

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

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

G‘ANIYEV JAXONGIR MALIKOVICH

**DISKSIMON O‘ZGRAVITATSIYALANUVCHI SISTEMALARDA
MAYDA MASSHTABLI TEBRANISH MODALARI VA ULARNING
BEQARORLIGI MASALALARI**

01.03.02 – Kosmos fizikasi va astrofizika

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

Toshkent – 2025

**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**

G‘aniyev Jaxongir Malikovich

Disksimon o‘zgravitatsiyalanuvchi sistemalarda mayda masshtabli tebranish modalari va ularning beqarorligi masalalari 3

Ганиев Жахонгир Маликович

Мелкомасштабные моды колебаний в дискообразных самогравитирующих системах и вопросы их неустойчивостей 19

Ganiev Jakhongir Malikovich

Small-scale oscillation modes in disk-like self-gravitating systems and their instability issues 35

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 39

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

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

G‘ANIYEV JAXONGIR MALIKOVICH

**DISKSIMON O‘ZGRAVITATSIYALANUVCHI SISTEMALARDA
MAYDA MASSHTABLI TEBRANISH MODALARI VA ULARNING
BEQARORLIGI MASALALARI**

01.03.02 – Kosmos fizikasi va astrofizika

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

Toshkent – 2025

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar Vazirlar huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.PhD/FM1151 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya 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:

Atamuratov Farruh Shuxratovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

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

Yetakchi tashkilot:

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

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi DSc.03/05.05.2023.FM.01.18 raqamli Ilmiy kengashning 20__-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 20__-yil "____" _____ kuni tarqatildi
(20__-yil "____" _____ dagi ____ raqamli reestr bayonnomasi).

K.T.Mirtadjiyeva

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

F.O'.Botirov

Ilmiy daraja beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
fiz.-mat. fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

I.U.Tadjibayev

Ilmiy daraja beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
fizika-matematika fanlari doktori, professor

KIRISH

(falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda o'zgravitatsiyalanuvchi disksimon sistemalarning gravitatsion beqarorliklariga doir olib borilayotgan ilmiy-amaliy tadqiqotlar natijalarini zamonaviy astrofizikada qo'llash yetakchi o'rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida disksimon sistemalarning mayda masshtabli tebranishlarning roli nafaqat statsionar, balki nostatsionar modellar fonida hali hech kim tomonidan o'rganilmagan. Bu o'z navbatida, disksimon sistemalarning nochiziqli nostatsionar modellari fonida mayda masshtabli beqarorliklar tabiatini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar olib borishni va olingan natijalarni kuzatuv ma'lumotlariga joriy etishni taqozo etadi. Zamonaviy kuzatuv ma'lumotlari, disksimon galaktikalarda, shu jumladan, bizning Galaktikamizda ham gigant molekulyar bulutlar (GMB), yulduzlarning tarqoq to'dalari (YuTT) va spiral tarmoqlar kabi turli xil mayda masshtabli tuzilmalarga ega ekanligini ko'rsatadi. Shu jihatdan, ushbu obyektlarning vujudga kelish mexanizmlarini mayda masshtabli tebranish modalarining gravitatsion beqarorliklari asosida o'rganish Galaktikamiz diskining shakllanish bosqichlarini tadqiq qilishda foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning gravitatsion beqarorliklari asosan, tezlik diagrammasi izotrop bo'lgan turli xil statsionar modellar fonida yoki kuchli kompyuterlar yordamida sonli tajribalar (ST) orqali o'rganishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning gorizontal hamda vertikal yo'nalishlaridagi mayda masshtabli beqarorliklarini tezliklar diagrammasi anizotrop bo'lgan kollapslanuvchi yoki pulsatsiyalanuvchi nochiziqli nostatsionar holdagi modellar fonida o'rganish va natijalarini Galaktikamizning tekislik tashkil etuvchi qismi obyektlari sistemasining vujudga kelish nazariyasini ishlab chiqishga tadbiriq etishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda bugungi kunda fundamental fanlarni, ayniqsa, zamonaviy astrofizikaning dolzarb yo'nalishlarini rivojlantirish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. So'nggi yillarda ham statsionar, ham nostatsionar modellar fonida katta masshtabli tebranish modalarining konkret qiymatlari uchun gravitatsion beqarorliklar yaxshi o'rganildi. 2022-2026-yillarda yangi O'zbekistonni rivojlantirishning taraqqiyot strategiyasi¹ bilan bog'liq fundamental tadqiqotlar yo'nalishlarida mamlakatimiz ilm-fanini rivojlantirish bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarini amalga oshirish, jumladan, kosmik tadqiqotlar va texnologiyalarni rivojlantirish, xalqaro standartlar darajasida ilmiy tadqiqotlar olib borishdan iborat. Bu vazifalarni amalga oshirishda, o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning mayda masshtabli beqarorliklarini nochiziqli nostatsionar modellar fonida o'rganish, Galaktikamiz

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

diskining mayda masshtabli tarkibiy tuzilmalari vujudga kelishining noxiziqli nostatsionar nazariyasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktyabrdagi PF-6097-son "Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi Farmonida, 2018-yil 12-fevraldagi F-5209-son "O'zbekiston Respublikasida kosmik tadqiqotlar va texnologiyalarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmoyishi va O'zbekiston Respublikasi Prezidenti tomonidan 2019-yil 29-oktyabrda qabul qilingan O'RQ-576-sonli "Ilm-fan va ilmiy faoliyat to'g'risida"gi qonuni hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurs tejamkorligi" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi². Hozirgi vaqtda disksimon sistemalar tarkibiy tuzilmalari shakllanishini tushuntiruvchi turli xil modellashirish usullari mavjud. Ularning orasida, ayniqsa, sonli modellashirish usullari alohida ahamiyatga ega. Masalan, TNG Illustris³ loyihasi kosmologik simulyatsiyalarning eng yirik zamonaviy to'plami bo'lib, galaktikalar va ular sistemalari shakllanishini tadqiq etishga qaratilgan. Shu bilan birga, bugungi kunda dunyoning ko'plab yetakchi olimlari tomonidan o'zgravitatsion sistemalar beqarorliklari statsionar modellar fonida o'rganilmoqda. Bunday tadqiqotlarga misol qilib, turli xil statsionar modellar fonida o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning katta masshtabli strukturalari beqarorliklari o'rganilgan J.Binney va S.Tremainening⁴ ishlarini keltirish mumkin. A.J.Kalnajs esa turli xil katta masshtabli tebranish modalari to'plamini aylanuvchi statsionar modellar fonida tadqiq qilgan. Bundan tashqari, amerikalik olimlardan J.A.Sellwood, R.G.Karlberg, A.Tumre, D.B.Sanders, N.Z.Skoville, P.M.Solomon, chililik G.Bertin, G.Lodato, yapon olimlaridan Sh.Inoue, T.Takagi, A.Miyazaki, fransuzlar A.R.Pettit, J.V.Vadsley, rus olimlaridan G.S.Bisnovatiy-Kogan, Ya.B.Zeldovich, A.G.Morozov, A.V.Xopepskov, A.M.Fridman, V.L.Polyachenko va boshqa olimlar tadqiqotlarini alohida ta'kidlash lozim.

Shu bilan birga, YuTT kuzatuv ma'lumotlarini to'plash bo'yicha G.Lynga, V.S.Dias, B.S.Alessi, A.L.Tadross, N.V.Xarchenko, A.E.Piskunov, Sidney van den Berg, M.L.Goja, T.V.Borkova, V.A.Marsakov va boshqa olimlar tomonidan katta hajmdagi tadqiqotlar amalga oshirilgan. Biroq ushbu kuzatuv ma'lumotlari YuTT larning alohida parametrlari uchun tuzilgan bo'lib, ularning asosiy fizik

² Dissertatsiya mavzusiga oid xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi quyidagi manbalar asosida tuzilgan // <http://adsabs.harvard.edu/abstractservice.html>, www.nature.com, <http://www.univie.ac.at/webda>.

³ **IllustrisTNG** (The Next Generation Illustris) – bu Koinotning haqiqiy hajmida galaktikalar shakllanishi va evolyutsiyasini o'rganuvchi zamonaviy magnetogidrodinamik kosmologik simulyatsiyalar to'plami (<https://www.tng-project.org>).

⁴ Binney J., Tremaine S., Galactic Dynamics: Second Edition, ISBN 978-0-691-13026-2 (HB). – Princeton, NJ USA: Princeton University Press, 2008.

parametrlarini o'zida jamlagan maxsus katalog va uning statistik tahlili o'tkazilmagan.

Respublikamizda, xususan, O'zbekiston Milliy universitetida ham o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning o'ziga xos maxsus turlarining nochiziqli dinamikasi tadqiqotlari S.N.Nuritdinov va K.T.Mirtadjiyevalar tomonidan olib borilgan.

Ushbu tadqiqotlar natijasida galaktikalar evolyutsiyasining nochiziqli nostatsionar bosqichlarining aniq fazaviy modellari^{5,6} yaratilgan va ko'plab chet-ellik hamkorlari bilan birgalikda disksimon hamda sferik sistemalar modellari fonida katta masshtabli strukturalar evolyutsiyasi muammolarini konkret tebranish modalari asosida tadqiq qilingan. Olingan nazariy natijalar AQSh, Koreya va Hindiston olimlarining ST lari orqali tasdiqlangan. Ammo, disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning ham izotrop ham anizotrop tezlik diagrammasiga ega bo'lgan dinamik modellarining beqarorliklari tadqiqotlari mayda masshtabli tebranish modalari uchun umuman amalga oshirilmagan.

Dissertatsiya mavzusi va dissertatsiya olib borilayotgan oliy o'quv yurtining ilmiy-tadqiqot ishlari o'rtasidagi bog'liqligi. Tadqiqotlar O'zbekiston Milliy universitetining F2-13 – “O'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar evolyutsiyasining nochiziqli nostatsionar bosqichlarida ularning gravitatsion beqarorliklari va mavjud rezonans holatlarini hisobga olgan holdagi fazaviy qorishishi” va FZ-2020092851 – “Turli geometriyaga ega bo'lgan o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar pulsatsiyasi fonida mayda masshtabli tebranishlar beqarorliklari fizikasi” fundamental loyihalari kalendar rejalariga muvofiq amalga oshirilgan.

Tadqiqotning maqsadi anizotrop tezlik diagrammasiga ega bo'lgan, nochiziqli nostatsionar disksimon modellar fonida mayda masshtabli ham gorizontall ham vertikal tebranishlarni tadqiq qilish, Galaktikamiz YuTT va GMB larining asosiy fizik xususiyatlari orasidagi empirik munosabatlarni topish, YuTT larning fizik xususiyatlari asosida klassifikatsiyalarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

anizotrop tezliklar diagrammasiga ega bo'lgan disksimon o'zgravitatsiyalanuvchi sistemalar uchun yangi nochiziqli nostatsionar tuzilma modelni qurish va uning fonida nostatsionar dispersion tenglamalarni (NDT) olish;

NDT lar yordamida gorizontall va vertikal tebranishlar gravitatsion beqarorliklarini azimutall hamda radial to'liq sonlarining turli xil mayda masshtabli qiymatlari uchun tadqiq qilish;

modellar fizik parametrlari orasida kritik bog'lanish diagrammalarini tuzish va beqarorlik inkrementlarini hisoblash, Galaktikamiz mayda masshtabli tarkibiy tuzilmalari kelib chiqishi nazariyasini tushuntirib berishi mumkin bo'lgan boshlang'ich shartlarni topish;

⁵ Нуритдинов С.Н., Нелинейные волны и колебания в самогравитирующих дискообразных системах. – Ташкент, 2023. – 163 с.

⁶ Миртаджиева К.Т., Нелинейная теория формирования основных структурных образований в дискообразных галактиках // Автореф. док. диссер. – Ташкент, 2016.

GMB va YuTT lar maxsus kataloglarining statistik tahlillarini amalga oshirish, ularning asosiy fizik parametrlari orasidagi empirik bog‘lanishlarni izlash YuTT larning fizik parametrlari asosida ularning klassifikatsiyasini ishlab chiqish.

Tadqiqot obyekti GMB lar, YuTT lar va mayda masshtabli tebranish modalari hamda nochiziqli nostasionar pulsatsiyalanuvchi modellar hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti mayda masshtabli g‘alayon modalari beqarorliklari xususiyatlarini o‘zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning nostatsionar modellari fonida aniqlash, YuTT lar sistemasi vujudga kelish jarayonlari va mexanizmlari.

