJINI HISOBGA OLGAN
HOLDA NOCHIZIQLI NORADIAL TEBRANISHLARI**

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/FM969 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:

Mirtadjiyeva Karamat Taxirovna,
fizika-matematika fanlari doktori

Rasmiy opponentlar:

Tadjibaev Ikram Uralbaevich
fizika-matematika fanlari doktori

Burxonov Otabek Anvarjonovich
fizika-matematika fanlari nomzodi

Yetakchi tashkilot:

**"TIQXMMI" Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi
Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti**

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 reyestr bayonnomasi).

S.N. Nuritdinov

Ilmiy daraja beruvchi Ilmiy
kengash raisi,
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. Jahonda galaktikalar va ularning quyi tizimlarining shakllanishi hamda evolyutsiyasiga oid qator yangi kuzatuv ma'lumotlari qo'lga kiritilib, ular ichida Djeyms Uebb kosmik teleskopi¹ bajargan amaliy kuzatuvlar bunga yaqqol misol bo'la oladi. Natijada spiral galaktikalarining tekislik va sferik tashkil etuvchiliklari uchun yetarlicha ilmiy ma'lumotlar to'plangan bo'lsada bu yo'nalishda qator amaliy masalalar haligacha o'z yechimini topmagan. Masalan, disksimon tashkil etuvchi tizimning noradial tebranishlariga galaktika galosining gravitatsion ta'siri qanday ekani konkret modellarda haligacha o'rganilmagan muhim muammo hisoblanadi. Undan tashqari, o'ta muhim amaliy muammolardan yana biri spiral galaktikalar galolarining asosiy fizik ko'rsatkichlari bo'yicha haligacha sinflashtirish masalasi bu yo'nalish bo'yicha amaliy ahamiyatga ega bo'lib, uning dolzarbligidan dalolat beradi. Ushbu yo'nalishda ko'rsatilgan bu amaliy masalalarni yechish uchun dastlab galo bilan o'ralgan va noradial tebranuvchi aniq modelni yaratish, so'ngra nostatsionar diskning katta va kichik yarim o'qlarining vaqt davomida o'zgarish qonuniyatini sonli tajriba yordamida topish zarurdir. Bunda disk quyi tizimi galodan keyin shakllanganligi sababli, uning tebranishi va evolyutsiyasi jarayonlarini galo fonida o'rganish talab etiladi.

Jahonda bugungi kunda, galaktikalarining kuzatuv ma'lumotlari bazasi yetarli darajada kengaytirilib, ularning asosiy fizik xususiyatlarini va galoning boshqa quyi tizimlarga ta'sirini tadqiqot qilish vaqti keldi, ikkinchidan esa, galaktikalar galosi hamda diskining fizik xususiyatlari zamonaviy teleskoplar yordamida olingan ma'lumotlarini tahlil qilinishini talab etmoqda. Ushbu yo'nalishda, boshqa masalalar qatorida, galoni hisobga olgan holda diskning evolyutsiyasi davomida unig tebranish jarayonlarini o'rganish va spiral galaktikalarda halqa shaklidagi tuzilmalarning shakllanishiga olib keladigan beqarorlik g'alayonlanish modalarini tahlil qilishga qaratilgan tadqiqotlarga katta ahamiyat berilmoqda. Shu bilan birga, galaktikalar galosi va disklarining kuzatuv ma'lumotlarini o'rganish, ularni tahlil qilish va galoni ularning massalari bo'yicha tasniflash ham dolzarb vazifa hisoblanmoqda.

Respublikamizda fundamental tadqiqotlarga, xususan, spiral galaktikalarda sodir bo'ladigan fizik jarayonlar, ularda mavjud bo'lgan galo va disk tuzilmalari tadqiqoti bo'yicha kuzatuv aspektlarini o'rganishga hamda ularning quyi tizimlarining parametrlarini tahlil qilishga alohida e'tibor qaratilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasiga² bog'liq fundamental tadqiqotlar yo'nalishi mamlakatimiz ilm-fanini rivojlantirishda katta ahamiyatga ega. Xususan, kosmik tadqiqotlar va texnologiyalarni rivojlantirish sohasida xalqaro standartlar darajasida ilmiy tadqiqotlar olib borish fundamental tadqiqotlarning asosiy vazifasi hisoblanadi. Bu vazifalarni amalga oshirishda galoni

¹ <https://webb.nasa.gov>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 29-yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi farmoni.

hisobga olgan holda galaktikalar diskining evolyutsiyasini o'rganish uchun modelini yaratish hamda spiral galaktikalarning halqasimon tuzilmalarining shakllanish nazariyasini ishlab chiqish muhim masala hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktyabrdagi "Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 12.02.2018-yildagi F-5209-sonli "O'zbekiston Respublikasida kosmik tadqiqotlar va texnologiyalarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi farmoyishi va O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 29.10.2019-yildagi O'RQ-576-sonli "Ilm-fan va ilmiy faoliyat to'g'risida"gi qonuni ijrosini ta'minlashda 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. Bugungi kunga kelib, disksimon galaktikalar tuzilishini kuzatish ko'pgina mamlakatlarda yaxshi rivojlangan. Hozirda dunyoning ko'plab yetakchi olimlari disksimon galaktikalar evolyutsiyasi nazariyasi, ularning xususiyatlarini o'rganish, fotometrik tadqiqotlar va galaktikalar evolyutsiyasini modellashtirish bilan shug'ullanadilar. Masalan, amerikalik olimlar (Huchtmeier V.K., Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Li Jiang-Tao, Li Chjiyuan, Mouhcine M., Lilley E.J., Aumer M., Binney J.), rus (A.V.Zasov, A.V.Xoperskov) va boshqalar. Shuningdek, Fisher J.D., Faltenbacher A.³, Clewley L., Warren S.J., Hewett P.C., Norris John E., Peterson R.C., Evans N.W.⁴ kabi olimlarning fundamental va amaliy tadqiqotlari bu sohaga katta hissa qo'shgan. Shuai Liu⁵ va boshqalarning galo metalligi hamda galaktikaning qizil siljishi, shuningdek, bir qator boshqa parametrlar o'rtasidagi empirik bog'liqlikni olganligi e'tiborga molik. Biroq spiral galaktikalarning galo va disklarining kuzatuv ma'lumotlarini alohida yig'ish hamda ularning tahlili o'tkazilmagan, shuningdek, spiral galaktikalar quyi tizimlarining fizik parametrlari o'rtasida empirik bog'liqliklar aniqlanmagan, bu esa keyinchalik ularning shakllanish muammolarini o'rganish uchun muhim ma'lumot hisoblanadi.

O'zbekiston Milliy universitetida ilk bor galaktikalarning turli tizim osti tuzilmalari va o'zgravitatsiyalanuvchi tizimlarining nochiziqli dinamikasi bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan hamda galaktikalar evolyutsiyasining nochiziqli nomuvozanatli bosqichlari uchun aniq fazaviy modellarini yaratish muammolari tahlili olib borilgan. Shuningdek, S.N.Nuritdinov, I.I.Kirbijekova va K.T.Mirtadjiyevalar tomonidan

³ Fisher J.D., Faltenbacher A. "Cosmic web type dependence of halo clustering" // MNRAS, 2012. Vol. 473. Issue 3. – P. 3941-3948.

⁴ Clewley L., Warren S.J., Hewett P.C., Norris John E., Peterson R.C., Evans N.W. "Distant field blue horizontal branch stars and the mass of the Galaxy – I. Classification of halo A-type stars" // MNRAS, 2002. Vol. 337. Issue 1. – P. 87-97.

⁵ Shuai Liu, Cuihua Du, Heidi Jo Newberg, Yuqin Chen, Zhenyu Wu, Jun Ma, Xu Zhou, Zihuang Cao, Yonghui Hou, Yuefei Wangand Yong Zhang. "Metallicity and kinematics of the galactic halo from the lamost sample stars" // 2018, ApJ. 862. 163 L.

nochiziqli hamda noradial tebranuvchi nostatsionar disk modelini yaratish muammolari va uning barqarorligi masalalari o'rganilgan. Ammo bu ishlarda galoni hisobga olgan holda nochiziqli noradial tebranuvchi disk uchun tenglama hosil qilinmagan va uni sonli tahlil qilish usuli ishlab chiqilmagan.

Galaktikalarning turli tizim osti tizimlari va o'ziga xos o'zgravitatsiyalanuvchi tizimlarda nochiziqli radial tebranishlarini o'rganish hamda galaktikalar evolyutsiyasining nochiziqli nomuvozanat modellarida gravitatsion beqarorlik muammosini tahlil qilish birinchi marta O'zbekiston Milliy universitetida S.N.Nuritdinov tomonidan boshlangan. Bu yerda birinchi marta, Eynshteyn va Kammning taniqli statsionar konfiguratsiyalari asosida sferik o'zgravitatsiyalanuvchi tizimlari uchun nochiziqli pulsatsiyalanuvchi modellar ishlab chiqildi. Bundan tashqari, nomuvozanatli disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi tizimlar uchun modellar yaratilgan va ular doirasida g'alayonlanishlarning asosiy tuzilmaviy modalarining beqarorligi muammolari o'rganilgan (S.N.Nuritdinov, K.T.Mirtadjiyeva). Biroq halqa shaklidagi tebranish modalariga nisbatan nochiziqli radial tebranuvchi sferik va disk modellari beqarorligining qiyosiy tahlil qilish amalga oshirilmagan.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim va ilmiy-tadqiqot muassasasi ilmiy tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Milliy universiteti va O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining 51-06-sonli "Anizotrop disksimon tizimlarning nochiziqli modellarini yaratish va gravitatsion beqarorliklarini tahlil qilish", № F.7-12 "Halqasimon galaktikalar kuzatuv ma'lumotlatini tahlil qilish va ularning kelib chiqish nazariyasini ishlab chiqish" va VA-FA-F-2-007 "Galaktikalar va ularning to'dalarining fizik, dinamik va linzalash xususiyatlarini ko'p to'liqini tadqiqoti" mavzusidagi ilmiy tadqiqot loyihalari doirasida amalga oshirildi.

Tadqiqotning maqsadi "Disksimon galaktikalarning galosining (DGG) katalogi"ni tuzish va uning statistik tahlili, shuningdek, o'zgravitatsiyalanuvchi diskning galoni hisobga olgan holda noradial nochiziqli tebranishlari nazariyasini yaratishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

DGG katalogini tuzish maqsadida kuzatuv ma'lumotlarini to'plash va 101 ta obyektlardan iborat birinchi bora yaratilgan DGG katalogini statistik tahlil qilish;

galo va diskning asosiy fizik parametrlari orasidagi empirik munosabatlarni olish;

kuzatish ma'lumotlariga asoslanib DGGni tasniflash;

galoni hisobga olgan holda o'zgravitatsiyalanuvchi disk evolyutsiyasi uchun matritsali differensial tenglamalar sistemasini hosil qilish va uni sonli tahlil qilish usulini ishlab chiqish;

disk va galo parametrlarining turli qiymatlari uchun tenglamalar sistemasini sonli hisoblash natijalarini hosil qilish;

disk va galo parametrlari o'rtasidagi kritik bog'liqliklarning hosil qilinishini asoslash;

g'alayonlanishning halqasimon tuzilmaviy modalarining beqarorligiga nisbatan nochiziqli radial tebranuvchi sferik va disk modellarining qiyosiy tahlilini o'tkazish.

Tadqiqot obyekti – galaktikalarining galo va disklari, ularning nazariy modellari va disksimon galaktikalarda kuzatilgan halqasimon tuzilmalar.