Tadqiqot usullari. Tadqiqotda statistik bog‘lanishlarni topish uchun eng kichik kvadratlar usuli, shuningdek, differensial tenglamalar sistemasini yechishning analitik va sonli usullari qo‘llanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

birinchi bor nochiziqli nostatsionar kollapslanuvchi disksimon modellar gravitatsion beqarorliklari mayda masshtabli gorizontal va vertikal tebranish modalari uchun hisoblangan;

ilk bor ushbu olingan natijalar asosida Galaktikamiz YuTT lari sistemasining shakllanishiga olib kelishi mumkin bo‘lgan boshlang‘ich shartlar kollapslanish tempini xarakterlovchi virial parametrga bog‘liq holda aniqlangan;

yangi anizotrop tezlik diagrammasiga ega bo‘lgan disksimon o‘zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning nochiziqli nostatsionar tuzilma modeli qurildi va unung yordamida qator NDT lar topilgan;

birinchi marotaba YuTT va GMB lar kuzatuv ma’lumotlari statistik tahlillari asosida ularning alohida asosiy fizik xarakteristikalarini orasidagi o‘zaro empirik bog‘lanishlar topildi, YuTT larning asosiy fizik parametrlari yordamida ularni sinflashtirish amalga oshirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

xalqaro ma’lumotlar bazalari va boshqa mualliflarning Internet saytlaridagi maqolalari tahlililaridan GMB larning 1436 va YuTT larning 1135 ta obyektidan iborat maxsus kataloglari tuzilgan;

GMB lar va YuTT larning alohida fizik xarakteristikalarini orasida o‘zaro empirik bog‘lanish formulalari topildi. YuTT larning asosiy fizik xarakteristikalarini uchun ularning klassifikatsiyasi ishlab chiqilgan;

mayda masshtabli 28 ta gorizontal va 6 ta vertikal tebranish modalarining gravitatsion beqarorliklari nostatsionar disksimon kollapslanuvchi modellar fonida hisoblangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligini tasdiqlash uchun dissertatsiyada kuzatuv ma’lumotlarini statistik tahlil qilishning eng so‘nggi va tasdiqlangan usullaridan foydalanilgan. Shu bilan birga, yuqori aniqlikdagi hisoblash usullari, matematik tahlil va statistika metodlari qo‘llanilgan. Bu o‘z navbatida, disksimon sistemalar gravitatsion beqarorliklari hisob-kitoblarini va GMB lar hamda YuTT lar statistik tadqiqotlarini amalga oshirish natijasida olingan ma’lumotlarning ishonchliligini ta’minlaydi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Dissertatsiyaning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, disksimon sistemalarda mayda masshtabli tebranish

modalari beqarorliklari tadqiqotidan olingan natijalar Galaktikamiz YuTT sistemasi vujudga kelishining nohiziqli nazariyasini yaratishga imkon beradi, bundan tashqari, tuzilgan YuTT lar katalogi va uning statistik tahlili natijalari ularning klassifikatsiyasi muammolarini hal etish uchun asos bo'lishi bilan izohlanadi.

Ushbu dissertatsiyaning amaliy tadqiqotlari, kuzatuvlar natijasida topilgan yangi YuTT larga qo'llash va ularning noma'lum fizik xususiyatlarini aniqlashda hamda yangi tuzilayotgan nohiziqli nostasionar disksimon modellar uchun qo'llanilishi mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Mayda masshtabli tebranish modalarining gravitatsion beqarorliklari tadqiqotlari va Galaktikamiz diski asosiy obyektlari kuzatuv ma'lumotlarining statistik tahlillari bo'yicha olingan natijalar asosida:

yangi qurilgan nohiziqli nostatsionar tuzilma model asosida olingan natijalardan neytron yulduzlar atrofidagi g'alayonlarni tadqiq qilishda foydalanilgan (O'zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasining 2025-yil 29-maydagi 2/1255-1318 sonli ma'lumotnomasi). Natijada neytron yulduzlar atrofidagi vertikal g'alayonlarnig mexanizmlarini aniqlashga erishilgan;

nostatsionar disksimon kollapslanuvchi model yordamida hisoblangan mayda masshtabli gorizontal tebranish modalarining natijalaridan neytron yulduzlar sirtidagi g'alayonlarni tahlil qilishda foydalanilgan (O'zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasining 2025-yil 29-maydagi 2/1255-1318 sonli ma'lumotnomasi). Ushbu natijalarning qo'llanilishi neytron yulduzlarning sirtida kuzatiluvchi tebranishlar tabiatini tadqiq qilishga imkon bergan;

tuzilgan YuTT va GMB lar kataloglari asosida olingan empirik bog'lanishlarni aniqlash usullari hamda ularni sinflashtirish natijalaridan, neytron yulduzlar fizik parametrlari orasidagi fizik bog'lanishlarni aniqlashda foydalanilgan (O'zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasining 2025-yil 29-maydagi 2/1255-1318 sonli ma'lumotnomasi). Natijada neytron yulduzlarning fizik parametrlari orasidagi empirik bog'lanishlar topilgan va ularni sinflashtirish amalga oshirilgan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 9 ta xalqaro va 12 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan hamda muhokamadan o'tkazilgan. Natijalar O'zbekiston Milliy universiteti "Astrofizik tadqiqotlar" ilmiy laboratoriyasi bilan hamkorlikda "Yadro fizikasi va Astronomiya" kafedrası seminarlarida, fizika fakulteti ilmiy seminarlarida muhokama qilindi.

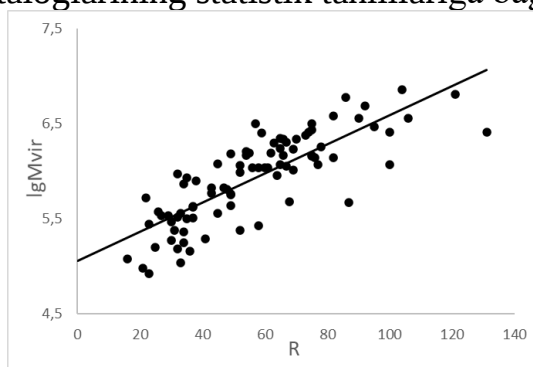
Tadqiqot natijalarini e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari 30 ta ilmiy ishlarda, jumladan, 9 ta ilmiy maqolalarda, shundan 4 tasi Scopus bazasidagi jurnallarda va 5 ta O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda nashr qilingan.

Dissertatsiya hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning asosiy hajmi ilovalardan tashqari 109 betni tashkil etadi.

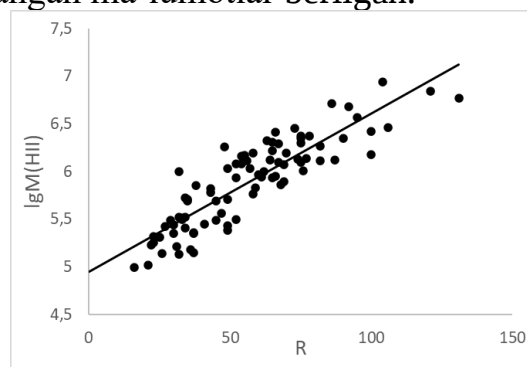
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

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, muammoning 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 aprotatsiyasi va dissertatsiyaning tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishining **“O'zgravitatsiyalanuvchi sistemalarda mayda masshtabli tarkibiy tuzilmalar”** deb nomlangan birinchi bobida tadqiq etilayotgan mavzu bo'yicha kuzatuv ma'lumotlari hamda nazariy tadqiqotlar bo'yicha keng ko'lamli adabiyotlar tahlili va Somon Yo'li YuTT lar hamda GMB lar maxsus kataloglarining statistik tahlillariga bag'ishlangan ma'lumotlar berilgan.



1-rasm. GMB radiusi (R) va logarifmik virial massasi (lgMvir) orasidagi bog'lanish.



2-rasm. GMB radiusi (R) va vodorod molekulasi logarifmik massasi (lgM(HII)) orasidagi bog'lanish.

GMB larning fizik parametrlari orasidagi korrelyatsiya koeffitsiyentlariga ko'ra, ularning empirik formulalari va o'zaro bog'lanish grafiklari tuzilgan.

GMB chiziqli radiusi bilan ularning logarifmik virial massasi (1-rasm) orasida chiziqli bog'lanish mavjud bo'lib, korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.81 ga, tegishli empirik formula esa:

$$R = -194.74(\pm 20.02) + 42.42(\pm 3.37) \lg M_{\text{vir}} \quad (1)$$

GMB chiziqli radiusi bilan ularning tarkibidagi molekulyar vodorodning logarifmik massasi (2-rasm) orasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.88 ga teng bo'lib, empirik formula quyidagi ko'rinishda:

$$R = -218.88(\pm 15.70) + 46.76(\pm 2.66) \lg M(\text{HII}) \quad (2)$$

GMB spektrining yarim maksimumiga to'g'ri keluvchi tezlik (SYM TKT) va chiziqli radiusi orasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.69 ga tengligi hamda tegishli empirik formulasi

$$DV = 2.19(\pm 0.07) + 0.10(\pm 0.003) R \quad (3)$$

ekanligi topilgan.

GMB SYMTKT va logarifmik virial massa orasida chiziqli bog‘lanish mavjud bo‘lib, korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.59 ga teng hamda empirik formula quyidagicha ko‘rinishga ega:

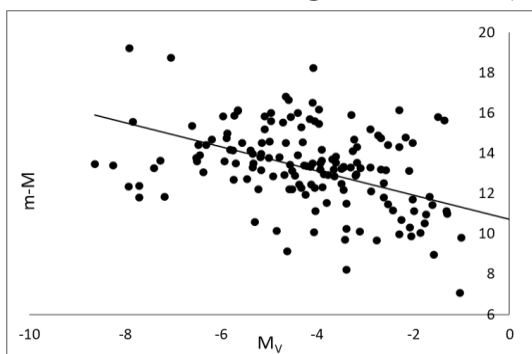
$$DV = -2.67(\pm 0.28) + 1.43(\pm 0.06) \lg M_{\text{vir}} \quad (4)$$

GMB SYMTKT bilan molekulyar vodorodning logarifmik massasi orasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.76 ga teng bo‘lib, tegishli empirik formula esa quyidagicha topilgan.

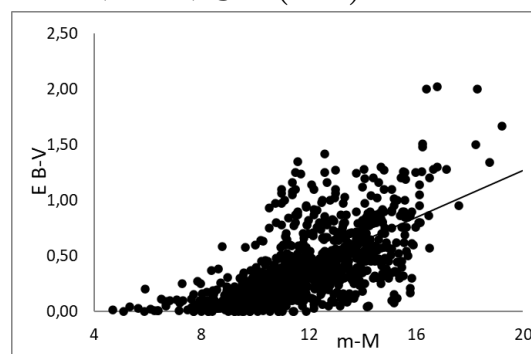
$$DV = -22.735(\pm 3.04) + 5.46(\pm 0.51) \lg M(HII) \quad (5)$$

GMB larning virial massa hamda molekulyar vodorodning logarifmik massasi orasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.89 ga, empirik formulaning ko‘rinishi esa:

$$\lg M_{\text{vir}} = 0.65(\pm 0.29) + 0.89(\pm 0.05) \lg M(HII) \quad (6)$$



3-rasm. YuTT larning masofa moduli va absolyut yulduz kattaligi o‘rtasidagi bog‘lanish.



4-rasm. To‘dalarning modul masofasi va rang orttirmasi o‘rtasidagi bog‘lanish.

YuTT larning maxsus katalogida berilgan ma’lumotlar tahlillariga ko‘ra ularning masofa moduli va absolyut yulduz kattaligi (3-rasm) o‘rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyenti -0.50 ga teng ekanligi aniqlangan hamda empirik bog‘lanish formulasi quyidagi ko‘rinishda topilgan.

$$(m - M) = 10.80(\pm 0.36) - 0.58(\pm 0.08) M_V \quad (7)$$

YuTT larning rang orttirmasi va masofa moduli (4-rasm) o‘rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.66 ga teng, mos empirik bog‘lanish formulasi esa:

$$E(B - V) = -0.78(\pm 0.04) + 0.10(\pm 0.004)(m - M) \quad (8)$$

YuTT larning logarifmik yoshi va absolyut yulduz kattaligi orasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.50 hamda ularning chiziqli diametri va massasi o‘rtasida korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.51 ga tengligi aniqlandi. Empirik bog‘lanish formulalari mos ravshda quyidagi ko‘rinishlarga ega.

$$\lg t = 9.17(\pm 0.17) + 0.25(\pm 0.04) M_V \quad (9)$$

$$M_S = -269.72(\pm 146.36) + 242.27(\pm 18.26) R \quad (10)$$

YuTT Galaktika markazidan uzoqligi bilan chiziqli diametrlari o‘rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.60 ga teng. Empirik bog‘lanish formulalari esa:

$$R_{GC} = 7.55(\pm 0.08) + 7.06 \cdot 10^{-3} (\pm 3.13 \cdot 10^{-5}) D \quad (11)$$

Bundan tashqari, YuTT larning klassifikatsiyasi ularning massasi, absolyut yulduz kattaligi va metalliligi kabi asosiy fizik parametrlari asosida amalga

oshirilgan. Masalan, YuTT larning massasi bo'yicha klassifikatsiyasidan to'da massalari qanchalik kichik bo'lsa, ularning o'lchami va absolyut yulduz kattaligi ham kichik, yoshi esa shunchalik katta bo'lishi ko'rsatilgan (1-jadval). YuTT larning massasi bo'yicha klassifikatsiyasidan, ularning kambag'al va qari sinfiga kiruvchilari soni qolganlariga nisbatan ko'proq ekanligini ko'rishimiz mumkin.