Tadqiqotning predmeti disksimon galaktikalarda galoni hisobga olgan holda disk evolyutsiyasi jarayonlari va mexanizmlari hamda radial nochiziqli tebranuvchi modellar fonida gravitatsion beqarorlik hodisalari.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida kuzatuv ma'lumotlar orasidagi statistik bog'lanishlarni topishda eng kichik kvadratlar usuli, shuningdek, differensial tenglamalar sistemalarini sonli integrallash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

101 ta spiral galaktikaning galo va diskining fizik parametrlarini o'z ichiga olgan katalog ilk bor, tuzildi va bu parametrlari o'rtasidagi empirik formulalar topildi, shuningdek, galo tasnifi ishlab chiqilgan;

ilk bor, galaktika galosini hisobga olgan holda uning disk tizim osti evolyutsiyasi uchun tenglama hosil qilindi va uni sonli tahlil qilish usuli ishlab chiqilgan;

galaktikalar evolyutsiyasining boshlang'ich bosqichida galo effektini hisobga olgan holda diskning nochiziqli noradial tebranishlarini barqarorlashtiruvchi tizim parametrlarining kritik qiymatlari topilgan;

nochiziqli radial pulsatsiyalanuvchi sferik modelning bir va ikki halqali g'alayonlanish modalari uchun dispersiyon tenglamalarining nostatsionar analoglari (DTNA) topilgan;

birinchi marta, sferik va disk pulsatsiyalanuvchi modellari fonida halqasimon tuzilmali g'alayonlanish modalari beqarorligining qiyosiy tahlili natijalari olingan;

ilk bor, galaktikalarda halqasimon tuzilmalarning yuzaga kelish xarakterli vaqtlari va bunda radial pulsatsiyalanuvchi modellarning nostatsionarlik darajasi uchun kritik qiymatlar topilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

adabiyotlar, xalqaro ma'lumotlar bazalari va boshqa mualliflarning internet saytlaridan foydalanib tuzilgan 101 ta ob'yeqli DGG katalogi disksimon galaktikalarining fizik xarakteristiklari tahlilida qo'llashga xizmat qiladi;

DGGning individual fizik xususiyatlari, shuningdek, galo va diskning massalari o'rtasidagi bog'liqligining empirik formulalari turli amaliy maqsadlar uchun topilgan;

bundan tashqari, DGGni sinflashtirish, ularning kuzatuv ma'lumotlari tahlili va nazariy tadqiqot natijalairni universitetlarning galaktikalar fizikasi bo'yicha maxsus kurslari dasturiga kiritish mumkin.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi kuzatuv ma'lumotlarini statistik tahlil qilishning zamonaviy usullari, shuningdek, differensial tenglamalar sistemasini yuqori aniqlikdagi raqamli hisoblash usullarini qo'llash hamda olingan xulosalar bir qator boshqa mualliflarning tadqiqot natijalari bilan qiyosiy tahlil qilish orqali ta'minlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundaki, olingan natijalar disksimon galaktikalar fizikasini va galaktikalarda halqasimon tuzilmalarning hosil bo'lishining nochiziqli nazariyasini

yaratishga imkon beradi, shuningdek, tuzilgan katalog va uning statistik tahlili natijalari DGG tasnifi muammosini hal qilish uchun muhim hisoblanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundaki, tadqiqot natijalarini kuzatuvlar natijasida aniqlangan DGGlariga qo'llash va ularning noma'lum fizik xususiyatlarini aniqlash imkoniyati bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tuzilgan DGG katalogi F2-FA-F029 – “Gravitatsion linzalar, kompakt astrofizik obyektlar va nostatsionar disksimon tizimlar fizikasi” mavzusidagi loyiha doirasida spiral galaktikalar galosi va diskining fizik xususiyatlarini aniqlash uchun ishlatilgan (O'zbekiston Fanlar Akademiyasi Ulug'bek nomidagi Astronomiya institutining 04.04.2024-yildagi 02-09/64-sonli ma'lumotnomasi). Natijada katalog ma'lumotlaridan foydalanib galo va disk parametrlari orasidagi empirik formulalar aniqlangan.

Galaktika galosini hisobga olgan holda o'zgravitatsiyalanuvchi diskning evolyutsiyasini tavsiflovchi tenglamalar tizimi va uni raqamli hisoblash usulidan F2-FA-F029 – “Gravitatsion linzalar, kompakt astrofizik obyektlar va nostatsionar disksimon tizimlar fizikasi” mavzusidagi loyihada disksimon galaktikalar evolyutsiyasining dastlabki bosqichini o'rganishda foydalanilgan (O'zbekiston Fanlar Akademiyasi Ulug'bek nomidagi Astronomiya institutining 04.04.2024-yildagidagi 02-09/64-sonli ma'lumotnomasi). Olingan sonli hisob-kitoblar natijalarini qo'llash disksimon galaktikalar evolyutsiyasining dastlabki bosqichida galo va disk massalari uchun dastlabki kritik qiymatlarni aniqlash, shuningdek, ularning galolarini tasniflash imkonini bergan.

F2-FA-F029 – “Gravitatsion linzalar, kompakt astrofizik obyektlar va nostatsionar disksimon tizimlar fizikasi” mavzusidagi loyiha doirasida galaktika evolyutsiyasining nostatsionar bosqichi fizikasi tadqiqotida halqali galaktikalarning shakllanishi muammosini o'rganish maqsadida hosil qilingan dispersion tenglamalarning nostatsionar analogidan foydalanilgan (O'zbekiston Fanlar Akademiyasi Ulug'bek nomidagi Astronomiya institutining 04.04.2024-yildagi 02-09/64-sonli ma'lumotnomasi). Natijada galaktikalardagi halqa strukturasining kelib chiqish mexanizmlari va mezonlari aniqlangan.

Tadqiqot natijalarini aprobat siyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 10 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza hamda muhokama qilingan. Natijalar O'zbekiston Milliy universiteti “Astrofizika tadqiqotlari” ilmiy laboratoriyasi bilan hamkorlikda “Astronomiya va astrofizika” kafedra si seminarlarida, fizika fakulteti qo'shma seminarida, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining “Galaktikadan tashqi astronomiya” laboratoriyasining ilmiy seminarida muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarini e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha olib borilgan tadqiqotning asosiy ilmiy natijalari 23 ta ilmiy ishlarda, jumladan, 6 ta ilmiy maqolada chop etilgan bo'lib, ulardan 3 tasi xorijiy jurnallarida va 3 tasi O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan respublika jurnallarida chop etilgan.

Dissertatsiya hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish, to‘rt bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 111 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi va zaruriyati 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 obyekti va predmeti, tadqiqotning ilmiy yangiligi va tadqiqotning amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarning ishonchlilik asoslangan, uning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalari amaliyotga tatbiq etilganligi va nashr qilingan ishlar, olingan natijalar aprobatyasi va dissertatsiyaning tuzilishi haqida ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Disksimon galaktikalar kuzatuv ma‘lumotlari va ularni raqamli modellash natijalari”** deb nomlangan **birinchi bobida** mavzuga oid kuzatuv ma‘lumotlari, disksimon galaktikalarning katta masshtabli tuzilishi va ularning nazariy tadqiqotlar yo‘nalishi bo‘yicha adabiyotlar tahlili berilgan.

Galaktikalar va ularning quyi tizimlarining shakllanishi hamda evolyutsiyasi muammolarini o‘rganish galaktikadan tashqi astronomiyaning faol rivojlanayotgan sohasi hisoblanadi. Ma‘lumki, har xil turdagi Hubble kamertonining galaktikalari evolyutsiyasining ma‘lum bosqichlarida shakllangan turli xil quyi tizimlarga ega. Ular orasida, disksimon galaktikalar quyi tizimlarning xilma-xilligi bilan ajralib turadi, masalan: yadro, balj, spiral tarmoqlari bo‘lgan disk, galo, toj va barga ega. Ushbu galaktikalarda yana bir holatni ham hisobga olish kerak, ya‘ni kollaps davrida bir o‘z aylanadigan protogalaktika ko‘rinishidagi gaz bulutining o‘lchami aylanish o‘qi bo‘ylab va ko‘ndalang ravishda turlicha kamayadi. Shu sababli, markazdan qochma kuchlar ta‘siri ostida bo‘lishidan oldin tug‘ilgan eski yulduzlar, deyarli aylanmaydigan sferik quyi tizimni-galoni va keyinroq paydo bo‘lgan yulduzlar esa tez aylanadigan yupqa yulduzli-diskni hosil qiladi. Disk quyi tizimi galodan keyin shakllanganligi sababli, uning shakllanishi va evolyutsiyasi bilan bog‘liq jarayonlar galo fonida sodir bo‘ldi. Shuning uchun astrofizikada bu hodisani o‘rganishga doimo katta e‘tibor beriladi.

“Disksimon galaktikalarning zamonaviy kuzatuv ma‘lumotlarining statistik tahlili” deb atalgan **ikkinchi bobida** galo va diskdagi kuzatuv ma‘lumotlarining tahlilidan iborat. Ushbu bobda disksimon galaktikalar va ularning quyi tizimlari bo‘yicha zamonaviy kuzatuv ma‘lumotlari natijalariga oid adabiyotlar ko‘rib chiqildi. Disksimon galaktikalari fizikasining dolzarb muammolari, xususan, galo tasnifi, galo va diskning kuzatuv ma‘lumotlarini to‘plash masalalari ko‘rib chiqildi. Disksimon galaktikalar bo‘yicha kuzatuv ma‘lumotlarini to‘plash asosida 101 obyektidan iborat katalog tuzildi. Bizning katalogimiz boshqa kataloglardan farqi shundaki, u galo va diskning fizik parametrlarini o‘z ichiga olgan. Galaktika galosiga tegishli asosiy parametrlar LEDA va NED ma‘lumotlar bazalarida mavjud, shuningdek, maksimal qo‘shimcha ma‘lumotlar bilan boyitilgan.

Tuzilgan katalog statistik tahlili asosida disksimon galaktikalar tizimosti parametrlari orasidagi turli empirik bog‘lanishlar aniqlandi. Jumladan, korrelyatsiya koeffitsiyenti yetarli darajada yuqori, ya’ni 0.67 ga teng bo‘lgan umumiy yulduzlar massasi va disk radiusi orasidagi empirik bog‘lanish olingan. Ushbu bog‘liqlik chiziqli ko‘rinishga ega:

$$M^* = 0,411 (\pm 0,005) R_d + 2,360 (\pm 0,008) \quad (1)$$

Bundan tashqari, koeffitsiyentlarni aniqlashda xatolar nisbatan past. Shuningdek, yulduzlarning umumiy massasi va galo radiusi o‘rtasidagi bog‘liqlik aniqlangan. Bu bog‘liqlik ham chiziqli ko‘rinishga ega:

$$M^* = 0,304 (\pm 0,021) R_h - 0,623 (\pm 0,085) \quad (2)$$

Bu bog‘lanishning korrelyatsiya koeffitsiyenti 0,82 ga teng.

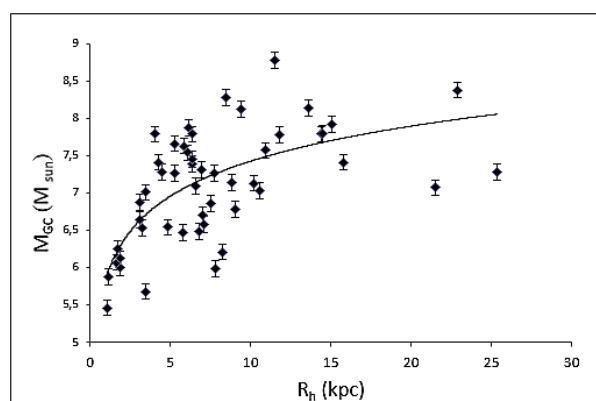
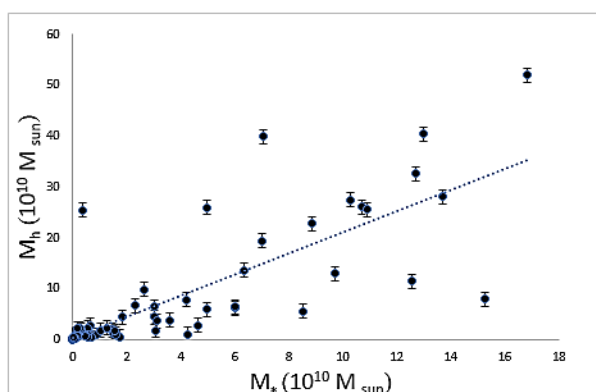
Galo massasi va galo komponentlarining tezliklar dispersiyasi, shuningdek, umumiy yulduz massasi va galo komponentlarining tezliklar dispersiyasi o‘rtasida empirik bog‘lanishlar olindi. Galaktikadagi yulduzlarning ko‘payishi bilan galodagi obyektlarning tezliklar dispersiyasi ham nisbatan ortadi ($cc = 0,85$). Ushbu bog‘lanishlarning quyidagi ifodalar olindi:

$$V_h = 12,592 (\pm 0,002) M_h + 115,310 (\pm 0,004) \quad (3)$$

$$V_h = 30,152 (\pm 0,008) M^* + 105,641 (\pm 0,002) \quad (4)$$

bu yerda xatolar (2) ga qaraganda bir oz past.

Shuningdek, galo va umumiy yulduzlar massasi o‘rtasidagi empirik munosabatlar olindi. Ushbu bog‘liqlik chiziqli ko‘rinishga ega va uning korrelyatsiya koeffitsiyentining qiymati aniqlandi (1-rasm. Chapda).