1-jadval. YuTT larning massasi bo'yicha klassifikatsiyasi.

Sinf nomi	<M _C >	<lg t>	<R (pc)>	<M _v >	N
Eng kambag'al va eng qari	<100	8,6	3,48	-1,9325	89
Kambog'al va qari	101 ÷ 500	8,3	4,85	-3,7	210
Boy va yosh	501 ÷ 1000	7,96	6,06	-4,73	87
Eng boy va juda yosh	1000<	7,71	11,1	-4,85	151

Shu bilan birga, ushbu dissertatsiya ishini bajarish davomida qurilgan o'zgravitatsiyalanuvchi disksimon sistemalar evolyutsiyasi erta bosqichlarini tadqiq qiluvchi nohiziqli nostatsionar tuzilma modelni ishlab chiqish metodi keltirilgan. Disk evolyutsiyasini ifodalovchi nohiziqli nostatsionar modellar tanlab olingan:

$$\Psi_I(r, v_r, v_\perp, t) = \frac{\sigma_0}{2\pi \Pi \sqrt{1-\Omega^2}} \left[\frac{1-\Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_c)^2 \right]^{-1/2} \chi(\Pi - r), \quad (12)$$

$$\Psi_A = \frac{\sigma_0}{\pi} [1 + \Omega(xv_y - yv_x)] \chi((1 - r^2 / \Pi^2)(1 - \Pi^2 v_\perp^2) - \Pi^2 (v_r - v_a)^2). \quad (13)$$

Ham izotrop ham anizotrop modellarning gravitatsion beqarorliklarini o'rganish maqsadida, og'irlik funksiyasini

$$\rho(\Omega) = \frac{8}{3\pi} \Omega^4 (1 - \Omega^2)^{-1/2} \quad (14)$$

ko'rinishda olib, yangi anizotrop tuzilma medel hosil qilingan.

$$\Psi_{Tuzilma}(r, v_r, v_\perp, t, \nu) = \nu \cdot \frac{\sigma_0}{2\pi \Pi \sqrt{1-\Omega^2}} \left[\frac{1-\Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_b)^2 \right]^{-1/2} \cdot \chi(R - r) + (1 - \nu) \cdot \frac{8\sigma_0}{3\pi} \left[\frac{1}{2\sqrt{(rv_\perp + 1)^2 - k}} - (r^2 v_\perp^2 + 1) \right] \chi(k). \quad (15)$$

Ushbu tuzilma medelning NDT si olinib, qator mayda masshtabli tebranish modalari tadqiq qilingan.

“To'liq sonlarining fiksirlangan qiymatlarida gorizontal mayda masshtabli modalarni hisoblash” nomli ikkinchi bobda nohiziqli nostatsionar model (13)ning NDT si yordamida azimutal **m** hamda radial **N** to'liq sonlarining fiksirlangan qiymatlari ($m = 0$ va $N=10; 14; 18; 22$, $m=2$ va $N=12; 14; 16; 18; 20; 22$, $N=10$ va $m=2; 4; 6; 8$, $N=20$ va $m=12; 14; 16$) uchun mayda masshtabli modalarning gravitatsion beqarorliklari hisob-kitoblari keltirilgan.

Qaralayotgan NDT ko'rinishi quyidagicha:

$$a_A(\psi) = \frac{4}{N(N^2 - 1)\Pi^3} \gamma_{Nm} (N-1)(N^2 + N - m^2) \overline{D}_N + i\Omega m(N^2 + N - m^2 - 1) d_N \quad (16)$$

bu yerda $\gamma_N^m = \frac{(N+m-1)!!(N-m-1)!!}{(N+m)!!(N-m)!!}$, $\overline{D}_N = \int_{-\infty}^{\psi} E W^{N-1} \frac{dP_N}{d(\cosh)} d\psi_1$, $d_N = \int_{-\infty}^{\psi} E I_N d\psi_1$,

$$E = \Pi^3(\psi_1) S(\psi, \psi_1) a(\psi_1), \quad I_N = W^{N-1} \left[\frac{1}{N+2} \frac{d^2 P_{N+1}}{d(\cosh)^2} - \frac{P_N}{d(\cosh)} \right] \text{tgh}, \quad W = \frac{1 + \lambda \cos \psi_1}{1 + \lambda \cos \psi},$$

$$P_N(\cosh) - \text{Legandr polinomi}, \quad \cosh = \frac{(\cos \psi + \lambda)(\cos \psi_1 + \lambda) + (1 - \lambda^2) \sin \psi \sin \psi_1}{(1 + \lambda \cos \psi)(1 + \lambda \cos \psi_1)}.$$

(16) tenglama yordamida berilgan mayda masshtabli tebranish modalari uchun alohida NDT lar olingan, hisob-kitob natijalari asosida ularning kritik diagrammalari tuzilgan. Masalan, biz o'rgangan mayda masshtabli tebranish modalarining fiksirlangan $m=0$ qiymatida N ning eng katta qiymati $N=22$ ga to'g'ri keladi va ushbu hol uchun NDT quyidagicha ko'rinishga ega:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{21-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{42}} \times K_{0;22}(\psi). \quad (17)$$

Bu yerda $\ell_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{0;22}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{21-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, τ indeks $\tau=0$ dan $\tau=21$ gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi, bu yerda va keyingi hollarda λ – diskning pulsatsiya amplitudasini anglatadi.

m ning fiksirlangan qiymatida, $m=2; N=22$ tebranish modasi eng katta hisoblanadi va ushbu hol uchun NDT quyidagicha:

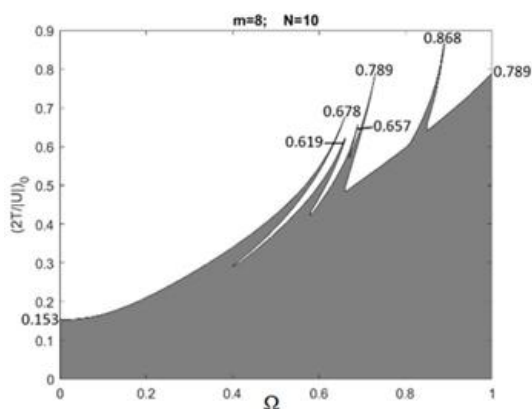
$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{21-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{42}} \times K_{2;22}(\psi), \quad (18)$$

bu yerda $\ell_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{2;22}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{21-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, indeks $\tau = \overline{0;21}$ oraliqdagi qiymatlarni qabul qiladi.

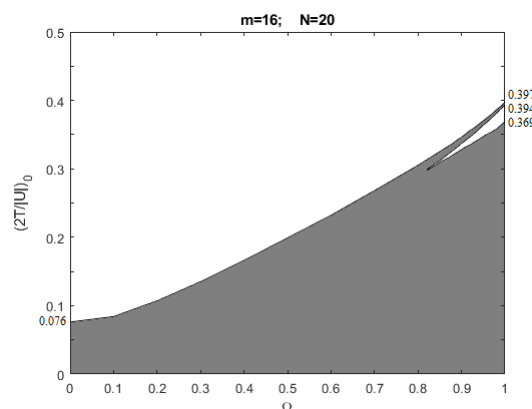
Radial to'lqin sonining fiksirlangan $N=10$ qiymati uchun eng katta tebranish modasi $m=8; N=10$ (5-rasm) hisoblanadi va uning NDT si quyidagicha:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{9-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{18}} \times K_{8;10}(\psi). \quad (19)$$

Bu yerda $\ell_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{8;10}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{9-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0;9}$.



5-rasm. $m=8; N=10$ tebranish modasi uchun kritik bog'lanish diagrammasi.



6-rasm. $m=16; N=20$ tebranish modasi uchun kritik bog'lanish diagrammasi.

Fiksirlangan radial to‘lqin soni $N=20$ uchun $m=16$; $N=20$ (6-rasm) holi eng katta qiymat hisoblanadi va ushbu holatda NDT ning ko‘rinishi quyidagicha:

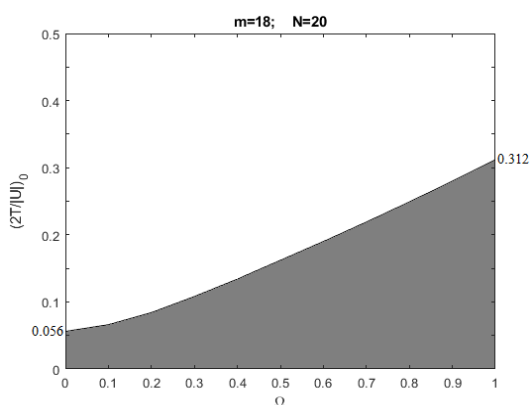
$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{19-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{38}} \times K_{16;20}(\psi), \quad (20)$$

bu yerda $l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{16;20}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{19-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$,
 $\tau = \overline{0;19}$.

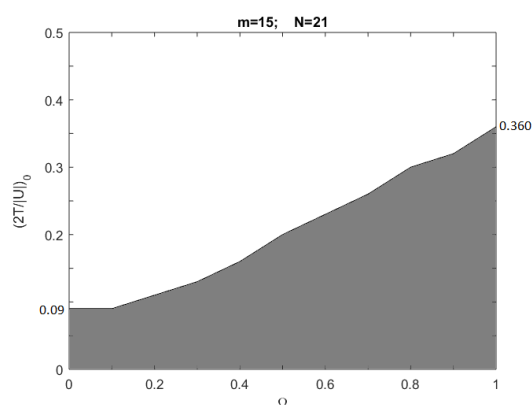
5 va 6 rasmlarda radial to‘lqin sonlarining fiksirlangan qiymatlari uchun kritik diagrammalar berilgan. Ushbu hollarda N qiymati ortishi beqarorlik sohasining kamayishiga olib keladi.

Azimutal to‘lqin sonining $m=0$ holida aylanish parametri Ω ning qiymati ortishi beqarorlik sohasining o‘zgarishiga olib kelmaydi, $m \neq 0$ hollarda esa Ω ning qiymati ortishi bilan beqarorlik sohalarining ortib borishi aniqlangan. Radial to‘lqin sonining $N < 20$ qiymatlarida barqarorlik orollari aniq kuzatiladi, $N > 20$ qiymatlarida esa bunday sohalar kuzatilmaydi.

“Mayda masshtabli sektoral va tesseral tebranish modalari” nomli uchinchi bobda to‘lqin sonlarining $(m;N)=(10;11;12;13;14;15)$, $(m;N)=(9;17)$, $(m;N)=(16;18)$, $(m;N)=(18;20)$ va $(m;N) = (15;21)$ qiymatlari uchun NDT (16)ning sonli hisob-kitobi natijalari hamda sektoral bilan tesseral tebranish modalari beqarorlik inkrementlarining o‘zaro solishtirish natijalari keltirilgan.



7-rasm. $m=18; N=20$ tebranish modasi uchun kritik bog‘lanish diagrammasi.



8-rasm. $m=15; N=21$ tebranish modasi uchun kritik bog‘lanish diagrammasi.

$m=N=12$ sektoral tebranish modasi uchun NDT quyidagi ko‘rinishga ega:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{11-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{22}} \times K_{12;12}(\psi), \quad (21)$$

bu yerda $l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{12;12}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{11-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0;11}$.

$m=N=15$ holida esa NDT quyidagi ko‘rinishga ega:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{14-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{28}} \times K_{15;15}(\psi), \quad (22)$$

bu yerda $l_{\tau}(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{15;15}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{14-\tau} \sin^{\tau} \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0;14}$.

$m=18; N=20$ tebranish modasi uchun NDT:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_{\tau}(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_{\tau}(\psi)}{d\psi} + \ell_{\tau}(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{19-\tau} \sin^{\tau} \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{38}} \times K_{18;20}(\psi), \quad (23)$$

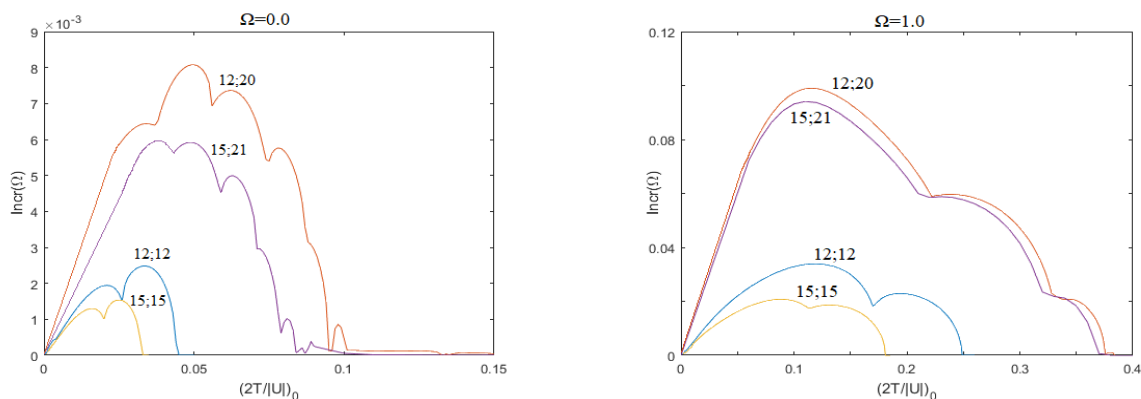
bu yerda $l_{\tau}(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{18;20}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{19-\tau} \sin^{\tau} \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0;19}$.

$m=15; N=21$ holdida esa NDT quyidagi ko‘rinishga ega:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_{\tau}(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_{\tau}(\psi)}{d\psi} + \ell_{\tau}(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{20-\tau} \sin^{\tau} \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{40}} \times K_{15;21}(\psi), \quad (24)$$

bu holda $l_{\tau}(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{15;21}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{20-\tau} \sin^{\tau} \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0;20}$.

7 va 8 rasmlarda tesseral g‘alayonlanish modalarining kritik diagrammalari berilgan bo‘lib, ularda aylanish parametri Ω qiymati ortishi bilan beqarorlik sohasi ham ortib borishi kuzatiladi, mayda masshtablilik darajasining ortishi esa ulardagi beqarorlik sohasini kamaytiradi.



9-rasm. Aylanish parametrining turli xil qiymatlari uchun beqarorlik inkrementlarini solishtirish.

Sektoral va tesseral tebranish modalari beqarorlik inkrementlarini taqqoslashda azimutal to‘lqin soni m ning qiymatiga asosan modalar tanlab olingan (9-rasm). Bundan ko‘rish mumkinki, (12;20) tebranish modasi aylanish parametrining $\Omega=0.0-1.0$ qiymatlarida eng kuchli, undan keyin (15;21), (12;12) va eng zaifi (15;15) modalari joylashgan. Bundan tashqari, sektoral va tesseral tebranish modalari egri chiziqlarning bir-biriga nisbatan ikkita alohida guruhga ajralishini ko‘rishimiz mumkin.

Dissertatsiyaning “**Vertikal tebranishlarni hisoblash va u uchun nostatsionar dispersion tenglamalar**” nomli to‘rtinchi bobida tuzilma modelning (15) NDT sidan foydalanib, $m=0$ va $N=9;13;17;21$ hamda $m=1$ va $N=10;12$ kabi tebranish modalari uchun hisoblangan gravitatsion beqarorliklar natijalari va ularining kritik diagrammalari berilgan. Tuzilma modelning NDT quyidagi ko‘rinishga ega:

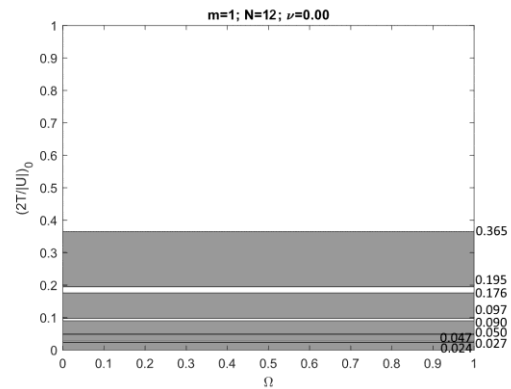
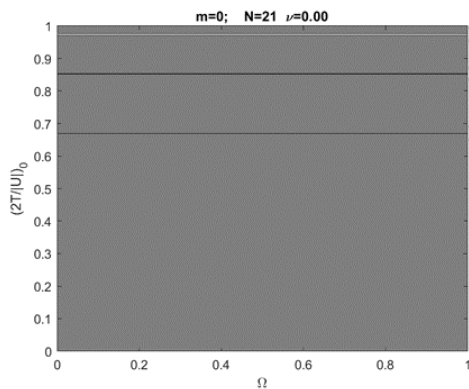
$$\begin{aligned}
& (1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 D}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 2\nu i m \Omega \sqrt{1 - \lambda^2} \right) \frac{dD}{d\psi} + 2 \left[\gamma_N^m - 1 + \nu \frac{m \Omega \sqrt{1 - \lambda^2}}{1 + \lambda \cos \psi} \times \right. \\
& \times \left(i \lambda \sin \psi - \frac{m \Omega \sqrt{1 - \lambda^2}}{2} \right) - \nu \frac{(1 - \Omega^2)(1 - \lambda^2)(N^2 - m^2 + N - 2)}{6(1 + \lambda \cos \psi)} - \\
& \left. - (1 - \nu) \frac{(1 - \lambda^2)(N^2 + N + 14m^2 - 14)}{36(1 + \lambda \cos \psi)} \right] D(\psi) = 0.
\end{aligned} \tag{25}$$

$m=0; N=21$ modasi uchun NDT:

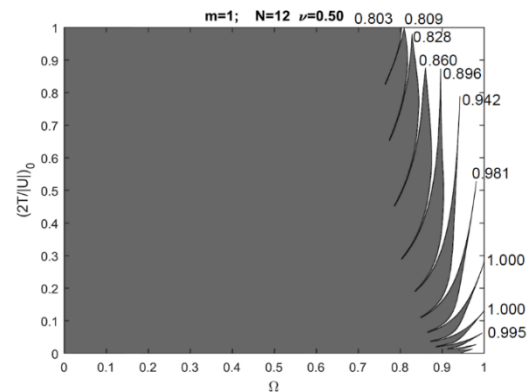
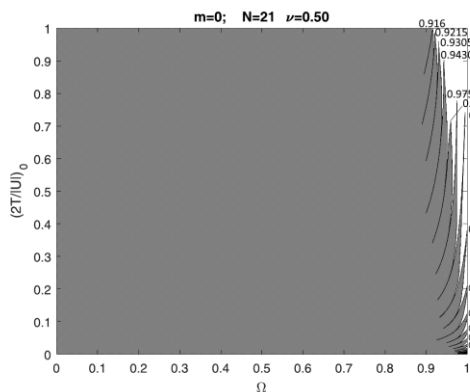
$$\begin{aligned}
& (1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 D}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{dD}{d\psi} + \\
& + \left(25,382 - \frac{460 \nu (1 - \Omega^2)(1 - \lambda^2)}{3(1 + \lambda \cos \psi)} - \frac{230 (1 - \nu)(1 - \lambda^2)}{9(1 + \lambda \cos \psi)} \right) D(\psi) = 0.
\end{aligned} \tag{26}$$

$m=1; N=12$ modasi uchun NDT esa:

$$\begin{aligned}
& (1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 D}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 2\nu i \Omega \sqrt{1 - \lambda^2} \right) \frac{dD}{d\psi} + \left(\frac{1818935}{131072} + \frac{\nu i \Omega \sqrt{1 - \lambda^2} \lambda \sin \psi}{1 + \lambda \cos \psi} - \right. \\
& \left. - \frac{\nu \Omega^2 (1 - \lambda^2)}{2 + \lambda \cos \psi} - \frac{51 \nu (1 - \Omega^2)(1 - \lambda^2)}{(1 + \lambda \cos \psi)} - \frac{78(1 - \nu)(1 - \lambda^2)}{9(1 + \lambda \cos \psi)} \right) D(\psi) = 0.
\end{aligned} \tag{27}$$



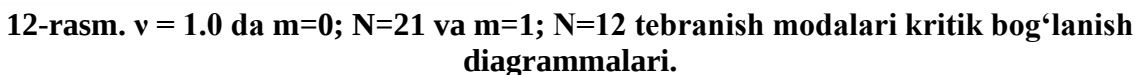
10-rasm. $\nu = 0.0$ da $m=0; N=21$ va $m=1; N=12$ tebranish modalari uchun kritik bog'lanish diagrammalari.



11-rasm. $\nu = 0.5$ da $m=0; N=21$ va $m=1; N=12$ tebranish modalari uchun kritik bog'lanish diagrammalari.

Superpozitsiya parametrining $v=0.5$ qiymati uchun berilgan kritik diagrammalarda ham N ning qiymati ortishi bilan beqarorlik sohasi ham ortishini kuzatishimiz mumkin (11-rasm).

Figure 1 consists of two horizontal bar charts. The left chart is for $m=0$, $N=21$, $\nu=1.00$. It shows a distribution where the probability of 0 non-zero elements is 0.9144 and the probability of 1 non-zero element is 0.0856. The right chart is for $m=1$, $N=12$, $\nu=1.00$. It shows a distribution where the probability of 0 non-zero elements is 0.8535 and the probability of 1 non-zero element is 0.856. Both charts have a y-axis labeled '1' at the top and a x-axis labeled '0' and '1' at the bottom.



XULOSA

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

1. Galaktikamizdagi GMB va YuTT lar bo'yicha maxsus kataloglar tuzildi. Ushbu obyektlarning asosiy fizik parametrlari o'rtasida empirik bog'lanish formulalari keltirib chiqarildi. YuTTlar uchun massa, absolyut yulduz kattaligi va metallilik kabi fizik parametrlarga asoslangan yangi ikki parametrlilik klassifikatsiya ishlab chiqildi.

2. Birinchi marta nochiizikli nostatsionar pulsatsiyalanuvchi anizotrop modellar fonida to'liq sonlarining turli kombinatsiyalarida 28 ta gorizontaal va 6 ta vertikal mayda masshtabli modalarning gravitatsion beqarorliklari hisoblab chiqildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, modaning mayda masshtablilik darajasi (m+N) ortgani sayin, gorizontaal modalar uchun beqarorlik sohasining torayishi, vertikal modalar uchun esa aksincha – kengayishi aniqlandi.

17

Superpozitsiya parametri esa gorizontalar uchun barqarorlashtiruvchi, vertikal modalarda beqarorlashtiruvchi rol o'ynashi topildi.

4. Beqarorlik inkrementlarini solishtirish natijalariga ko'ra, Ω ning barcha qiymatlarida tesseral modalar sektoral modalarga ko'ra nisbatan kuchliroq bo'lishi aniqlandi. Gorizontalar va vertikal modalar inkrementlarini solishtirish natijalariga ko'ra esa, vertikal modalar aylanish parametrining istalgan qiymatlarida gorizontalar modalardan kuchli ekanligi, ya'ni eng kuchli vertikal moda virial nisbatning butun oralig'ida to'liq beqaror, gorizontalar moda esa faqat uning kichik qiymatlarida beqarorlikka ega bo'lishi asoslandi.

5. Birinchi marta, olingan nazariy natijalar yordamida, Galaktikamiz YuTT lar sistemasi shakllanishining boshlang'ich shartlari, kollapslanish tempini ifodalovchi boshlang'ich virial parametrga bog'liq holda aniqlandi.

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

ГАНИЕВ ЖАХОНГИР МАЛИКОВИЧ

**МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ МОДЫ КОЛЕБАНИЙ В ДИСКООБРАЗНЫХ
САМОГРАВИТИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ И ВОПРОСЫ ИХ
НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ**

01.03.02 – Физика космоса и астрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2024.3.PhD/FM1151.

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, профессор Бурхонов Отабек Анваржонович кандидат физико-математических наук, ст. нуч. сотр.
Ведущая организация:	Институт фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета “ТИИИМСХ”

Защита диссертации состоится “_____” _____ 20__ года в _____ часов на заседании Научном совете DSc.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 “_____” _____ 20__ г.
(Реестр протокола рассылки № _____ от “_____” _____ 20__ г.

К.Т.Миртаджиева
Заместитель председателя научного совета
по присуждению ученой степени,
доктор физико-математических наук, профессор

Ф.У.Ботиров
Ученый секретар научного совета
по присуждению ученой степени,
доктор философии (PhD) по физ.-мат. наук

И.У.Таджибаев
Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученой степени,
доктор физико-математических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ

(аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире результаты научно-прикладных исследований по гравитационной неустойчивости самогравитирующих дискообразных систем занимают одно из ведущих направлений в астрофизике. При этом роль мелкомасштабных возмущений в дискообразных системах до настоящего времени в мировом научном сообществе не изучалась ни в стационарных, ни в нестационарных моделях. Это, в свою очередь, требует проведения исследований по изучению природы мелкомасштабных неустойчивостей на фоне нелинейных нестационарных моделей дисковых систем и внедрения полученных результатов в интерпретацию наблюдательных данных. Современные наблюдения свидетельствуют о наличии различных мелкомасштабных структур, таких как гигантские молекулярные облака (ГМО), рассеянные звёздные скопления (РЗС) и спиральные ветви, в дискообразных галактиках, включая наш Млечный Путь. В этом контексте исследование механизмов формирования этих объектов на основе гравитационной неустойчивости мелкомасштабных мод колебаний имеет важное значение для изучения этапов формирования галактического диска.

В мире научные исследования гравитационной неустойчивости дискообразных самогравитирующих систем в основном сосредоточены на стационарных моделях с изотропной скоростной диаграммой либо на основе численных экспериментах (ЧЭ), проводимых с использованием мощных вычислительных ресурсов. Особое внимание уделяется изучению гравитационных неустойчивостей мелкомасштабных горизонтальных и вертикальных мод на фоне коллапсирующих или пульсирующих нелинейных нестационарных моделей с анизотропной диаграммой скоростей, а также применению полученных результатов для разработки теории формирования системы объектов плоской составляющей нашей Галактики.