1-rasm. Chapda: galo massasi va galaktikalarining umumiy yulduzlar massasi o‘rtasidagi empirik munosabat, O‘ngda: galo radiusi va uning massasi o‘rtasidagi munosabat.

Shuningdek, sharsimon to‘dalarning massasi va galo radiusi orasida logarifmik bog‘lanish olindi hamda uning korrelyatsiya koeffitsiyenti: $cc = 0,66$

(1-rasm. O'ngda). Bu esa, taxminan 5 dan 15 kPc gacha bo'lgan hududda sharsimon to'dalarning asosiy qismi joylashganini ko'rsatadi:

$$M_{GC} = 0,677(\pm 0,068) \ln(R_h) + 5,868(\pm 0,024) \quad (5)$$

Qorong'u materiya (QM) galosining massasi va diskning sirt zichligi o'rtasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0,58 ga teng bo'lgan bog'liqlik aniqlangan. Ushbu bog'liqlikdan shuni aytish mumkinki, QM galo massasi diskning sirt yorqinligini oshirishga katta ta'sir ko'rsatmaydi:

$$\log M_{dm} = 0,006(\pm 0,001) \sigma_d + 9,816(\pm 0,507) \quad (6)$$

Shuningdek, galo radiusi va uning komponentlarining tezliklar dispersiyasi o'rtasida bog'liqlik olindi hamda u quyidagi ko'rinishga ega:

$$V_h = 10,377(\pm 0,004) R_h + 70,588(\pm 0,005) \quad (7)$$

Ushbu bog'lanishdan ko'rish mumkinki, galaktikalar markaziga yaqinlashgan sari yulduzlarning galodagi tezlik dispersiyasi uning atrofiga nisbatan kamroq. Quyidagi bog'liqlik umumiy yulduz massasi va QM galosi massasi o'rtasida olingan:

$$\log M_{dm} = 0,0113(\pm 0,0012) M^* + 9,8908(\pm 0,0095) \quad (8)$$

korrelyatsiya koeffitsiyenti – 0,7. Shunday qilib, disk shaklidagi galaktikalarning asosiy fizik xarakteristikalarini o'rtasida juda yaqin korrelyatsiyalarni topilgan.

Ta'kidlash joizki, birinchi bo'lib disksimon galaktikalar galosining tasnifini ishlab chiqdik va ularni 5 sinfga ajratish mumkinligini ko'rib chiqdik: I kichik massiv, II o'rta massiv, III yarim massiv, IV massiv va V super massiv. Bizning katalogimizda diskli galaktikalarning 28 % – kichik massiv, 23 % – o'rtacha massiv, 20 % – yarim massiv, 13 % – massiv va 16 % – super massiv galoga ega. Shuningdek, kichik massiv galolar eng ko'p Sc morfologik sinfga mansub bo'lgan diskli galaktikalarda kuzatilishini aniqlangan.

Uchinchi bobda **“O'zgravitatsiyalanuvchi disksimon tizimlarning galoni hisobga olgan holda noradial nochiziqli tebranishlari”** galoni hisobga olgan holda galaktikalarning diskli quyi tizimining evolyutsiyasi muammosi ko'rib chiqildi.

O'zgravitatsiyalanuvchi diskining evolyutsiyasi tenglamalarini olish uchun hosilaviy funksiya usulidan foydalandik. G'alayonlangan va g'alayonlanmagan Lagranj fazaviy koordinatalari orasidagi munosabatni chiziqli hamda kanonik deb hisoblash mumkinligi sababli, hosilaviy funksiya w ikkinchi darajali polinom bo'lishi kerak. Nazariyaga ko'ra, uni bu ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$w(\vec{r}, \vec{v}_0, t) = \frac{1}{2} \vec{r} N_1(t) \vec{r} + \vec{r} N_2(t) \vec{v}_0 + \frac{1}{2} \vec{v}_0 N_3(t) \vec{v}_0 \quad (9)$$

Bu yerda $N_i(t)$ ikki o'ldamli kvadrat matritsalar bo'lib, ulardan $N_1(t)$ va $N_3(t)$ simmetrik matritsalar, $N_2(t)$ esa ixtiyoriy matritsa, $\vec{r}$ zarrachalarning g'alayongan koordinatalarini va $\vec{v}_0$ nominal holatdagi tezlik vektoridir. Keyin (9) yordamida quyidagini olamiz:

$$\vec{r}_0 = \text{grad}_{\vec{v}_0} w = N_2^* \vec{r} + N_3 \vec{v}_0, \quad \vec{v} = \text{grad}_{\vec{r}} w = N_1 \vec{r} + N_2 \vec{v}_0, \quad (10)$$

bu yerda $*$ – belgisi transponirlashni bildiradi. Keyin esa (10) yordamida quyidagilarni olamiz:

$$\vec{r}_0 = (N_2^* - N_3 N_2^{-1} N_1) \vec{r} + N_3 N_2^{-1} \vec{v}, \quad \vec{v}_0 = N_2^{-1} \vec{v} - N_2^{-1} N_1 \vec{r} \quad (11)$$

Yoqoridagi aytib o'tilganidek, birinchi bora quyidagi sirt zichligiga ega disk modelini keltirib chiqilgan:

$$\sigma(x, y, t) = \sigma_0(t) \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right)^{1/2}, \quad (12)$$

Ushbu model nochiziqli va noradial tebranadi. Bu model quyidagicha gravitatsion potensialga ega bo'lgan passiv ellipsoidal galo bilan o'ralgan

$$\Phi_h(x, y, z) = -\frac{1}{2} A_1(e) (x^2 + y^2) - \frac{A_2(e)}{2} z^2, \quad (13)$$

Bu yerda a va b – diskning yarim o'qlari, t vaqtga bog'liq $\sigma_0(t) = 3M_{\text{disk}} / (2\pi ab)$ shuningdek, $A_1(e)$ va $A_2(e)$ – galoning meridional kesimining eksentrisetining taniqli funksiyalari. Ushbu modelning mos keladigan faza zichligi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Psi(\vec{r}, \vec{v}, t) = \frac{\sigma_0}{2\pi R_0 (1 - \Omega^2)^{1/2}} f^{-1/2} \chi(f). \quad (14)$$

Bu yerda Ω – diskning aylanish parametri, R_0 – uning boshlang'ich nominal holatidagi radiusi, χ – Havisayd funksiyasi, shuningdek,

$$f = (1 - \Omega^2) R_0^2 - S_1^{-1} [N_2^{-1} \vec{v} - (N_2^{-1} N_1 + S_2^*) \vec{r}]^2 - \vec{r} H \vec{r}$$

va

$$S_1 = E + N_3^2 + \Omega(JN_3 - N_3J), \quad S_2 = N_2(\Omega J - N_3)$$

bunda

$$H = N_2 [E + (\Omega J - N_3) S_1^{-1} (\Omega J + N_3)] N_2^*,$$

va

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Bu yerda E – birlik matritsa. G‘alayonlangan holatda elliptik disk quyidagi tortishish potensialiga ega:

$$\Phi_d(x, y, t) = -A(a, b)x^2 - B(a, b)y^2 = -\vec{r}\Phi_1\vec{r}, \quad \Phi_1 = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & B \end{pmatrix}, \quad (15)$$

Bu yerda A va B funksiyalar a(t) va b(t) bog‘liq.

Biz ko‘rib chiqayotgan tebranishlar diskning tekisligida sodir bo‘lganligi sababli, tortishish potentsiallari quyidagicha ifodalanishi mumkin.

$$\Phi_h(x, y) = -\frac{2\pi}{3}G\rho_0 r^2 \quad (r^2 = x^2 + y^2) \quad (16)$$

va

$$\Phi_d(x, y) = -\frac{\pi^2}{4R_0}G\sigma_0 r^2, \quad (17)$$

Bu yerda G – gravitatsion doimiysi, $\rho_0 = \text{const}$ va u galoning fazoviy zichligi. Bunday ixtiyoriy nostatsionar holatda Gamilton-Jakobi tenglamasi o‘rinli

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{2}(\text{grad}_{\vec{r}} w)^2 - (\Phi_d + \Phi_h) = 0. \quad (18)$$

(9), (13) va (15)ni (18) ga qo‘yish va ko‘paytmalarida faqat $\vec{r}$ bo‘lgan hadlarni, faqat $\vec{v}_0$ komponentlar alohida yig‘ish orqali diskning evolyutsiyasi uchun tenglamalarni olish mumkin. Lekin dastlabki $t=0$ holatda, N_1, N_2, N_3 matritsalar elementlari uzlukli funksiyalar bo‘lishi noqulaylik tug‘diradi. Shuning uchun, uzluksiz funksiyalarga – U_1, U_2, U_3, U_4 matritsalariga o‘tkazamiz, ularni quyidagi munosabatlar bilan aniqlaymiz:

$$U_1 = N_2^{-1}, \quad U_2 = N_2^{-1}N_1, \quad U_3 = N_3N_2^{-1}, \quad U_4 = \frac{d}{dt}(N_3N_2^{-1}). \quad (19)$$

Quyidagi $\frac{4\pi}{3}G\rho_0 + \frac{\pi^2}{2R_0}G\sigma_0 = 1$ normirovka va $p = M_{\text{galo}} / M_{\text{disk}}$ o‘lchamsiz parametrlarni kiritamiz ya’ni, galo va disk massalarining nisbatini kiritib disk modeli uchun quyidagi evolyutsiya tenglamasini olamiz:

$$\begin{cases} \frac{dU_1}{dt} = U_2, \\ \frac{dU_2}{dt} = -2U_1\Phi_1 - pA_1(e)U_1, \\ \frac{dU_3}{dt} = U_4, \\ \frac{dU_4}{dt} = -2U_3\Phi_1 - pA_1(e)U_3 \end{cases} \quad (20)$$

Shunday qilib, biz galoni hisobga olgan holda o'zgravitatsiyalanuvchi diskining evolyutsiyasi uchun matritsali differensial tenglamalar tizimini oldik. Keyin esa, berilgan boshlang'ich shartlar bilan Koshi masalasini sonli hal qilamiz. Shuni ta'kidlash kerakki, bu tenglamalar, xususan, galoni hisobga olgan holda aylana diskning radial pulsatsiyalarining ($a=b$) evolyutsiyasini ham tasvirlashi mumkin.

“Radial nochiziqli tebranuvchi modellar fonidagi beqarorlik to'g'risida: halqasimon g'alayonlanish modalari” nomli **to'rtinchi bobda** halqa shaklidagi tebranish garmonikalari mavjudligida sferik o'zgravitatsiyalanuvchi konfiguratsiyasi uchun beqarorlik fizikasini tadqiq qilindi. Shunday qilib, tebranish garmonikalari uchun dispersiya tenglamalarini oldik. Bundan tashqari, aniq holatlar uchun statsionarlik darajasining aylanish parametriga bog'liqligining kritik diagrammalarini tuzdik. Gravitatsion beqarorliklarning halqasimon tebranish garmonikalari bilan bog'liq muammolar taniqli Bisnovaty – Kogan – Zeldovich diskining nochiziqli umumlashtirilgan nomuvozanat holatidagi disk konfiguratsiyasi doirasida o'rganildi. Ushbu olingan natijalarga asoslanib, halqa shaklidagi tebranish garmonikalariga nisbatan kollapslanuvchi tizimning ikkita modelini solishtirdik.