В настоящее время в нашей Республике реализуются широкомасштабные меры по развитию фундаментальных наук, особенно актуальных направлений современной астрофизики, и уже достигнуты определённые результаты. В последние годы гравитационные неустойчивости для конкретных значений крупномасштабных колебательных мод были хорошо изучены как на фоне стационарных, так и нестационарных моделей. В Стратегии¹ развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены важные задачи по развитию науки в стране в области фундаментальных исследований. Реализация этих задач, в частности, связана с развитием космических исследований и технологий, а также проведением научных исследований на уровне международных стандартов. В этом контексте особую важность приобретает изучение мелкомасштабных неустойчивостей в самогравитирующих системах

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 г. “О Стратегии развития нового Узбекистан на 2022–2026 годы”

на фоне нелинейных нестационарных моделей, а также разработка нелинейной нестационарной теории формирования мелкомасштабных структурных образований в диске нашей Галактики.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени способствует выполнению задач, изложенных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-6097 от 29 октября 2020 года «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года», в Распоряжении Президента Республики Узбекистан № РП-5209 от 12 февраля 2018 года «О мерах по развитию космических исследований и технологий в Республике Узбекистан», в Законе Республики Узбекистан № ЗРУ-576 от 29 октября 2019 года «О науке и научной деятельности», а также в других нормативно-правовых актах, регулирующих данную сферу 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 проблемы². В настоящее время существует множество различных методов моделирования, объясняющих формирование структурных образований в дискообразных системах. Среди них особое значение имеют численные методы моделирования. Например, проект TNG Illustris³ представляет собой один из крупнейших современных наборов космологических симуляций, направленных на изучение формирования галактик и их систем.

Кроме того, в настоящее время ведущие учёные мира исследуют неустойчивости самогравитирующих систем на фоне стационарных моделей. В качестве примера можно привести работы Ж.Бинни и С.Тремейна⁴, посвящённые изучению неустойчивостей крупномасштабных структур самогравитирующих систем в различных стационарных моделях. А.Ж.Калнайс исследовал набор различных крупномасштабных мод колебаний на фоне вращающихся стационарных моделей.

Помимо этого, стоит особо отметить исследования таких американских учёных, как Ж.А.Селлвуд, Р.Г.Карлберг, А.Тумре, Д.Б.Сандерс, Н.З.Сковилл, П.М.Соломон, чилийских учёных Г.Бертина, Г.Лодато, японских исследователей Ш.Иноуэ, Т.Такаги, А.Миядзаки, французских астрономов А. Р.Петтита, Ж.В.Вадсли, а также российских учёных Г.С.Бисноватого-Когана, Я.Б.Зелдовича, А.Г.Морозова, А.В.Хопёрскова, А.М.Фридмана, В.Л.Поляченко и многих других.

² Обзор зарубежных научных исследований, относящихся к теме диссертации, составлен на основе следующих источников. http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html, www.nature.com, <http://www.univie.ac.at/webda>.

³ **IllustrisTNG** (The Next Generation Illustris) – Это современный набор магнитогидродинамических космологических симуляций, изучающих формирование и эволюцию галактик в реальном масштабе Вселенной.

⁴ J. Binney, S. Tremaine, Galactic Dynamics: Second Edition, ISBN 978-0-691-13026-2 (HB). Published by Princeton University Press, Princeton, NJ USA, 2008

Также следует отметить крупные исследования, проведённые по сбору наблюдательных данных по РЗС, выполненные Г.Лингой, В.С.Диасом, Б.С.Алесси, А.Л.Тадроссом, Н.В.Харченком, А.Е.Пискуновым, Сидни ван ден Бергом, М.Л.Гожой, Т.В.Борковой, В.А.Марсаковым и другими астрономами. Однако эти наблюдательные данные были составлены для отдельных параметров РЗС, а специализированный каталог, содержащий основные физические параметры скоплений, с его последующим статистическим анализом, до сих пор не был создан.

В Республике, в частности, в Национальном университете Узбекистана, исследования нелинейной динамики особых типов самогравитирующих систем проводились С.Н.Нуритдиновым⁵ и К.Т.Миртаджиевой⁶.

В результате этих исследований были созданы точные фазовые модели нелинейных нестационарных этапов эволюции галактик, а также, в сотрудничестве со многими зарубежными коллегами, были изучены проблемы эволюции крупномасштабных структур на фоне моделей дискообразных и сферических систем на основе конкретных мод колебаний.

Полученные теоретические результаты были подтверждены ЧЭ, проведёнными учёными США, Кореи и Индии. Кроме того, были разработаны динамические модели дискообразных самогравитирующих систем как с изотропными, так и с анизотропными диаграммами скоростей. Однако неустойчивости этих моделей для мелкомасштабных мод возмущений до сих пор не были изучены.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация. Диссертационное 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 ФЗ-2020092851 – “Физика неустойчивостей мелкомасштабных возмущений на фоне пульсации самогравитирующих систем с различной геометрией” в Национальном университете Узбекистана.

Целью исследования является изучение мелкомасштабных горизонтальных и вертикальных возмущений на фоне нелинейных нестационарных дискообразных моделей с анизотропной диаграммой скоростей, выявление эмпирических зависимостей между основными физическими характеристиками РЗС и ГМО нашей Галактики, а также разработка классификации РЗС на основе их физических параметров.

Задачи исследования:

разработка новой нелинейной нестационарной составной модели для дискообразных самогравитирующих систем с анизотропной диаграммой

⁵ С.Н. Нуритдинов, Нелинейные волны и колебания в самогравитирующих дискообразных системах, Ташкент, 2023, 163 с.

⁶ К.Т. Миртаджиева, Нелинейная теория формирования основных структурных образований в дискообразных галактиках // Автореф. док. диссер. Ташкент – 2016.

скоростей и вывод на её основе нестационарных дисперсионных уравнений (НДУ);

исследование гравитационной неустойчивости горизонтальных и вертикальных возмущений с использованием НДУ для различных мелкомасштабных значений азимутальных и радиальных волновых чисел;

создание критических диаграмм зависимости физических параметров моделей, вычисление инкрементов неустойчивости и определение начальных условий, объясняющих происхождение мелкомасштабных структурных образований нашей Галактики;

проведение статистического анализа специальных каталогов ГМО и РЗС, поиск эмпирических зависимостей между их основными физическими параметрами, разработка классификации РЗС на основе их физических характеристик.

Объектом исследования являются ГМО, РЗС и мелкомасштабные моды возмущений, а также нелинейные нестационарные пульсирующие модели.

Предметом исследования является изучение свойств неустойчивости мелкомасштабных мод возмущений на фоне нестационарных моделей самогравитирующих систем, а также процессы и механизмы формирования системы РЗС.

Методы исследования. В исследовании применялся метод наименьших квадратов для выявления статистических взаимосвязей, а также аналитические и численные методы решения систем дифференциальных уравнений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые были рассчитаны гравитационные неустойчивости мелкомасштабных горизонтальных и вертикальных мод колебаний на фоне нелинейно-нестационарных коллапсирующих дискообразных моделей;

впервые на основе полученных результатов были определены начальные условия, которые могут привести к формированию системы РЗС нашей Галактики в зависимости от вириального параметра, характеризующего темп коллапса;

разработана новая нелинейно-нестационарная составная модель дискообразных самогравитирующих систем с анизотропной диаграммой скоростей, на основе которой получены соответствующие нелинейные дисперсионные уравнения;

впервые на основе статистического анализа наблюдательных данных по РЗС и ГМО были установлены взаимные эмпирические зависимости между их основными физическими характеристиками, а также проведена классификация РЗС по их основным параметрам.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе анализа международных баз данных и научных статей создан специализированный каталог, содержащий 1436 объектов ГМО и 1135 объектов РЗС;

определены эмпирические соотношения между отдельными физическими характеристиками ГМО и РЗС. На основе основных физических параметров РЗС разработана их классификация;

рассчитаны гравитационные неустойчивости для 28 горизонтальных и 6 вертикальных мелкомасштабных мод возмущений на фоне нестационарных дискообразных коллапсирующих моделей.

Достоверность результатов исследования. Для подтверждения достоверности результатов в диссертации использованы современные и проверенные методы статистического анализа наблюдательных данных, а также высокоточные вычислительные методы, математический анализ и статистические методы. Это обеспечило надежность расчётов гравитационных неустойчивостей дискообразных систем, а также статистических исследований ГМО и РЗС.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость диссертационной работы заключается в том, что полученные результаты по гравитационной неустойчивости мелкомасштабных мод колебаний в дискообразных системах создают основу для построения нелинейной теории формирования системы РЗС в нашей Галактике. Кроме того, составленный каталог РЗС и его статистический анализ служат базой для решения задачи их классификации.

Практическая значимость исследования состоит в возможности применения полученных результатов к вновь обнаруженным РЗС на основе наблюдательных данных с целью определения их неизвестных физических параметров, а также для построения и применения новых нелинейных нестационарных моделей дискообразных самогравитирующих систем.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследований гравитационных неустойчивостей мелкомасштабных мод колебаний и статистического анализа основных объектов диска нашей Галактики были получены следующие прикладные результаты:

результаты, полученные на основе новой нелинейно-нестационарной составной модели, были использованы для изучения возмущений в окрестностях нейтронных звёзд (справка Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1318 от 29 мая 2025 года). В результате удалось выявить механизмы формирования вертикальных возмущений в их окрестностях;

результаты расчётов мелкомасштабных горизонтальных мод колебаний, выполненные в рамках нестационарной коллапсирующей модели, были использованы для анализа поверхностных возмущений нейтронных звёзд (справка Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1318 от 29 мая 2025 года). Это позволило исследовать природу наблюдаемых колебаний на поверхности нейтронных звёзд;

методы выявления эмпирических зависимостей и классификации, разработанные на основе созданных каталогов РЗС и ГМО, были применены для анализа взаимосвязей между физическими параметрами нейтронных звёзд (справка Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1318 от 29 мая 2025

года). В результате были обнаружены эмпирические зависимости между физическими характеристиками нейтронных звёзд и осуществлена их классификация.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на 9 международных и 12 республиканских научно-практических конференциях. Полученные результаты были рассмотрены на семинарах кафедры «Ядерная физика и астрономия» в сотрудничестве с научной лабораторией «Астрофизические исследования» Национального университета Узбекистана, а также на научном семинаре физического факультета.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, в том числе 9 научных статей, из которых 4 статьи опубликованы в журналах, индексируемых в базе данных Scopus и 5 статей – в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основной объем диссертации (без учета приложений) составляет 109 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

Во **введении** обоснована актуальность и необходимость исследования, показано соответствие темы исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, раскрыта степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи исследования. Также определены объект и предмет исследования, изложена его научная новизна, описаны практические результаты и подтверждена достоверность полученных данных. Кроме того, во введении раскрыто теоретическое и практическое значение работы, представлены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных научных трудах, апробации полученных результатов, а также дана общая информация о структуре диссертации.

Первая глава диссертации под названием **«Мелкомасштабные структурные образования в самогравитирующих системах»** посвящена анализу обширной литературы по наблюдательным данным и теоретическим исследованиям по теме диссертации, а также статистическому анализу специальных каталогов РЗС и ГМО Млечного Пути.

По коэффициентам корреляции между физическими параметрами ГМО были построены их эмпирические формулы и графики взаимосвязей. Между линейным радиусом ГМО и их логарифмической вириальной массой (рис. 1) существует линейная зависимость, коэффициент корреляции которой равен 0,81, а соответствующая эмпирическая формула имеет вид:

$$R = -194.74(\pm 20.02) + 42.42(\pm 3.37) \lg M_{\text{vir}} \quad (1)$$

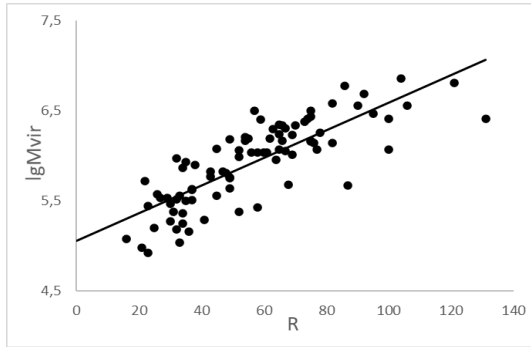


Рис. 1. Связь между радиусом ГМО и их логарифмической вириальной массой.

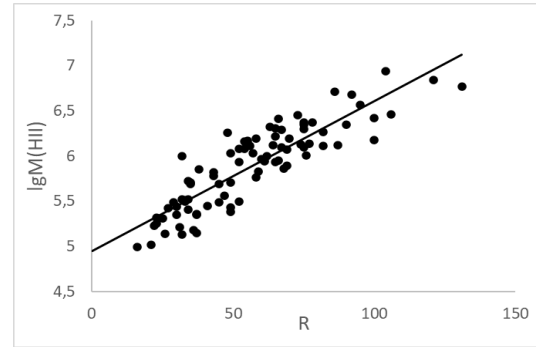


Рис. 2. Связь между радиусом ГМО и логарифмической массой (H II).

Между линейным радиусом ГМО и логарифмической массой молекулярного водорода, содержащегося в них (рис. 2), коэффициент корреляции составляет 0,88, а соответствующая эмпирическая формула имеет следующий вид:

$$R = -218.88(\pm 15.70) + 46.76(\pm 2.66) \lg M(\text{HII}) \quad (2)$$

Установлено, что коэффициент корреляции между скоростью, соответствующей половине максимума спектра ГМО (ССПМС), и их линейным радиусом составляет 0,69, а соответствующая эмпирическая формула имеет вид:

$$DV = 2.19(\pm 0.07) + 0.10(\pm 0.003)R \quad (3)$$

Между ССПМС и логарифмической вириальной массой ГМО существует линейная зависимость с коэффициентом корреляции 0,59, а соответствующая эмпирическая формула выглядит следующим образом:

$$DV = -2.67(\pm 0.28) + 1.43(\pm 0.06) \lg M_{\text{vir}} \quad (4)$$

Коэффициент корреляции между ССПМС и логарифмической массой молекулярного водорода ГМО составляет 0,76, и соответствующая эмпирическая формула найдена в следующем виде.

$$DV = -22.735(\pm 3.04) + 5.46(\pm 0.51) \lg M(\text{HII}) \quad (5)$$

Анализ показал, что между вириальной массой ГМО и логарифмической массой содержащегося в них молекулярного водорода существует высокая степень корреляции с коэффициентом 0,89. Соответствующая эмпирическая формула выражается следующим образом:

$$\lg M_{\text{vir}} = 0.65(\pm 0.29) + 0.89(\pm 0.05) \lg M(\text{HII}) \quad (6)$$

Анализ данных, представленных в специальном каталоге РЗС, показал, что коэффициент корреляции между модулем расстояния и абсолютной звёздной величиной РЗС (рис. 3) составляет $-0,50$, а соответствующая эмпирическая формула имеет следующий вид:

$$(m - M) = 10.80(\pm 0.36) - 0.58(\pm 0.08) M_V \quad (7)$$

Коэффициент корреляции между избытком цвета и модулем расстояния РЗС (рис. 4) равен 0,66, а соответствующая эмпирическая формула выражается следующим образом:

$$E(B-V) = -0.78(\pm 0.04) + 0.10(\pm 0.004)(m-M) \quad (8)$$

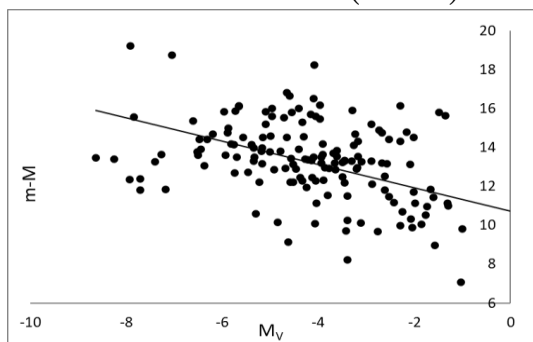


Рис. 3. Связь между модулем расстояния РЗС и их абсолютной величиной.

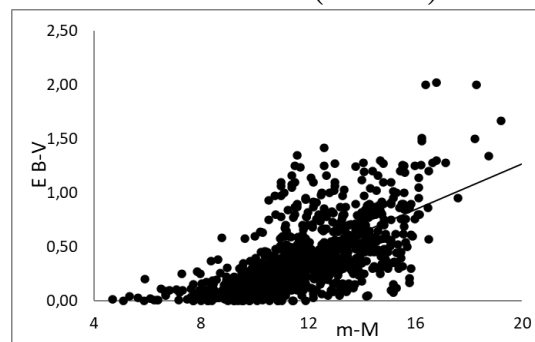


Рис. 4. Связь между модулем расстояния скоплений и их избытком цвета.

Установлено, что коэффициент корреляции между логарифмическим возрастом РЗС и их абсолютной звёздной величиной составляет 0,50, а между их линейным диаметром и массой -0,51. Соответствующие эмпирические формулы имеют следующий вид:

$$\lg t = 9.17(\pm 0.17) + 0.25(\pm 0.04)M_V \quad (9)$$

$$M_S = -269.72(\pm 146.36) + 242.27(\pm 18.26)R \quad (10)$$

Коэффициент корреляции между расстоянием РЗС от центра Галактики и их линейными диаметрами составляет 0,60. Соответствующие эмпирические формулы определены следующим образом:

$$R_{GC} = 7.55(\pm 0.08) + 7.06 \cdot 10^{-3}(\pm 3.13 \cdot 10^{-5})D \quad (11)$$

Кроме того, классификация РЗС была выполнена на основе их основных физических параметров, таких как масса, абсолютная звёздная величина и металличность. Например, из классификации РЗС по массе видно, что чем меньше масса скопления, тем меньше его размер и абсолютная звёздная величина, и тем больше его возраст (таблица 1). Анализ классификации РЗС по массе также показывает, что количество скоплений, относящихся к бедным и старым классам, превосходит количество скоплений остальных типов.

Таблица 1. Классификация РЗС по массе.

Название класса	$\langle M_C \rangle$	$\langle \lg t \rangle$	$\langle R \text{ (pc)} \rangle$	$\langle M_V \rangle$	Число
Наиболее бедные и старые	<100	8,6	3,48	-1,9325	89
Бедные и старые	$101 \div 500$	8,3	4,85	-3,7	210
Богатые и молодые	$501 \div 1000$	7,96	6,06	-4,73	87
Наиболее богатые и очень молодые	$1000 <$	7,71	11,1	-4,85	151

В ходе выполнения данной диссертационной работы был представлен метод разработки модели нелинейной нестационарной структуры, исследующей ранние стадии эволюции самогравитирующих дисковых систем. Были выбраны нелинейные нестационарные модели, описывающие эволюцию дисков:

$$\Psi_I(r, v_r, v_\perp, t) = \frac{\sigma_0}{2\pi \Pi \sqrt{1 - \Omega^2}} \left[\frac{1 - \Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_c)^2 \right]^{-1/2} \chi(\Pi - r), \quad (12)$$

$$\Psi_{aniz} = \frac{\sigma_0}{\pi} [1 + \Omega(xv_y - yv_x)] \chi((1 - r^2 / \Pi^2)(1 - \Pi^2 v_\perp^2) - \Pi^2(v_r - v_a)^2). \quad (13)$$

С целью изучения гравитационной неустойчивости как изотропных, так и анизотропных моделей, была получена новая анизотропная составная модель, путем выбора весовой функции (14) в следующем виде:

$$\rho(\Omega) = \frac{8}{3\pi} \Omega^4 (1 - \Omega^2)^{-1/2} \quad (14)$$

$$\Psi_{cosm}(r, v_r, v_\perp, t, v) = v \cdot \frac{\sigma_0}{2\pi \Pi \sqrt{1 - \Omega^2}} \left[\frac{1 - \Omega^2}{\Pi^2} \left(1 - \frac{r^2}{\Pi^2} \right) - (v_r - v_a)^2 - (v_\perp - v_b)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \cdot \chi(R - r) + (1 - v) \cdot \frac{8\sigma_0}{3\pi} \left[\frac{1}{2\sqrt{(rv_\perp + 1)^2 - k}} - (r^2 v_\perp^2 + 1) \right] \chi(k). \quad (15)$$

Для данной составной модели была получена система НДУ, и исследован ряд маломасштабных мод колебаний.

Во второй главе, озаглавленной **«Расчёт горизонтальных маломасштабных мод при фиксированных значениях волновых чисел»**, приведены расчёты гравитационной неустойчивости маломасштабных мод с использованием НДУ нелинейной нестационарной модели (13) при фиксированных значениях азимутального числа m и радиального волнового числа N в виде: ($m = 0$ и $N = 10; 14; 18; 22$, $m = 2$ и $N = 12; 14; 16; 18; 20; 22$, $N = 10$ и $m = 2; 4; 6; 8$, $N = 20$ и $m = 12; 14; 16$).

Рассматриваемая НДУ имеет следующий вид:

$$a_{аниз}(\psi) = \frac{4}{N(N^2 - 1)\Pi^3} \gamma_{Nm} (N - 1)(N^2 + N - m^2) \overline{D}_N + i\Omega m(N^2 + N - m^2 - 1) d_N \quad (16)$$

здесь $\gamma_N^m = \frac{(N + m - 1)!!(N - m - 1)!!}{(N + m)!!(N - m)!!}$, $\overline{D}_N = \int_{-\infty}^{\psi} E W^{N-1} \frac{dP_N}{d(\cosh)} d\psi_1$, $d_N = \int_{-\infty}^{\psi} E I_N d\psi_1$,

$E = \Pi^3(\psi_1) S(\psi, \psi_1) a(\psi_1)$, $I_N = W^{N-1} \left[\frac{1}{N + 2} \frac{d^2 P_{N+1}}{d(\cosh)^2} - \frac{P_N}{d(\cosh)} \right] \text{tgh}$, $W = \frac{1 + \lambda \cos \psi_1}{1 + \lambda \cos \psi}$,

$P_N(\cosh)$ - полином Лежандра, $\cosh = \frac{(\cos \psi + \lambda)(\cos \psi_1 + \lambda) + (1 - \lambda^2) \sin \psi \sin \psi_1}{(1 + \lambda \cos \psi)(1 + \lambda \cos \psi_1)}$.

Для заданных мелкомасштабных мод колебаний, с помощью уравнения (16), были получены отдельные НДУ, и на основе результатов расчёта данных построены их критические диаграммы.

Например, для исследуемых мелкомасштабных мод колебаний при фиксированном значении $m=0$ наибольшее значение радиального волнового числа соответствует $N=22$, и для данного случая НДУ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{21-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{42}} \times K_{0;22}(\psi). \quad (17)$$

Здесь $\ell_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{0;22}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{21-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, индекс τ

принимает значения от $\tau = 0$ до $\tau = 21$, здесь и в последующих случаях λ обозначает амплитуду пульсации диска.

В следующем случае, при фиксированном значении m , мода возмущения $m=2$; $N=22$ является наибольшей, и для данного случая НДУ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{21-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{42}} \times K_{2;22}(\psi), \quad (18)$$

здесь $l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{2;22}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{21-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$,

индекс принимает значения в диапазоне $\tau = \overline{0; 21}$.

Для фиксированного значения радиального волнового числа $N=10$ наибольшим является мода возмущения $m=8$; $N=10$ (рис.5), и его НДУ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{9-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{18}} \times K_{8;10}(\psi). \quad (19)$$

Здесь $l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{8;10}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{9-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0; 9}$.

Для фиксированного радиального волнового числа $N=20$ наибольшее значение соответствует случаю $m=16$; $N=20$ (рис. 6), и в этом случае НДУ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{19-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{38}} \times K_{16;20}(\psi), \quad (20)$$

здесь $l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{16;20}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{19-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1$, $\tau = \overline{0; 19}$.

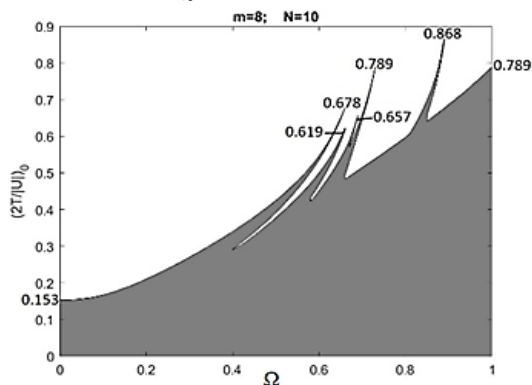


Рис. 5. Критическая зависимость для моды возмущения $m=8$; $N=10$.

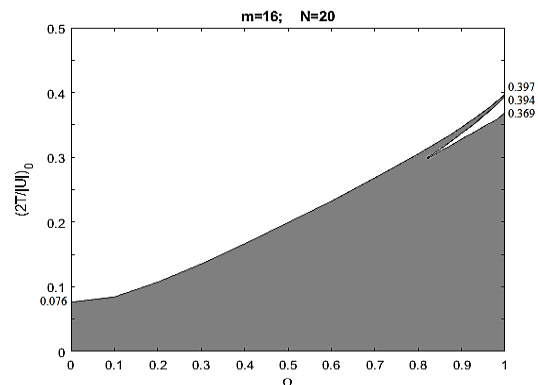


Рис. 6. Критическая зависимость для моды возмущения $m=16$; $N=20$.

На рисунках 5 и 6 представлены критические диаграммы для фиксированных значений радиальных волновых чисел. В этих случаях увеличение значения N приводит к уменьшению области неустойчивости.

В случае азимутального волнового числа $m=0$ увеличение значения параметра вращения Ω не приводит к изменению области неустойчивости, тогда как в случае $m \neq 0$ обнаружено, что области неустойчивости увеличиваются с ростом значения Ω . Острова устойчивости явно наблюдаются

при значениях радиального волнового числа $N < 20$. Однако при значениях $N > 20$ такие области не фиксируются.