Shunday qilib, quyidagi radial tebranuvchi disk modelini o'rganib chiqdik:

$$\Psi_d(r, v_r, v_\perp, t) = \frac{\sigma_0}{2\pi\Pi\sqrt{1-\Omega^2}} \left[\frac{1-\Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_b)^2 \right]^{-1/2} \cdot \chi(R-r) \quad (21)$$

Bu yerda disk izotrop tezlik diagrammasiga ega va $R(t) = R_0\Pi(t)$ qonunga muvofiq radial pulsatsiyalanadi, bunda

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

va sferik konfiguratsiya uchun Kamm sharining nochiziqli pulsatsiyalanuvchi versiyasini olamiz:

$$\Psi_s = \rho(t)\Pi^4(\pi R\Omega_0)^{-2}f^{-1/2}\chi(f) \cdot [1 + \Omega r v_\perp \sin \theta \cdot \sin \eta / (\Omega_0 R_0^2)], \quad (22)$$

Bunda Ω – sistemaning burchak tezlanishi va

$$f = (1 - r^2/R^2) \cdot (\Omega_0^2 R^2 / \Pi^4 - v_\perp^2) - \{v_r + \Omega_0 \lambda \cdot \sin \varphi \cdot r / [(1 - \lambda^2)^{1/2} \cdot \Pi^2]\}^2.$$

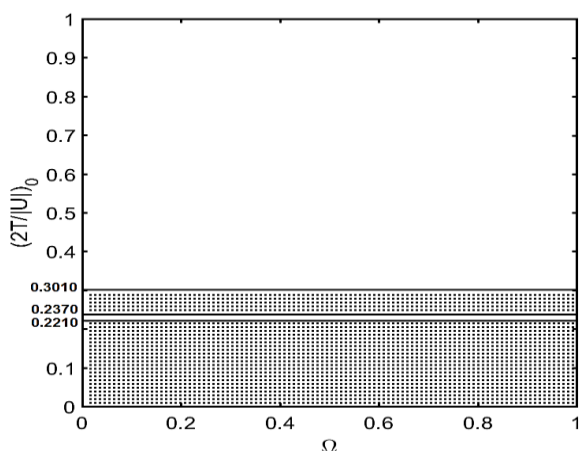
endi esa, (22) model doirasidagi tebranishlarning halqasimon garmonikalar uchun keyingi DTNA oldik:

$$a_{40}(\psi) = \frac{3}{4(1 + \lambda \cos \psi)^9} \left[c(4c^2 - 3e^2s^2)\ell_0(\psi) + 3e^2s(6c^2 - e^2s^2)\ell_1(\psi) + \right. \\ \left. + 3e^2c(6e^2s^2 - c^2)\ell_2(\psi) + e^4s(4e^2s^2 - 3c^2)\ell_3(\psi) \right], \quad (23)$$

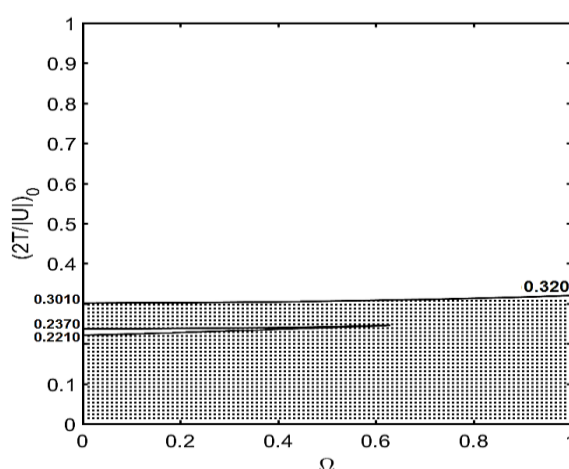
$$a_{42}(\psi) = \frac{3}{4(1 + \lambda \cos \psi)^9} \left\{ \left[c(4c^2 - 3e^2s^2)\gamma_0(\psi) + 3e^2s(6c^2 - e^2s^2)\gamma_1(\psi) + \right. \right. \\ \left. \left. + 3e^2c(6e^2s^2 - c^2)\gamma_2(\psi) + e^4s(4e^2s^2 - 3c^2)\gamma_3(\psi) \right] + \operatorname{im} \frac{\Omega e}{6} \left[s(e^2s^2 - 6c^2)\gamma_0(\psi) + \right. \right. \\ \left. \left. + 3c(2c^2 - 5e^2s^2)\gamma_1(\psi) + 3e^2s(5c^2 - 2e^2s^2)\gamma_2(\psi) + e^2c(6e^2s^2 - c^2)\gamma_3(\psi) \right] \right\}. \quad (24)$$

(23) va (24) DTNA ixtiyoriy parametrlarga ega bo'lgan to'rtta ikkinchi tartibli differensial tenglamalar tizimidan iborat, shuning uchun ularni analitik yo'l bilan yecha olmaymiz. Shunga asoslanib, bu tenglamalar sistemalarini sonli davriy yechimlarning barqarorlik usulidan foydalanib o'rgandik. (23) va (24) DTNA ning raqamli hisob-kitob natijalariga ko'ra, (22) sferik modelning Ω aylanish parametrining nostatsionarlik darajasi $(2T/|U|)_0$ ga bog'liqligining marjinal diagrammalari tuzildi (2 va 3-rasm).

2-rasmdan ko'rinib turibdiki, agar (22) model tinch holatda $\Omega = 0$ bo'lsa, $0 \leq (2T/|U|)_0 \leq 0.301$ qiymatlarda beqarorlik kuzatiladi, lekin ular orasida $(0.221; 0.237)$ juda kichik oraliqda barqarorlik mavjud. Nostatsionarlik darajasi $0 \leq (2T/|U|)_0 \leq 0.221$ qiymatlari oralig'ida aperiodik beqarorlik mavjud, $0.237 \leq (2T/|U|)_0 \leq 0.301$ oraliqda esa tebranish beqarorligi kuzatiladi.



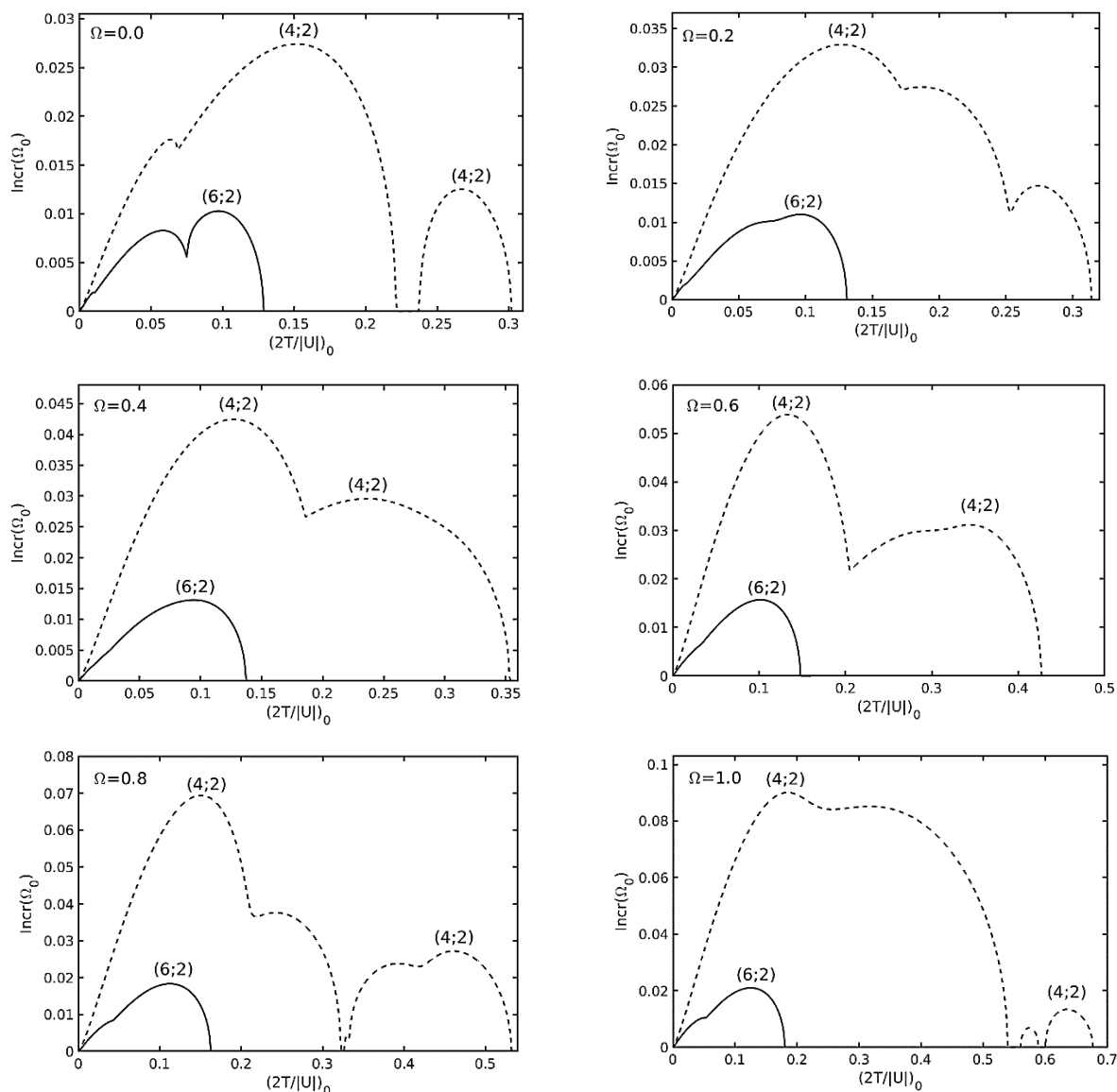
2-rasm. (22)-konfiguratsiyaning nostatsionarlik darajasi $(2T/|U|)_0$ ning aylanish parametri Ω bilan bog'liqligining (4;0) garmonika uchun marjinal diagrammasi.



3-rasm. (22)-konfiguratsiyaning nostatsionarlik darajasi $(2T/|U|)_0$ ning aylanish parametri Ω bilan bog'liqligining (4;2) garmonika uchun marjinal diagrammasi.

3-rasmdagi kritik diagrammadan, sferik modelning aylanish parametri $0 < \Omega < 0.630$ qiymatlari oralig'ida barqarorlikning kichik yarim oroli kuzatiladi deb xulosa qilishimiz mumkin. Ammo modelning aylanish parametri maksimal qiymatga intilganda, bu barqarorlik yarim orol sohasi kamayadi. Tebranish amplitudasining har bir qiymati uchun biz ko'rib chiqayotgan tebranishlarning halqa

garmonikalarining gravitatsion beqarorliklari inkrementi qiymatlari hisoblab chiqildi.



4-rasm. Ω har xil qiymatlar uchun radial chiziqli bo‘lmagan tebranish konfiguratsiyasi (4.4) doirasidagi bir halqali (4;2) va ikki halqali (6;2) tebranishlar garmonikalarining beqarorlik inkrementlarini taqqoslash grafiklari.

Radial nochiziqli tebranuvchi konfiguratsiyalarni (21) va (22) qiyosiy tahlil qilish uchun, Ω ning turli qiymatlar uchun modelning statsionarlik darajasi $(2T/|U|)_0$ ga halqasimon beqarorlik inkrementining bog‘liqlik grafiklari ham olindi (4-rasm). Ushbu rasmlardan ko‘rinib turibdiki, tebranishlarning halqa shaklidagi garmonikalari sferik konfiguratsiyadagi (22) beqarorlik bilan solishtirganda, nochiziqli pulsatsiyalanuvchi diskda (21) beqarorroqdir. Shuningdek, disk (21) va sferik (22) konfiguratsiyalarning radial nochiziqli tebranish modellari doirasida halqa garmonikalari tizimlarining nostatsionarlik darajasiga qarab turli qiymatlarda o‘zgaruvchan beqarorlik sohalariga ega ekanligini ham ta’kidlash lozim.

XULOSALAR

“O‘zgravitatsiyalanuvchi diskning tojini hisobga olgan holda nochiziqli noradial tebranishlari” mavzusidagi dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar olindi:

1. 101 ta spiral galaktikaning galo va diskining fizik parametrlarini o‘z ichiga olgan katalog tuzildi. Birinchi marta, disk va galo parametrlari o‘rtasidagi empirik bog‘liqliklar topildi hamda ular orasidagi korrelyatsiya koeffitsiyentlari hisoblab chiqildi. Jumladan, galo massasi va radiusi o‘rtasidagi empirik bog‘liqlik eksponensial xarakterga ega ekanligi ko‘rsatildi.

2. O‘zgravitatsiyalanuvchi diskining galosini hisobga olganda evolyutsiyasi uchun matritsali differensial tenglamalar tizimi olingan va uni sonli tahlil qilish usuli ishlab chiqilgan. Disk tinch holatda $\Omega=0$, g‘alayonlanishi qiymati μ ning ortishi bilan, diskning yarim o‘qlari $a(t)$ va $b(t)$ ning holati, aylanish parametrining $\Omega>0.5$ qiymatida ularning beqarorlik sohasidagi xolatidan farq qilmaydi.

3. Galaktikalarning sferik quyi tizimi diskning evolyutsiyasining dastlabki bosqichidagi tebranishlarini barqarorlashtiruvchi parametrlarning kritik qiymatlari aniqlandi. $\mu \geq 1,8$ g‘alayonlanish qiymatlarida disk modelining tebranishlari, aylanish parametrining barcha qiymatlarida beqaror bo‘lib qolishi aniqlandi, chunki bu holda diskning yarim o‘qlari $a(t)$ va $b(t)$ vaqt o‘tishi bilan chiziqli ravishda o‘sib boradi.

4. Radial pulsatsiyalanuvchi modellar doirasida bir va ikki halqali tebranish garmonikalarining DTNAlari topildi. Shuningdek, aylanmaydigan radial nochiziqli tebranuvchi modellar doirasida halqasimon garmonikalar nomuvozanatligining turli qiymatlariga qarab, turlicha beqarorlik xarakterga ega ekanligi isbotlangan va faqat $\Omega>0$ da davriy beqarorlik mavjudligi aniqlangan.