В третьей главе, названной «**Мелкомасштабные секторальные и тессеральные моды мелкомасштабных возмущений**», приведены результаты расчёта НДУ (16) для значений волновых чисел $(m;N)=(10;11;12;13;14;15)$, $(m;N)=(9;17)$, $(m;N)=(16;18)$, $(m;N)=(18;20)$ и $(m;N)=(15;21)$, а также результаты сравнения инкрементов неустойчивости секторальных и тессеральных мод.

Для секторальной моды возмущений при $m=N=12$ НДУ принимает следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{11-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{22}} \times K_{12;12}(\psi), \quad (21)$$

$$\text{здесь } l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{12;12}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{11-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1, \quad \tau = \overline{0;11}.$$

В случае $m=N=15$ НДУ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{14-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{28}} \times K_{15;15}(\psi), \quad (22)$$

$$\text{здесь } l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{15;15}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{14-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1, \quad \tau = \overline{0;14}.$$

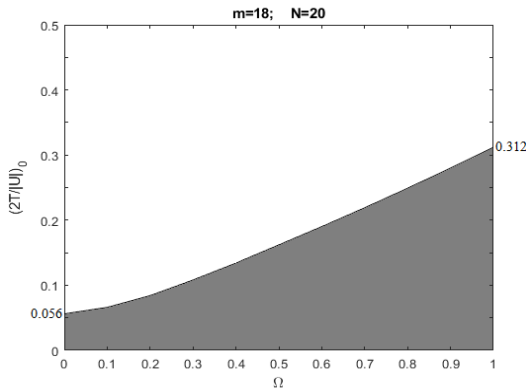


Рис. 7. Критическая зависимость для моды возмущения $m=18; N=20$.

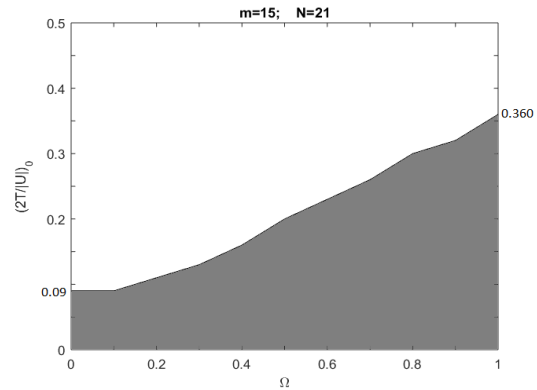


Рис. 8. Критическая зависимость для моды возмущения $m=15; N=21$.

Для случая $m=18; N=20$ НДУ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{19-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{38}} \times K_{18;20}(\psi), \quad (23)$$

$$\text{здесь } l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{18;20}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{19-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1, \quad \tau = \overline{0;19}.$$

НДУ для случая $m=15; N=21$ имеет следующий вид:

$$(1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 \ell_\tau(\psi)}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{d\ell_\tau(\psi)}{d\psi} + \ell_\tau(\psi) = \frac{(\lambda + \cos \psi)^{20-\tau} \sin^\tau \psi}{(1 + \lambda \cos \psi)^{40}} \times K_{15;21}(\psi), \quad (24)$$

$$\text{здесь } l_\tau(\psi) = \int_{-\infty}^{\psi} (1 + \lambda \cos \psi_1)^3 S(\psi, \psi_1) a_{15;21}(\psi_1) (\lambda + \cos \psi_1)^{20-\tau} \sin^\tau \psi_1 d\psi_1, \quad \tau = \overline{0;20}.$$

На рисунках 7 и 8 представлены критические диаграммы тессеральных мод возмущений, на которых наблюдается, что с увеличением значения параметра вращения Ω область неустойчивости также возрастает, тогда как увеличение степени маломасштабности приводит к уменьшению области неустойчивости.

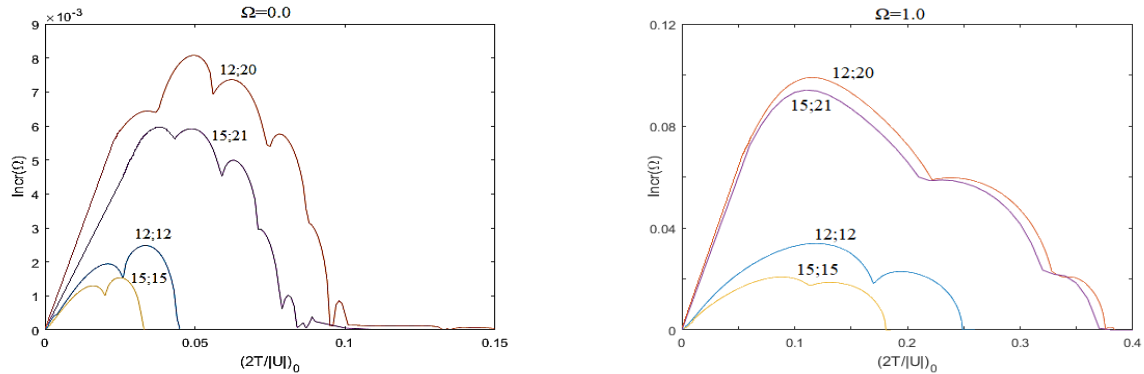


Рис. 9. Сравнения инкрементов неустойчивости для различных значений параметра вращения.

При сравнении инкрементов неустойчивости секторальных и тессеральных мод возмущений моды были выбраны на основе значения азимутального волнового числа m (рис 9). Из анализа видно, что мода колебаний (15;15) является наиболее сильной при значениях параметра вращения $\Omega=0.0 \div 1.0$, затем следуют моды (12;12), (15;21), а самая слабая - (12;20). Когда $\Omega=0.0$, можно наблюдать, что секторальные и тессеральные моды возмущений разделяются на две отдельные группы относительно друг друга.

В четвертой главе диссертации, под названием «**Расчёт вертикальных колебаний и нестационарные дисперсионные уравнения для них**», используя НДУ составной модели (15), получены результаты расчетов гравитационной неустойчивости для мод возмущений с $m=0$, $N=9;13;17;21$ и $m=1$, $N=10;12$, а также их критические диаграммы. НДУ составной модели имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & (1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 D}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 2\nu m \Omega \sqrt{1 - \lambda^2} \right) \frac{dD}{d\psi} + 2 \left[\gamma_N^m - 1 + \nu \frac{m \Omega \sqrt{1 - \lambda^2}}{1 + \lambda \cos \psi} \times \right. \\ & \times \left(i \lambda \sin \psi - \frac{m \Omega \sqrt{1 - \lambda^2}}{2} \right) - \nu \frac{(1 - \Omega^2)(1 - \lambda^2)(N^2 - m^2 + N - 2)}{6(1 + \lambda \cos \psi)} - \\ & \left. - (1 - \nu) \frac{(1 - \lambda^2)(N^2 + N + 14m^2 - 14)}{36(1 + \lambda \cos \psi)} \right] D(\psi) = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Например, для моды $m=0; N=21$ НДУ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & (1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 D}{d\psi^2} + \lambda \sin \psi \frac{dD}{d\psi} + \\ & + \left(25,382 - \frac{460}{3} \frac{\nu(1 - \Omega^2)(1 - \lambda^2)}{(1 + \lambda \cos \psi)} - \frac{230}{9} \frac{(1 - \nu)(1 - \lambda^2)}{(1 + \lambda \cos \psi)} \right) D(\psi) = 0 \end{aligned} \quad (26)$$

Для моды $m=1; N=12$ НДУ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} (1 + \lambda \cos \psi) \frac{d^2 D}{d\psi^2} + \left(\lambda \sin \psi + 2\nu i \Omega \sqrt{1 - \lambda^2} \right) \frac{dD}{d\psi} + \left(\frac{1818935}{131072} + \frac{\nu i \Omega \sqrt{1 - \lambda^2} \lambda \sin \psi}{1 + \lambda \cos \psi} - \right. \\ \left. - \frac{\nu \Omega^2 (1 - \lambda^2)}{2 + \lambda \cos \psi} - \frac{51\nu(1 - \Omega^2)(1 - \lambda^2)}{(1 + \lambda \cos \psi)} - \frac{78(1 - \nu)(1 - \lambda^2)}{9(1 + \lambda \cos \psi)} \right) D(\psi) = 0. \end{aligned} \quad (27)$$

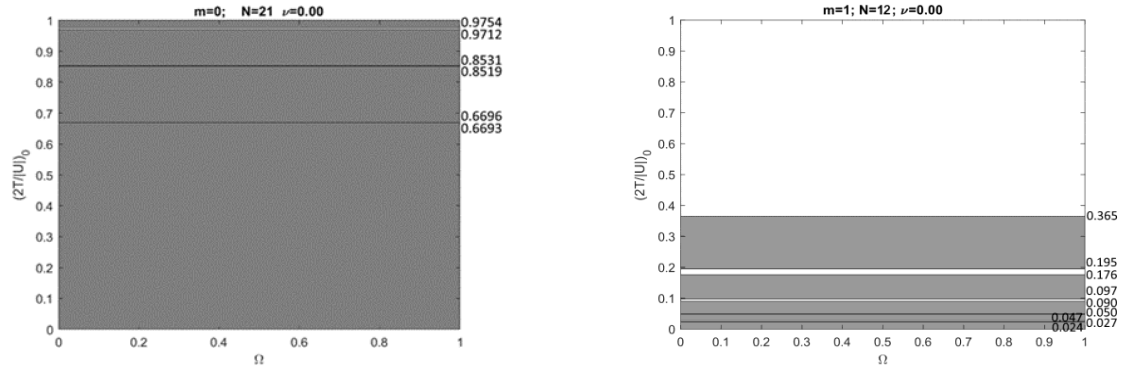


Рис. 10. Критическая зависимость для мод колебаний $m=0; N=21$ и $m=1; N=12$ при $\nu=0.0$.

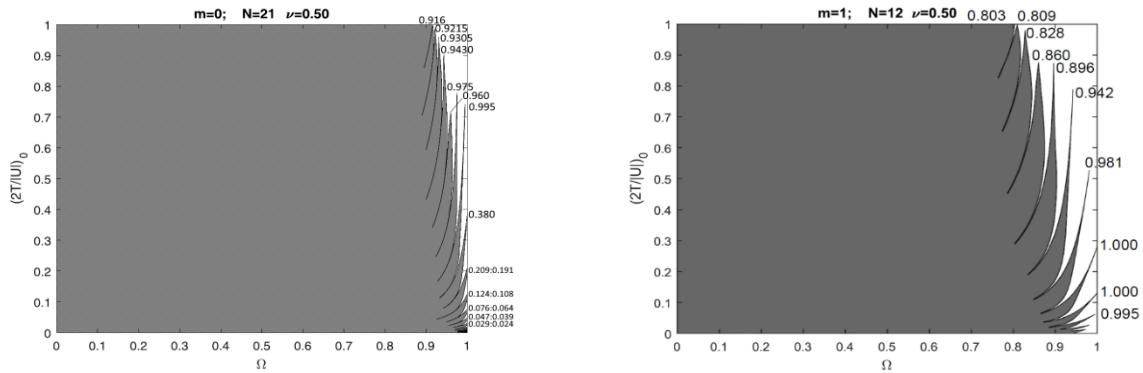


Рис. 11. Критическая зависимость для мод колебаний $m=0; N=21$ и $m=1; N=12$ при $\nu=0.5$.

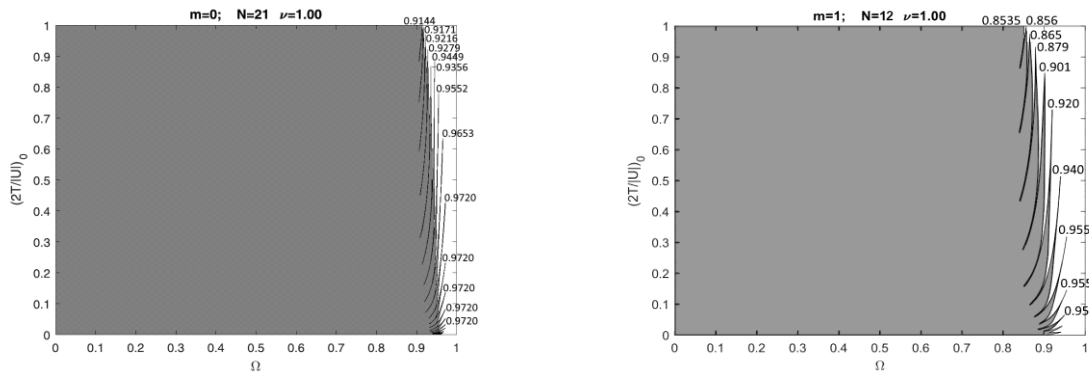


Рис. 12. Критическая зависимость для мод колебаний $m=0; N=21$ и $m=1; N=12$ при $\nu=1.0$.

На рис. 10 приведены критические диаграммы для мод возмущений $m=0; N=21$ и $m=1; N=12$ при значения $\nu=0.0$, то есть анизотропной модели.

В критических диаграммах, представленных для значения параметра суперпозиции $\nu = 0.5$, также наблюдается увеличение области неустойчивости с ростом значения N (рис. 11).

На рис. 12 показаны критические диаграммы для случая параметра суперпозиции $\nu = 1.0$, то есть для изотропной модели. При максимальных значениях параметра вращения система становится полностью устойчивой.