5. Sferik konfiguratsiya doirasidagi tebranish garmonikalarining halqa shaklidagi gravitatsion nomuvozanatligi o‘rishlarini qiyosiy tahlil qilish asosida bir halqali garmonikaning beqarorlik shiddati, Ω aylanish parametrlarining va modelning nostatsionarlik darajasi $(2T/|U|)_0$ ning barcha qiymatlarida ikki halqali garmonikaga nisbatan katta ekanligini ko‘rsatadi.

6. Disk va sferik konfiguratsiyalarning radial nochiziqli tebranish modellarining aylanish parametri ularning halqa garmonikalariga nisbatan gravitatsion beqarorligi jarayonida beqarorlashtiruvchi rol o‘ynashi aniqlandi.

7. Radial nochiziqli pulsatsiyalanuvchi disk, sferik konfiguratsiyalarga nisbatan tebranishlarning halqa garmonikalari beqarorroq ekanligi aniqlandi.

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

МАННАПОВА КАМОЛА АЛИМДЖАНОВНА

**НЕРАДИАЛЬНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
САМОГРАВИТИРУЮЩЕГО ДИСКА С УЧЕТОМ ГАЛО**

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/FM969.

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 «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:	Миртаджиева Карамат Тахировна доктор физико-математических наук
Официальные оппоненты:	Таджибаев Икрам Уралбаевич доктор физико-математических наук Бурхонов Отабек Анваржонович кандидат физико-математических наук
Ведущая организация:	Институт фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета "ТИИМСХ"

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: pauka@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.

С.Н. Нуритдинов
Председатель 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 мире получен ряд новых наблюдательных данных о формировании и эволюции галактик и их подсистем, среди которых ярким примером являются практические наблюдения, выполненные космическим телескопом Джеймса Уэбба¹. В результате, хотя для плоских и сферических подсистем спиральных галактик собрано достаточно научных данных, ряд практических вопросов в этой области до сих пор не решен. Например, гравитационное влияние галактического гало на нерадиальные колебания дискообразной составляющей системы является важной проблемой, пока не изученной в конкретных моделях. Кроме того, еще одной из важнейших практических проблем является вопрос классификации гало спиральных галактик по основным физическим показателям. Для решения указанных в этом направлении практических задач необходимо сначала создать точную нерадиально колеблющуюся модель, окруженную гало, а затем с помощью численных экспериментов найти закон изменения большой и малой полуосей нестационарного диска во времени. При этом, поскольку дисковая подсистема сформировалась после гало, необходимо изучать процессы ее колебаний и эволюции на фоне гало.

На сегодняшний день в мире база данных наблюдений галактик достаточно расширена и настало время исследовать их основные физические свойства и влияние гало на другие подсистемы, во-вторых, физические свойства самого гало и диска галактик требуют анализа их данных, полученных с помощью современных телескопов. В этом направлении, на ряду других вопросов, большое значение придают исследования, направленные на изучение колебаний диска в ходе его эволюции с учетом гало, а также на анализ неустойчивости мод возмущений, приводящих к образованию кольцеобразных структур в спиральных галактиках. В то же время актуальной задачей считается также изучение данных наблюдений гало и дисков галактик, их анализ и классификация гало по его массам.

В нашей Республике особое внимание уделяется фундаментальным исследованиям, в частности изучению наблюдательных аспектов физических процессов, происходящих в спиральных галактиках, гало и дисковых структурах, а также анализу параметров их подсистем. Это означает, что направление фундаментальных исследований, связанное со стратегией² 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

¹ <https://webb.nasa.gov>

² Указ Президента Республики Узбекистан от 29 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

развития технологий. Важным вопросом в реализации этих задач является создание модели для исследования эволюции диска галактик с учетом гало и разработка теории формирования кольцеобразных структур спиральных галактик.

Данная 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 в других нормативно-правовых актах в данном направлении 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. На сегодняшний день во многих странах хорошо развиты наблюдения за строением дискообразных галактик. Сегодня многие ведущие ученые мира занимаются теорией эволюции дискообразных галактик, изучением их особенностей, фотометрическими исследованиями и моделированием эволюции галактик. Например, американские ученые (Huchtmeier W. K., Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Li Jiang-Tao, Li Zhiyuan, Mouhcine, M. Lilley, E. J., Aumer M., Binney J.), российские (А. В. Засов, А. В. Хоперсков) и другие учёные. Кроме того, фундаментальные и прикладные исследования таких учёных, как Fisher J. D., Faltenbacher A.³, Clewley, L., Warren, S. J., Hewett, P. C., Norris, John E., Peterson, R. C., Evans, N. W.⁴, внесли большой вклад в эту область. Примечательно, что Shuai Liu и другие⁵ получили эмпирические зависимости между металличностью гало и красным смещением галактик, а также рядом других их параметров. Однако для гало и диска спиральных галактик до сих пор не были собраны отдельные наблюдательные данные, и соответственно, не проводился их статистический анализ, а также не установлены эмпирические зависимости между физическими параметрами подсистем спиральных галактик, которые считаются важной информацией для последующего исследования проблем их формирования.

В Национальном университете Узбекистана впервые были проведены исследования нелинейной динамики разных подсистем галактик и

³ Fisher J. D., Faltenbacher A., «Cosmic web type dependence of halo clustering»// MNRAS, Vol. 473, Issue 3, p.3941-3948, 2012.

⁴ Clewley, L. ;Warren, S. J. ;Hewett, P. C. ;Norris, John E. ;Peterson, R. C. ;Evans, N. W. «Distant field blue horizontal branch stars and the mass of the Galaxy - I. Classification of halo A-type stars»// MNRAS, Vol. 337, Issue 1, pp. 87-97, 2002.

⁵ Shuai Liu, Cuihua Du, Heidi Jo Newberg, Yuqin Chen, Zhenyu Wu, Jun Ma, Xu Zhou, Zihuang Cao, Yonghui Hou, Yuefei Wang and Yong Zhang «Metallicity and kinematics of the galactic halo from the lamost sample stars» // 2018, ApJ. 862.163L

самогравитирующих систем, а также проводился анализ задач по созданию точных фазовых моделей нелинейных неравновесных стадий эволюции галактик. А также С.Н. Нуритдиновым, И.И., Кирбижековой и К.Т. Миртаджиевой были изучены проблемы создания модели нелинейного и нерадиально колеблющегося нестационарного диска и его устойчивости. Но в этих работах не получено уравнение для нелинейно нерадиального колеблющегося диска с учетом гало и не разработан метод его численного анализа.

Изучение нелинейных радиальных колебаний в различных подсистемах галактик и специфических самогравитирующих системах, а также анализ проблемы гравитационных неустойчивостей в моделях ранней стадий развития галактик были впервые начаты в Национальном университете Узбекистана С.Н. Нуритдиновым. Здесь впервые были разработаны нелинейно пульсирующие модели для сферических самогравитирующих систем на основе известных стационарных конфигураций Эйнштейна и Камма. Кроме того, были построены модели для неравновесных дискообразных самогравитирующих систем и в рамках этих моделей исследованы проблемы неустойчивости основных структурных мод возмущений (С.Н. Нуритдинов, К.Т. Миртаджиева). Однако не был проведен сравнительный анализ неустойчивостей, нелинейно радиально колеблющихся сферической и дисковой моделей относительно, например, кольцеобразных мод колебаний.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Национального университета Узбекистана и Астрономического института АН РУз: № 51-06 «Создание нелинейных моделей анизотропных дисковых систем и анализ гравитационных неустойчивостей», № Ф.7-12 «Анализ наблюдений кольцеобразных галактик и разработка теории их происхождения» и ВА-ФА-Ф-2-007 «Многоволновое исследование физических, динамических и линзирующих свойств галактик и их скоплений».

Целью исследования является составление «Каталога гало дискообразных галактик (ГДГ)» и его статистический анализ, а также создание теории нелинейно нерадиальных колебаний самогравитирующего диска с учетом гало.

Задачи исследования:

накопление данных наблюдений с целью составления каталога ГДГ и статистический анализ впервые созданного каталога ГДГ из 101 объектов;

поиск эмпирических зависимостей основных физических характеристик гало и диска;

классификация ГДГ на основе данных наблюдений;

нахождение системы матричных дифференциальных уравнений для эволюции самогравитирующего диска при наличии гало и разработка метода для ее численного анализа;

получение результатов численных расчетов системы уравнений для различных значений параметров гало и диска;

построение критических зависимостей между параметрами диска и гало;

проведение сравнительный анализ нелинейно радиально колеблющихся сферической и дисковой конфигураций относительно неустойчивостей кольцеобразных структурных гармоник возмущений.

Объектом исследования являются гало и диск галактик, их теоретические модели и наблюдаемые кольцеобразные структуры в дискообразных галактиках.

Предметом исследования являются процессы и механизмы эволюции диска с учетом гало в дискообразных галактиках и явления гравитационных неустойчивостей на фоне нелинейно радиально колеблющихся моделей.

Методы исследования. Использованы методы наименьших квадратов для нахождения статистических зависимостей между данными наблюдений и численного интегрирования систем дифференциальных уравнений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые составлен каталог, содержащий физические параметры гало и диска 101 спиральной галактики, найдены эмпирические формулы между этими параметрами и разработана классификация гало;

впервые с учетом гало галактики, получено уравнение эволюции ее дисковой подструктуры и разработан метод его численного анализа;

найжены критические значения параметров системы, стабилизирующие нелинейные нерадиальные колебания диска с учетом эффекта гало на начальном этапе эволюции галактик;

найжены нестационарные аналоги дисперсионных уравнений (НАДУ) для однокольцевой и двукольцевой мод возмущений нелинейно радиально-пульсирующей сферической модели;

впервые получены результаты сравнительного анализа неустойчивости кольцевых мод возмущений на фоне сферической и дисковой пульсирующих моделей;

впервые найдены характерные времена появления кольцевых структур в галактиках и критические значения степени нестационарности моделей радиальных пульсаций.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

каталог ГДГ из 101 объектов, составленный на основе литературы, международных баз данных и интернетовских сайтов других авторов, используется при анализе физических характеристик дисковых галактик

для различных практических целей были найдены эмпирические формулы связи между отдельными физическими свойствами ГДГ, а также массами гало и диска

результаты классификации ГДГ, анализа данных их наблюдений и результаты научных исследований могут быть включены в программу специальных курсов университетов по галактической физике.

Достоверность результатов исследования обеспечивается современными методами статистического анализа данных наблюдений, а также применением высокоточных численных методов расчета системы дифференциальных уравнений и сравнительным анализом полученных выводов с результатами исследований ряда других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в том, что полученные результаты позволяют создать физику дисковых галактик и нелинейную теорию образования кольцевых структур в галактиках, а также составленный каталог и результаты его статистического анализа полезны для решения задачи классификации ГДГ.

Практическая значимость результатов исследования объясняется возможностью их применения к выявленным в результате наблюдений ДГГ и определения их неизвестных физических свойств.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертации внедрены:

Составленный каталог ГДГ использовался в рамках проекта Ф2-ФА-Ф029 – «Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем» для определения физических свойств гало и диска спиральных галактик (справка №02-09/64 Астрономического института имени Улугбека Академии наук Узбекистана от 4 апреля 2024 года). С помощью данных каталога были определены эмпирические формулы между параметрами гало и диска.

Найденная система уравнений, описывающая эволюцию самогравитирующего диска при наличии гало галактик и разработанный метод её численных расчетов были использованы в проекте Ф2-ФА-Ф029 – «Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем» для изучения ранней стадии эволюции дискообразных галактик (справка №02-09/64 Астрономического института имени Улугбека Академии наук Узбекистана от 4 апреля 2024 года). Применение полученных результатов численных расчетов позволило получить начальные критические значения для масс гало и диска на ранних этапах развития дисковых галактик, а также классифицировать их гало.

Полученные аналоги дисперсионных уравнений для нестационарных дисковых систем с целью исследования проблемы формирования кольцевых галактик, использовались при изучении физики нестационарной стадии развития галактик, который проводился в рамках проекта по теме Ф2-ФА-Ф029 – «Физика гравитационных линз, компактных астрофизических объектов и нестационарных дисковых систем» (справка №02-09/64 Астрономического института имени Улугбека Академии наук Узбекистана от 4 апреля 2024 года). В результате были выявлены механизмы и критерии происхождения кольцеобразных структурных образований в галактиках.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 10-ти

международных и 7-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 23 научных работах, включая 6 научных статей, из которых 3 опубликованы в зарубежных журналах и 3 - 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 и списка литературы. Общий объем диссертации 111 страниц.

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, предоставляются информация о внедрении результатов исследований и опубликованных работ, а также сведения об апробации полученных результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Наблюдения дискообразных галактик и результаты их численного моделирования»**, приведен литературный обзор результатов по теме диссертации, как в направлении данных наблюдений, так и теоретических исследований, посвященных крупномасштабному строению дискообразных галактик.

Исследования проблем формирования и эволюции галактик и их подсистем являются активно развивающиеся направлениями внегалактической астрономии. Известно, что различные типы галактик камертон Хаббла имеют явно разные подсистемы, которые формировались на определенных этапах их эволюции. Среди них, например, дисковые галактики отличаются наибольшим разнообразием подсистем: ядро, балдж, диск со спиральными ветвями, гало и обширная корона, а также у них часто наблюдается и перемычка. В этих галактиках надо учесть, также еще одно обстоятельство, а именно, во время коллапса размеры газового облака в виде

несколько вращающейся протогалактики уменьшаются неодинаково вдоль и поперек оси вращения. Поэтому, старые звезды, родившиеся до того, как стали существенны центробежные силы, образовали почти не вращающуюся сферическую подсистему – гало, а звезды, которые родились позже всех, образовали быстровращающийся тонкий звездный диск. Так как дисковая подсистема образовалась после гало, то процессы её формирования и эволюции протекали на фоне гало. Поэтому в астрофизике исследованию данного явления всегда уделяется большое внимание.

Вторая глава «**Статистический анализ современных данных наблюдений дискообразных галактик**» содержит анализ наблюдательных данных гало и диска. В этой главе выполнен литературный обзор результатов современных данных наблюдений дискообразных галактик и их подсистем. Рассмотрены актуальные проблемы в физике дисковых галактик, например, задачи накопления данных наблюдений по гало и диску галактик и вопросы классификации гало. На основе накопления наблюдательных данных дисковых галактик составлен нами сводный каталог, состоящий из 101 объекта. Отметим, что наш каталог отличается от других каталогов, так как в нем представлены параметры гало и диска для дисковых галактик. Основные параметры, относящиеся к гало галактики, обогащены максимальными дополнительными данными, доступными в базах данных LEDA и NED.

На основе статистического анализа составленного нами каталога найдены различные эмпирические зависимости между параметрами подсистем дискообразных галактик. В частности, нами получена эмпирическая зависимость между общей звездной массой и радиусом диска, в которой коэффициент корреляции оказался достаточно хорошим и его значение составляет 0,67. Данная зависимость имеет линейный вид:

$$M^* = 0,411 (\pm 0,005) R_d + 2,360 (\pm 0,008), \quad (1)$$

причем ошибки определения коэффициентов являются сравнительно низкими. Также определена связь между общей звездной массой и радиусом гало. Эта зависимость, также имеет линейный характер:

$$M^* = 0,304 (\pm 0,021) R_h - 0,623 (\pm 0,085) \quad (2)$$

в которой коэффициент корреляции – 0,82.

Получены эмпирические зависимости между массой гало и дисперсией скоростей компонентов гало, а также между общей звездной массой и дисперсией скоростей компонентов гало. С увеличением общей звездной массы в галактике также идет процесс увеличения дисперсии скоростей частиц в гало и корреляция несколько растет ($\rho = 0.85$). Тогда мы имеем следующие формулы:

$$V_h = 12,592 (\pm 0,002) M_h + 115,310 (\pm 0,004) \quad (3)$$

$$V_h = 30,152 (\pm 0,008) M^* + 105,641 (\pm 0,002) \quad (4)$$

где ошибки незначительно ниже, чем в (2).

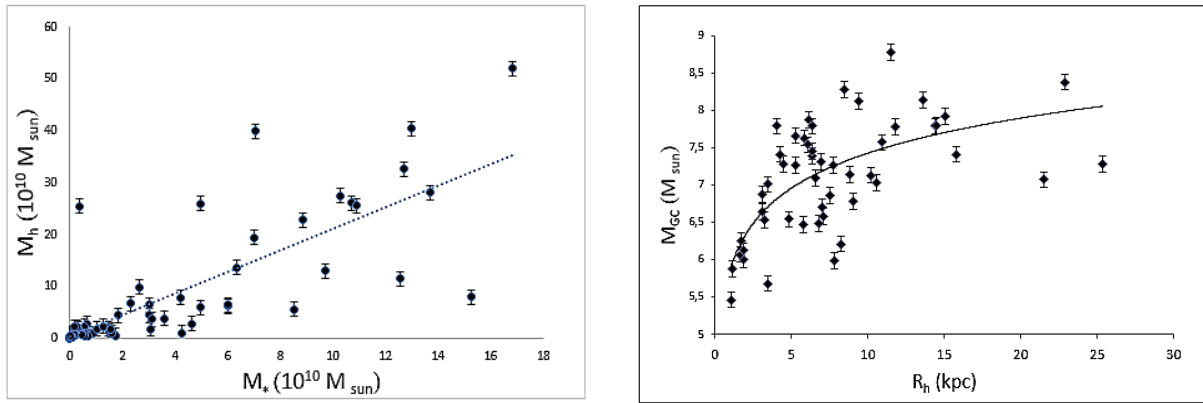


Рис.1. Слева: Эмпирическая зависимость между массой гало и общей звездной массой дисковых галактик. Справа: Зависимость между радиусом гало и его массой.

Интерес представляет также эмпирическая зависимость между массой гало и общей звездной массой дисковых галактик. Зависимость носит линейный характер и здесь мы обнаружили достаточно хорошую корреляцию (Рис.1. Слева). Получена также связь между логарифмической массой шаровых скоплений и радиусом гало, которая имеет логарифмический характер и коэффициент корреляции: $\text{corr} = 0,66$ (Рис.1. Справа). Это также указывает на то, что около от 5 до 15 кПк районе находится основная часть шаровых скоплений:

$$M_{GC} = 0,677(\pm 0,068) \ln(R_h) + 5,868(\pm 0,024) \quad (5)$$

Найдена связь между массой гало темной материи (ТМ) и поверхностной плотностью диска с коэффициентом корреляции 0,58. Из этой связи можно заметить, что масса гало ТМ не очень влияет на увеличение поверхностной яркости диска:

$$\log M_{dm} = 0,006(\pm 0,001) \sigma_d + 9,816(\pm 0,507) \quad (6)$$

А также получена зависимость между радиусом гало и дисперсии скоростей компонентов гало, которая имеет следующий вид

$$V_h = 10,377(\pm 0,004) R_h + 70,588(\pm 0,005) . \quad (7)$$

На этом графике можно увидеть, что ближе к центру галактик дисперсия скоростей звезд в гало меньше, чем в его окрестностях.

Следующая зависимость получена между общей звездной массой и массой гало ТМ:

$$\log M_{dm} = 0,0113(\pm 0,0012) M^* + 9,8908(\pm 0,0095) \quad (8)$$

коэффициент корреляции – 0,7. Таким образом, нами найдены очень тесные корреляции между основными физическими характеристиками подсистем дискообразных галактик.

Надо отметить, что нами впервые разработана классификация гало дисковых галактик и показано, что их можно разделить на 5 классов: I-маломассивные, II-умеренно массивные, III-полумассивные, IV-массивные и V-сверхмассивные. В нашем каталоге 28 % дисковых галактик имеют маломассивные гало, 23 % - умеренно массивные, 20% - полумассивные, 13 % - массивные и 16 % - сверхмассивные. Нами определено, что маломассивные гало галактик больше всего наблюдаются у дисковых галактик морфологического класса Sc.

В третьей главе **«Нерадиальные нелинейные колебания дискообразных самогравитирующих систем при наличии гало»** рассмотрена проблема эволюции дисковой подсистемы галактик с учетом гало.

Для вывода уравнений эволюции самогравитирующего диска воспользуемся методом производящей функции. Так как зависимость между не возмущенными и возмущенными лагранжевыми фазовыми координатами можно полагать линейной и канонической, то производящая функция w должна быть полином второй степени. Согласно теории, ее можно представить в виде

$$w(\vec{r}, \vec{v}_0, t) = \frac{1}{2} \vec{r} N_1(t) \vec{r} + \vec{r} N_2(t) \vec{v}_0 + \frac{1}{2} \vec{v}_0 N_3(t) \vec{v}_0, \quad (9)$$

причем $N_i(t)$ - двумерные квадратные матрицы, из которых матрицы $N_1(t)$ и $N_3(t)$ являются симметричными, а $N_2(t)$ есть произвольная матрица, $\vec{r}$ определяет возмущенные координаты частицы и наконец $\vec{v}_0$ - вектор скорости в номинальном состоянии. Тогда с помощью (9) можно получить

$$\vec{r}_0 = \text{grad}_{\vec{v}_0} w = N_2^* \vec{r} + N_3 \vec{v}_0, \quad \vec{v} = \text{grad}_{\vec{r}} w = N_1 \vec{r} + N_2 \vec{v}_0, \quad (10)$$

где знак * означает транспонирование. С помощью (10) мы имеем следующие

$$\vec{r}_0 = \left(N_2^* - N_3 N_2^{-1} N_1 \right) \vec{r} + N_3 N_2^{-1} \vec{v}, \quad \vec{v}_0 = N_2^{-1} \vec{v} - N_2^{-1} N_1 \vec{r} \quad (11)$$

Как мы отметили выше, впервые построена модель диска со следующей поверхностной плотностью

$$\sigma(x, y, t) = \sigma_0(t) \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right)^{1/2}, \quad (12)$$

который нерадиально нелинейно колеблется. Данная модель окружена пассивным эллипсоидальным гало с гравитационным потенциалом

$$\Phi_h(x, y, z) = -\frac{1}{2} A_1(e) (x^2 + y^2) - \frac{A_2(e)}{2} z^2, \quad (13)$$

где α и b - полуоси диска, зависящие от времени t , $\sigma_0(t) = 3M_{disk}/(2\pi ab)$, причем $A_1(e)$ и $A_2(e)$ – хорошо известные функции от эксцентриситета меридионального сечения гало. Соответствующая фазовая плотность данной модели имеет вид

$$\Psi(\vec{r}, \vec{v}, t) = \frac{\sigma_0}{2\pi R_0 (1 - \Omega^2)^{1/2}} f^{-1/2} \chi(f), \quad (14)$$

где Ω -параметр вращения диска, R_0 - его радиус в исходном номинальном состоянии, χ -функция Хевисайда, а также

$$f = (1 - \Omega^2) R_0^2 - S_1^{-1} \left[N_2^{-1} \vec{v} - (N_2^{-1} N_1 + S_2^*) \vec{r} \right]^2 - \vec{r} H \vec{r}$$

и

$$S_1 = E + N_3^2 + \Omega(JN_3 - N_3J), \quad S_2 = N_2(\Omega J - N_3),$$

причем

$$H = N_2 \left[E + (\Omega J - N_3) S_1^{-1} (\Omega J + N_3) \right] N_2^*,$$

а

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Здесь E – единичная матрица. В возмущенном состоянии эллиптический диск имеет гравитационный потенциал

$$\Phi_d(x, y, t) = -A(a, b)x^2 - B(a, b)y^2 = -\vec{r} \Phi_1 \vec{r}, \quad \Phi_1 = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & B \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где A и B являются функциями от $\alpha(t)$ и $b(t)$.

Так как рассматриваемые нами колебания совершаются именно в плоскости самого диска, то гравитационные потенциалы можно представить в виде

$$\Phi_h(x, y) = -\frac{2\pi}{3} G \rho_0 r^2 \quad (r^2 = x^2 + y^2) \quad (16)$$

и

$$\Phi_d(x, y) = -\frac{\pi^2}{4R_0} G \sigma_0 r^2, \quad (17)$$

где G есть гравитационная постоянная, $\rho_0 = \text{const}$ есть пространственная плотность гало.