Полученные результаты показывают, что степень маломасштабности вертикальных мод колебаний выступает в качестве фактора, способствующего дестабилизации системы, тогда как параметр вращения, напротив, оказывает стабилизирующее воздействие.

ВЫВОДЫ

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

1. Составлены специальные каталоги ГМО и РЗС в нашей Галактике. На основе наблюдательных данных выведены эмпирические формулы взаимосвязей между основными физическими параметрами этих объектов. Для РЗС разработана новая двухпараметрическая классификация, основанная на таких физических характеристиках, как масса, абсолютная звёздная величина и металличность.

2. Впервые на фоне нелинейных нестационарных пульсирующих анизотропных моделей были проведены расчёты гравитационных неустойчивостей 28 горизонтальных и 6 вертикальных мелкомасштабных мод при различных комбинациях волновых чисел. По результатам исследования установлено, что с увеличением степени мелкомасштабности мод ($m+N$) область неустойчивости горизонтальных мод сужается, тогда как для вертикальных мод она, наоборот, расширяется.

3. Установлено, что параметр вращения (Ω) оказывает дестабилизирующее воздействие на горизонтальные моды, в то время как для вертикальных мод он играет стабилизирующую роль. Параметр суперпозиции, в свою очередь, стабилизирует горизонтальные моды и дестабилизирует вертикальные.

4. Сравнительный анализ инкрементов неустойчивости показал, что при всех значениях параметра вращения тессеральные моды обладают большей неустойчивостью по сравнению с секторальными. Анализ инкрементов горизонтальных и вертикальных мод также показал, что вертикальные моды доминируют над горизонтальными при любых значениях параметра вращения: наиболее сильная вертикальная мода является полностью неустойчивой на всём интервале значений вириального отношения, тогда как горизонтальная мода проявляет неустойчивость только при его низких значениях.

5. Впервые с помощью полученных теоретических результатов были определены начальные условия формирования системы РЗС в нашей Галактике в зависимости от начального вириального параметра, характеризующего темп коллапса.

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

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

GANIEV JAKHONGIR MALIKOVICH

**SMALL-SCALE OSCILLATION MODES IN DISK-LIKE SELF-
GRAVITATING SYSTEMS AND THEIR INSTABILITY ISSUES**

01.03.02 - Space physics and astrophysics

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

Tashkent – 2025

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 № B2024.3.PhD/FM1151.

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 Farruh Shuxratoxich doctor of physics and mathematical sciences, professor Burkhonov Otabek Anvarjonovich candidate of physics and mathematical sciences, senior researcher
Leading organisation:	Institute of Fundamental and Applied Research under the National Research University “TIAME”

Defense will take place “_____” _____ 20____ at _____ at the meeting of Scientific Council number DSc.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 “_____” _____ 20____ year. (Registry record № _____ on “_____” _____ 20____ year).

K.T.Mirtadjieva
Vice-chairman of the scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of physics and mathematical sciences, professor

F.U.Botirov
Scientific secretary of the scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of phylosophy in physics and mathematics

I.U.Tadjibaev
Chairman of the scientific Seminar of the Scientific Council
on award of scientific degrees,
doctor of physics and mathematical sciences, professor

INTRODUCTION

(abstract PhD dissertation)

The aim of the research is to investigate small-scale horizontal and vertical perturbations within the framework of nonlinear nonstationary models, as well as to collect and analyze observational data to develop classifications of open star clusters (OSC).

The object of the study includes giant molecular clouds (GMCs), OSCs, small-scale perturbation modes, and nonlinear nonstationary pulsating models.

The scientific novelty of the research is as follows:

for the first time, gravitational instabilities of small-scale horizontal and vertical oscillation modes were calculated against the background of nonlinear non-stationary collapsing disk-like models;

for the first time, based on the obtained results, initial conditions were determined that could lead to the formation of the OSC system of our Galaxy, depending on the virial parameter characterizing the collapse rate;

a new nonlinear non-stationary composite model of disk-like self-gravitating systems with an anisotropic velocity diagram was developed, on the basis of which the corresponding nonlinear dispersion equations were derived;

for the first time, based on the statistical analysis of observational data on OSCs and GMCs, mutual empirical relationships between their key physical characteristics were established, and OSCs were classified according to their main parameters.

Implementation of the research results. Based on the results of investigations into the gravitational instabilities of small-scale oscillation modes and the statistical analysis of the main structural components of our Galaxy's disk, the following applied outcomes were obtained:

the results derived from the newly constructed nonlinear non-stationary composite model were used to study perturbations in the vicinity of neutron stars (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2/1255-1318 dated May 29, 2025). As a result, the mechanisms behind the formation of vertical perturbations in these regions were identified;

the results of small-scale horizontal oscillation mode calculations, performed using a non-stationary collapsing disk model, were employed to analyze surface perturbations of neutron stars (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2/1255-1318 dated May 29, 2025). This enabled the investigation of the nature of observable oscillations on the surface of neutron stars;

the methods developed for identifying empirical correlations and performing classification, based on the constructed catalogs of OSC and GMC, were applied to analyze the interrelations between the physical parameters of neutron stars (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2/1255-1318 dated May 29, 2025). As a result, empirical relationships between the physical characteristics of neutron stars were established, and a classification was carried out.

Publication of research results. The results of the research conducted on the topic of the dissertation were published in 30 scientific works, including 9 scientific articles, 4 of which were published in foreign Scopus-based journals and 5 articles

in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan.

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 109 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. Nuritdinov S.N., **Ganiev J.M.** and Mirtadjieva K.T. On the Instabilities of Small-Scale Modes of Oscillations Against the Background of a Collapsing Galaxy Model // Astronomy Reports, 2025. Vol. 69. No. 3. – P. 255-267. (**Scopus Cite Score IF = 1.1**).

2. Mirtadjieva K.T., Nuritdinov S.N., Botirov F.U., **Ganiev J.M.** Can Ring-Shaped Structures Form Due to the Instability of Vertical Perturbations in a Self-Gravitating Disk? // Gravitation and Cosmology, 2025. Vol. 31. No. 1. – P. 46-52. (**Scopus Cite Score IF = 0.9**).

3. **Ganiev Jakhongir** and Nuritdinov Salakhutdin, Small-scale sectorial perturbation modes against the background of a pulsating model of disk-like self-gravitating systems // Open Astronomy, 2022. Vol. 31. No. 1. – P. 92-98. (**Scopus Cite Score IF = 0.5**)

4. Tadjibaev I.U., Nuritdinov S.N., **Ganiev J.M.** Globular Star Cluster Systems Around Galaxies. II. Spiral and Dwarf Galaxies // Astrophysics, 2015. Vol. 58. – P. 181–192. (**Scopus Cite Score IF = 0.6**)

5. **Ganiev J.M.**, Models of small-scale structures in disk-like self-gravitating objects // Science and innovation, 2024. Vol. 3. Special Issue 3. – P. 561-566.

6. **Ганиев, Ж.М.**, Нуритдинов С.Н. Природа мелкомасштабных мод колебаний в дискообразных галактиках // Узбекский физический журнал, 2021. – № 23 (2). – С. 1-10 (**01.00.00. № 5**).

7. **Ганиев Ж.**, Нуритдинов С. Анализ нового сводного каталога рассеянных скоплений нашей галактики // Узбекский физический журнал, 2018. – № 20 (6). – С. 329-333 (**01.00.00. № 5**).

8. **Ганиев Ж.М.**, Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У., Ахмедов М. О системах шаровых скоплений спиральных галактик // Узбекский физический журнал, 2016. Том 18. – № 4. – P. 219-225 (**01.00.00. № 5**).

9. Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У., **Ганиев Ж.М.**, Исомаддинова У.М, Анализ физических характеристик системы шаровых скоплений Млечного Пути // Вестник НУУз., 2013. – № 2/1. – С. 123-126 (**01.00.00. № 8**).

II bo'lim (II часть; part II)

10. **Ganiev J.**, Mirtadjieva K. On the instabilities of small-scale oscillation modes on the background of a collapsing model of a Protogalaxy // Modern astronomy: from the Early Universe to exoplanets and black holes. Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, 2024. – P. 310-313.

11. **Ганиев Ж.М.** Сравнение горизонтальных и вертикальных мелкомасштабных возмущений на фоне пульсирующего диска // “Современная астрономия: от ранней вселенной до экзопланет и черных дыр”. – Россия: САО РАН, 2024. 25-31 авг. – С. 142.

12. **Ганиев Ж.М.** Мелкомасштабные возмущение на фоне пульсирующей дискообразной самогравитирующей системы // Международная научная конференция молодых учёных “Наука и инновации”, 2023. – С. 211-213.

13. **Ганиев Ж.М.,** Нуритдинов С.Н. Мелкомасштабные изгибные моды возмущения на фоне пульсирующего самогравитирующего диска // Труды Института Математики и Информационных Технологий. – ВолГУ, 2023. – С. 20-22.

14. **Ganiev J.,** Nuritdinov S., Omonov A. Models of small-scale structures in disk-like self-gravitating objects // Uzbekistan-Malaysia international conference. – Tashkent, 2022. September 16-17. – P. 106-107.

15. **Ganiev J.M.,** Nuritdinov S.N. Small-scale sectorial modes of perturbations against the background of a pulsating model of disk-like self-gravitating systems // “Astronomy at the epoch of Multimessenger studies VAK-2021” International Conf., 2021. Aug. 23-28. – P. 436.

16. **Ганиев Ж.М.,** Нуритдинов С.Н. Анализ поведения мелкомасштабных мод возмущения в пульсирующей модели дискообразной самогравитирующей системы // Современная звездная астрономия. – Россия, 2019. Том 10. – С. 18.

17. Nuritdinov S.N., Muminov A.A., Tadjibaev I.U., **Ganiev J.M.** Nonlinear model of a non-stationary disk-like self-gravitating system and its instability // Abstracts of The International Scientific Conference “Modern Problems of Applied Mathematics and Information Technologies – Al-Khorezmiy 2018”, 2018. 13-15 September. – P. 92-93.

18. **Ganiev J.M.** and Tadjibaev I.U. Small-Scale Modes on the Background of Non-Stationary Disc-Like Models of Self-Gravitating Systems // Modern Star Astronomy, 2018. Vol. 1. – P. 104-106.

19. Каххарова Л., **Ганиев Ж.М.** Анализ каталога рассеянных звездных скоплений нашей галактики // ЎзМУ. РИАК-ХVII, 2024. – С. 11-13.

20. **Ганиев Ж.,** Нуритдинов С. Компьютерный анализ мелкомасштабных возмущений на фоне пульсирующего диска // Mathematics, mechanics and intellectual technologies. – Tashkent, Uzbekistan, 2023. – С. 284-285.

21. **Ганиев Ж.М.** Неустойчивости мелкомасштабных вертикальных мод возмущений самогравитирующего диска // Сб. Улугбековские чтения, 2023. Том 5. – С. 63-68.

22. **Ганиев Ж.М.,** Нуритдинов С.Н. Неустойчивости умеренно мелкомасштабных мод на фоне нестационарной дискообразной модели // ЎзМУ. РИАК-16, 2023. – С. 19-22.

23. **Ганиев Ж.М.,** Нуритдинов С.Н, О неустойчивостях мелкомасштабных возмущений анизотропного самогравитирующего диска // Фундаментально-инновационные исследования в развитии физики и ее перспективы, 2022. – С. 132-134.

24. **Ганиев Ж.М.,** Нуритдинов С.Н. Определение азимутального эффекта мелкомасштабного возмущения на фоне самогравитирующего диска // Фундаментально-инновационные исследования в развитии физики и ее перспективы, 2021. – С. 128-132.

25. **Ганиев Ж.М.** Рассеянные скопления звезд с известными значениями их масс, модуля расстояния и абсолютной звездной величины // Сб. Улугбековские чтения, 2019. Том 4. – С. 109-126.

26. **Ганиев Ж.М.,** Саъдуллаев Ж.Ш., Рузибаев Ж.К. Новый сводный каталог изгибных галактик // Сб. Улугбековские чтения, 2019. Том 4. – С. 154-172.

27. **Ганиев Ж.М.** Анализ поведения мелкомасштабных мод возмущений на фоне нестационарной модели самогравитирующего диска // Сб. Улугбековские чтения, 2019. Том 4. – С. 176-180.

28. **Ганиев Ж.М.,** Юсупова Ч.М., Нуритдинов С.Н. К теории классификации рассеянных скоплений звезд млечного пути // ЎзМУ. РИАК-ХІ, 2018. – С. 129-130.

29. **Ганиев Ж.М.,** Нуритдинов С.Н. К проблеме классификации рассеянных скоплений звезд // ЎзМУ. РИАК-Х, 2017. – С. 89-91.

30. **Ганиев Ж.М.** Анализ сводного каталога рассеянных скоплений звезд // ЎзМУ. РИАК-ІХ, 2016. – С. 15-17.

Avtoreferat O‘zbekiston Milliy universiteti “O‘zMU xabarlari” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o‘zaro muvofiqlashtirildi (20.08.2025)

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 2,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 29/25.

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