В произвольно нестационарном состоянии справедливо уравнение Гамильтона –Якоби

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{2}(\text{grad}_{\vec{r}} w)^2 - (\Phi_d + \Phi_h) = 0 . \quad (18)$$

Поставив (9), (13) и (15) в (18) и собрав члены раздельно члены с произведениями только $\vec{r}$, только компонент $\vec{v}_0$, а также тех и других, можно получать уравнения эволюции диска. Но здесь имеется одно неудобство, связанное с тем, что в начальном состоянии $t=0$ элементы матриц N_1, N_2, N_3 являются разрывными функциями. Поэтому перейдем к непрерывным функциям – матрицам U_1, U_2, U_3, U_4 , которые определим следующими соотношениями:

$$U_1 = N_2^{-1}, \quad U_2 = N_2^{-1}N_1, \quad U_3 = N_3N_2^{-1}, \quad U_4 = \frac{d}{dt}(N_3N_2^{-1}) . \quad (19)$$

Тогда, вводя нормировку $\frac{4\pi}{3}G\rho_0 + \frac{\pi^2}{2R_0}G\sigma_0 = 1$ и безразмерный параметр $p = M_{\text{galo}} / M_{\text{disk}}$ в виде отношения масс гало и диска, получим следующее уравнение эволюции для исследуемой дисковой модели:

$$\begin{cases} \frac{dU_1}{dt} = U_2, \\ \frac{dU_2}{dt} = -2U_1\Phi_1 - pA_1(e)U_1, \\ \frac{dU_3}{dt} = U_4, \\ \frac{dU_4}{dt} = -2U_3\Phi_1 - pA_1(e)U_3 \end{cases} \quad (20)$$

Таким образом, нами получена система матричных дифференциальных уравнений для эволюции самогравитирующего диска при наличии гало. Далее численно решаем задачу Коша с заданными начальными условиями. Надо отметить, что эти уравнения могут, в частности, описывать также эволюцию радиальных пульсаций ($a=b$) кругового диска при наличии гало.

В четвертой главе «**О неустойчивостях на фоне радиально нелинейно колеблющихся моделей: кольцеобразные моды возмущений**» исследована нами физика неустойчивости сферической самогравитирующей конфигурации относительно кольцеобразных гармоник колебаний. Так нам удалось получить дисперсионные уравнения для рассматриваемых гармоник колебаний. Кроме того, нами построены критические диаграммы зависимости степени нестационарности от параметра вращения модели для конкретных случаев. Изучаны проблемы гравитационных неустойчивостей кольцеобразных гармоник колебаний в рамках неравновесной дисковой конфигурации, которая является нелинейным обобщением известного диска

Бисноватого-Когана - Зельдовича. На основе полученных этих результатов нами выполнено сравнение двух моделей коллапсирующей системы относительно кольцеобразных гармоник колебаний.

Таким образом, нами исследована следующая радиально колеблющаяся модель диска:

$$\Psi_d(r, v_r, v_\perp, t) = \frac{\sigma_0}{2\pi\Pi\sqrt{1-\Omega^2}} \left[\frac{1-\Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_b)^2 \right]^{-1/2} \cdot \chi(R-r) \quad (21)$$

который имеет изотропную диаграмму скоростей и совершает радиальные пульсации по закону $R(t) = R_0\Pi(t)$, где

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

А для сферической конфигурации мы берём нелинейно пульсирующую версию шара Камма:

$$\Psi_s = \rho(t)\Pi^4(\pi R\Omega_0)^{-2}f^{-1/2}\chi(f) \cdot [1 + \Omega r v_\perp \sin \theta \cdot \sin \eta / (\Omega_0 R_0^2)], \quad (22)$$

где Ω - угловая скорость вращения системы и

$$f = (1 - r^2/R^2) \cdot (\Omega_0^2 R^2 / \Pi^4 - v_\perp^2) - \{v_r + \Omega_0 \lambda \cdot \sin \varphi \cdot r / [(1 - \lambda^2)^{1/2} \cdot \Pi^2]\}^2.$$

Теперь получаем следующие НАДУ для кольцеобразных гармоник колебаний в рамках модели (22):

$$a_{40}(\psi) = \frac{3}{4(1 + \lambda \cos \psi)^9} \left[c(4c^2 - 3e^2 s^2) \ell_0(\psi) + 3e^2 s(6c^2 - e^2 s^2) \ell_1(\psi) + \right. \\ \left. + 3e^2 c(6e^2 s^2 - c^2) \ell_2(\psi) + e^4 s(4e^2 s^2 - 3c^2) \ell_3(\psi) \right], \quad (23)$$

$$a_{42}(\psi) = \frac{3}{4(1 + \lambda \cos \psi)^9} \left\{ \left[c(4c^2 - 3e^2 s^2) \gamma_0(\psi) + 3e^2 s(6c^2 - e^2 s^2) \gamma_1(\psi) + \right. \right. \\ \left. + 3e^2 c(6e^2 s^2 - c^2) \gamma_2(\psi) + e^4 s(4e^2 s^2 - 3c^2) \gamma_3(\psi) \right] + i m \frac{\Omega e}{6} \left[s(e^2 s^2 - 6c^2) \gamma_0(\psi) + \right. \\ \left. + 3c(2c^2 - 5e^2 s^2) \gamma_1(\psi) + 3e^2 s(5c^2 - 2e^2 s^2) \gamma_2(\psi) + e^2 c(6e^2 s^2 - c^2) \gamma_3(\psi) \right] \}. \quad (24)$$

НАДУ (23) и (24) есть система четырех дифференциальных уравнений второго порядка с произвольными параметрами, поэтому мы не можем решить их аналитически. Исходя из этого, эти системы уравнений были изучены нами методом устойчивости периодических решений численно. На основе результатов численных расчетов НАДУ (23) и (24) построены маргинальные диаграммы зависимости степени нестационарности $(2T/|U|)_0$ от параметра вращения Ω сферической модели (22) (рис. 2 и 3).

Рис.2 показывает, что если модель (22) не имеет вращения $\Omega=0$, то наблюдается неустойчивость при значениях $0 \leq (2T/|U|)_0 \leq 0.301$, но между ними имеется очень узкий диапазон устойчивости $(0.221; 0.237)$. Заметим, что в интервале значений степени нестационарности $0 \leq (2T/|U|)_0 \leq 0.221$ мы имеем аperiодическую неустойчивость, а в диапазоне $0.237 \leq (2T/|U|)_0 \leq 0.301$ наблюдается колебательная неустойчивость.

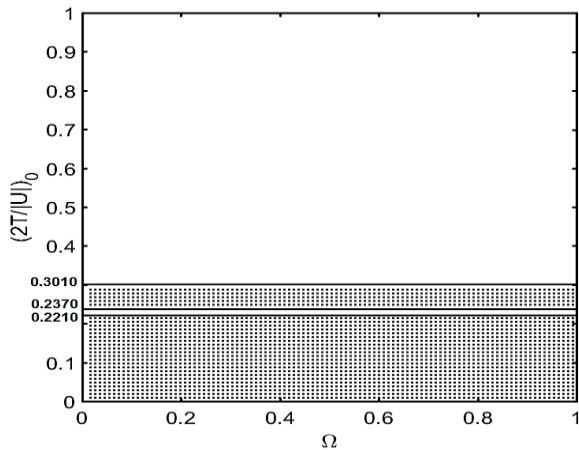


Рис.2. Маргинальная диаграмма зависимости степени нестационарности $(2T/|U|)_0$ конфигурации (22) от её параметра вращения Ω для гармоники (4;0).

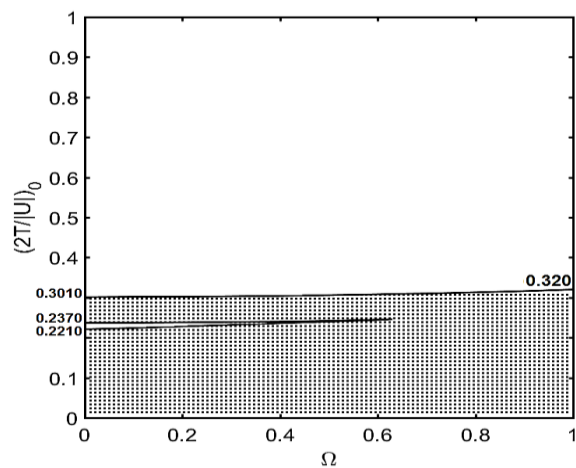


Рис. 3. Маргинальная диаграмма зависимости степени нестационарности $(2T/|U|)_0$ конфигурации (22) от её параметра вращения Ω для гармоники (4;2).

Из критической диаграммы на рис. 3 мы можем заключить о том, что в интервале значений параметра вращения сферической модели $0 < \Omega < 0.630$ наблюдается узкий полуостров устойчивости. Но когда параметра вращения модели стремится к своему максимальному значению, то область данного полуострова устойчивости уменьшается.

Для каждого значения амплитуды колебаний нами вычислялись значения инкрементов гравитационных неустойчивостей рассматриваемых нами кольцевых гармоник колебаний.

С целью сравнительного анализа радиально нелинейно колеблющихся конфигураций (21) и (22) нами также были построены графики зависимостей

инкрементов кольцевых неустойчивости от степени нестационарности $(2T/|U|)_0$ моделей для различных значений Ω (рис.4.). Из этих рисунков видно, что кольцообразные гармоник колебаний являются явно неустойчивыми преимущественно в нелинейно пульсирующем диске (21) по сравнению с такими неустойчивостями в сферической конфигурации (22).

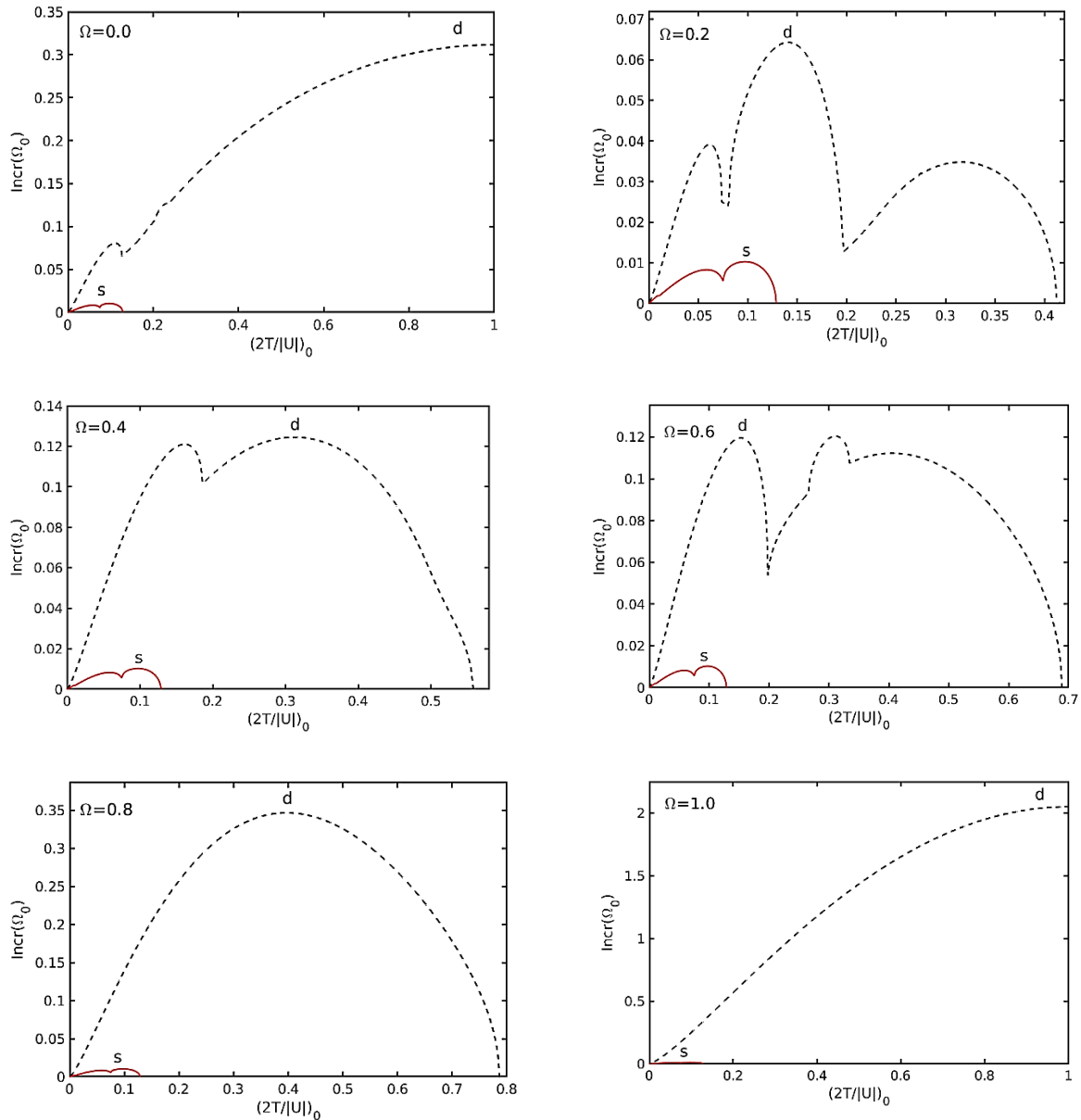


Рис.4. Графики сравнения инкрементов неустойчивостей однокольцевой гармоник (4;2) в рамках радиально нелинейно колеблющихся конфигураций (21) и (22) для различных значений Ω

Также отметим, что в рамках радиально нелинейно колеблющихся моделей дисковой (21) и сферической (22) конфигураций изученные нами кольцевые гармоник обладают чередующимися областями

неустойчивостей с различными характерами в зависимости от значений степени нестационарности систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме диссертации «Нерадиальные нелинейные колебания самогравитирующего диска с учетом гало», получены следующие выводы:

1. Составлен каталог, который содержит физические параметры гало и диска 101 спиральной галактики. Впервые найдены эмпирические зависимости между параметрами диска и гало и вычислены коэффициенты корреляций между ними. В частности, показано, что эмпирическая зависимость между массой и радиусом гало имеет экспоненциальный характер.

2. Выведена система матричных дифференциальных уравнений для эволюции самогравитирующего диска при наличии гало и разработан метод её численного анализа. Выявлено, что, когда диск невращается $\Omega=0$, с ростом значений возмущения μ поведение полуосей диска $a(t)$ и $b(t)$ не отличается от их поведения в зоне неустойчивости $\Omega>0.5$.

3. Определены критические значения параметров, при которых сферическая подсистема галактик стабилизирует колебания диска на ранней стадии его эволюции. Установлено, что при значениях возмущения $\mu \geq 1.8$ колебания дисковой модели становятся неустойчивыми во всех значениях параметра вращения Ω , так как в этом случае полуоси диска $a(t)$ и $b(t)$ растут линейно со временем.

4. Найдены НАДУ однокольцевых и двухкольцевых гармоник колебаний в рамках радиально пульсирующих моделей. Доказано, что в рамках невращающихся радиально нелинейно колеблющихся моделей кольцеобразные гармоники имеют неустойчивости с различными характерами в зависимости от значений степени нестационарности систем, а когда $\Omega>0$ имеем только периодическую неустойчивость.

5. На основе сравнительного анализа инкрементов гравитационной неустойчивости кольцеобразных гармоник колебаний в рамках сферической конфигурации показано, что темп неустойчивости однокольцевой гармоники больше, чем двухкольцевой во всех значениях параметров вращения Ω и степени нестационарности $(2T/|U|)_0$ модели.

6. Выявлено, что параметр вращения радиально-нелинейно колеблющихся моделей дисковой и сферической конфигураций играет дестабилизирующую роль в процессе их гравитационной неустойчивости относительно кольцевых гармоник.

7. Установлено, что радиально нелинейно пульсирующий диск явно более неустойчив по отношению к кольцевым гармоникам колебаний, чем сферическая конфигурация.

**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

MANNAPOVA KAMOLA ALIMDJANOVNA

**NON-RADIAL NONLINEAR OSCILLATIONS OF A SELF-GRAVITING
DISK TAKEN INTO ACCOUNT FOR HALO**

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/FM969.

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:

Mirtadjieva Karamat Takhirovna

Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Official opponents:

Tadjibaev Ikram Uralbaevich

Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Burkhonov Otabek Anvarjonovich

Candidate of Physics and Mathematical Sciences

Leading organisation:

**Institute of Fundamental and Applied Research under
the “TIAME” National Research University**

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 Phone.: (+99871) 246-02-24).

Abstract of dissertation sent out on “____” _____ 2024 year.

(Registry record № _____ on “____” _____ 2024 year).

S.N. Nuritdinov

Chairman of the scientific council on
award of scientific degrees,
doctor of physics and mathematical sciences

F.T. Shamshiev

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

T.A. Akhunov

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 study aims to compile a “Catalogue of Halos of Disk Galaxies (HDG)” and its statistical analysis, as well as the creation of a theory of nonlinear non-radial oscillations of self-gravitating disks taking into account the halo.

Research objectives:

accumulation and analysis of observation data for the purpose of compiling a HDG catalog

statistical analysis of the first ever HDG catalog of over 100 objects;

search for empirical dependencies of the main physical characteristics of the halo and disk;

classify HDGs based on observation data;

finding a system of matrix differential equations for the evolution of a self-gravitating disk in the presence of a halo and developing a method for its numerical analysis;

obtaining results of numerical calculations of the system of equations for various values of the halo and disk parameters

construction of critical dependencies between the disk and halo parameters

conducting a comparative analysis of nonlinearly radially oscillating spherical and disk configurations with respect to the instabilities of ring-shaped structural harmonics of disturbances.

The object of study is halo and disk galaxies, their theoretical models and observed ring-shaped formations in galaxies.

The scientific novelty of the study is as follows:

For the first time, a catalog containing the physical parameters of the halo and disk of 101 spiral galaxies has been compiled, empirical formulas between these parameters have been found, and a classification of halos has been developed.

For the first time, taking into account the halo of a galaxy, an equation for the evolution of its disk substructure has been obtained, and a method for numerical analysis using the Cauchy problem has been developed;

Taking into account the halo effect at the initial stage of galaxy evolution, critical values of the parameters of the system stabilizing nonlinear nonradial oscillations of the disk have been found.

Non-stationary analogs of dispersion equations for single-ring and two-ring disturbance modes of a nonlinear radially pulsating spherical model have been found.

For the first time, the results of a comparative analysis of the instability of ring disturbance modes against the background of spherical and disk pulsating models have been obtained.

For the first time, characteristic times of the appearance of ring structures in galaxies and critical values of the degree of non-stationarity of radial pulsation models have been found.

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

The compiled HDG catalog was used within the framework of the project F2-FA-F029 - “Physics of gravitational lenses, compact astrophysical objects, and non-stationary disk systems” to determine the physical properties of the halo and disk of spiral galaxies (reference No. 02-09/64 of the Ulugbek Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan dated April 4, 2024). Using catalog data, empirical formulas between the halo and disk parameters were determined.

The found system of equations describing the evolution of a self-gravitating disk in the presence of galactic halos and the developed method for its numerical calculations were used in the project F2-FA-F029 - “Physics of gravitational lenses, compact astrophysical objects and non-stationary search systems”, to study the early stage of the evolution of disk-shaped galaxies (certificate No. 02-09/64 of the Ulugbek Astronomical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan dated April 4, 2024). Application of the obtained results of numerical calculations made it possible to obtain initial critical values for the halo and disk in the early stages of development of disk galaxies, and also classify their halos.

The obtained non-stationary analogs of dispersion equations for studying the problem of the formation of ring galaxies were used in studying the physics of the non-stationary stage of galaxy development, 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 No. 02-09/64 of the Astronomical Institute named after Ulugbek of the Academy of Sciences of Uzbekistan dated April 4, 2024). As a result, the mechanisms and criteria for the origin of ring-shaped structural formations in galaxies were identified.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of references. The total volume of the dissertation is 111 pages.

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

I bo'lim (I часть; Part I)

1. Миртаджиева К.Т., **Маннапова К.А.** “Роль гало в эволюции дисковых подсистем галактик” // Доклады Академии наук Республики Узбекистан, 2018, – № 4. – С. 37-40 (01.00.00. № 7).

2. **Mannapova K.A.**, Mirtadjiyeva K.T. “Analysis of characteristics of the spiral galaxies halo” // Uzbek Journal of Physics, 2019. – № 4 (21) – P.203-209. (01.00.00. № 5).

3. **Mannapova K.A.**, Mirtadjiyeva K.T. “Non-linear non-radial oscillations of the self-gravitating disk taking into account halo” // Uzbek Journal of Physics, 2020. – № 6 (22). – P. 334-338 (01.00.00. № 5).

4. Mirtadjiyeva K.T., **Mannapova K.A.** “Gravitational Instability of Perturbations of a Nonlinear Nonstationary Model of a Disklike System. IV. Formation of Double-ring Structures in Galaxies System. IV. Formation of Double-ring Structures in Galaxies” // Gravitation and Cosmology, 2021. Vol. 27. – № 3. – P. 212-220 (№3; Scopus, IF = 1.2).

5. Mirtadjiyeva K.T., Nuritdinov S.N., **Mannapova K.A.** and Sadibekova T.O. “Instabilities of a nonstationary model of a self-gravitating disk. V. New annular perturbation modes” // Astrophysics, 2022. Vol. 65. – . 2, – P. 247-265 // (№3; Scopus, IF = 0.6).

6. **Mannapova K.A.**, Mirtadjiyeva K.T. “Investigation of the halo effect in the evolution of a non-stationary disk of spiral galaxies” // Open Astronomy, 2023. Vol. 32. – № 1. – P. 2022-2024 (№1. Web of Science, IF=0.935).

II bo'lim (II часть; Part II)

7. Маннапова К.А. Физические свойства гало спиральных галактик и его влияние на колебания диска // Инновационные идеи и технологии, МинВУЗ, 2018. – С. 80-83.

8. Mannapova K.A., Mirtadjiyeva K.T. Nonlinear oscillations of a plane dynamic sytem with the surrounded of the halo / Abstracts of the VII international scientific conference “Modern problems of the applied mathematics and inormation technology – Al-Horezmiy”. – Tashkent, 2018 P.177.

9. Mirtadjiyeva K.T., Mannapova K.A. Analysis of the parameters of the DM Halo around the non-radial oscillating disk // XXXth General Assembly of the International Astronomical Union, 2018.

10. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т., Абдусаминова Г.К. О спиральных гаактиках с известными параметрами гало // Сборник научных трудов конференции НУУз “Улугбековские чтения-4” б., 2019. – В. 34-38.

11. Миртаджиева К.Т., Маннапова К.А. Роль темной материи гало в эволюции нестационарного диска спиральных галактик / Сборник докладов международной конференции CAO РАН “Современная звездная астрономия – 2019. – Крым, 2019. – С. 61.

12. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т., Хошимов Х.А. “Исследование

эффекта гало в эволюции дисковых самогравитирующей системы” // МРНПК “Наука и инновации современных условиях Узбекистана” I часть. Нукус, 2020. – С. 24.

13. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т. Исследования дисковых подсистем галактик с учетом гало: теория и наблюдения / “XXI век интеллектуальной молодёжи” ТРННТК. – Ташкент, 2020. – С. 42-43.

14. Маннапова К.А., Хошимов Х.А. Анализ наблюдательных данных гало дисковых галактик / МРК “Роль одарённых молодёжи в развитии физики”. – Ташкент, 2020. – М., 160-162.

15. Mannapova K.A., Mirtadjieva K.T. Statistical analysis of observational data for spiral galaxies with known halo parameters // Astronomy at the Epoch of Multimessenger Studies. – Moscow, 2021. – P. 379-379.

16. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т. Статистический анализ сводных данных гало темной материи с гало дисковых галактик / Материалы Республиканской конференции “Фундаментально-инновационные исследования в развитии физики и ее перспективы”. – Ташкент, 2022. – С. 123-125.

17. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т. Исследование эффекта гало в эволюции нестационарного диска спиральных галактик / Международная конференция “Современная звездная астрономия – 2022”. Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ, 2022. – С. 89.

18. Миртаджиева К.Т., Маннапова К.А. Математическое моделирование формирования кольцеобразных систем во Вселенной / Узбекско-Малазийская международная конференция “Computational models and technologies”. – Ташкент, 2022. – С. 130.

19. Mannapova K.A., Mirtadjieva K.T. Influence of the halo on the evolution of the disk galaxies / International scientific conference of young scientists “Science and innovation – 2022”. – Tashkent, 2022. – P. 307-308.

20. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т. К вопросу проблемы неустойчивости нелинейно нерадиального колебания плоской подсистемы галактик при наличии гало / “Fizika fanining rivojida iste’dodli yoshlarning o’rni RIAK – XVI” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. – Toshkent, 2023. – B. 41-44.

21. Mannapova K.A., Mirtadjieva K.T. Nonlinear nonradial oscillations self-gravitating disk with accounting halo / “Fan va ta’lim integratsiyalashuvida barqaror rivojlanish maqsadlari” mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. – Toshkent, 2023. – B. 73-79.

22. Маннапова К.А., Миртаджиева К.Т. Статистический анализ наблюдательных данных гало дисковых галактик / Сборник докладов Международной конференции “Современная звездная астрономия – 2023”. – Волгоград, 2023. – С. 61.

23. Mannapova K.A., Mirtadjieva K.T. Investigations of physical parameters of galaxy disk subsystems / Халқаро олимпиада конференцияси. Фанлар академияси. – Тошкент, 2023. – Б. 56-61.

Avtoreferat matni O'zbekiston Milliy universiteti "O'zMU Xabarlari" ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib, o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o'zaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 2,75. Adadi 100 dona. Buyurtma № 45/24.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko'chasi, 83-uy