

**TIQXMMI MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
FUNDAMENTAL VA AMALIY TADQIQOTLAR INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

TADJIBAEV IKRAM URALBAEVICH

**SHARSIMON TO‘DALAR VA ULAR SISTEMALARI UCHUN EMPIRIK
BOG‘LANISHLARNI VA SINFLASHTIRISHNI TOPISH MUAMMOLARI**

01. 03. 01 – astronomiya

**Fizika-matematika fanlari doktori (Doctor of Science) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

Fizika-matematika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

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

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

Tadjibaev Ikram Uralbaevich

Sharsimon to‘dalar va ular sistemalari uchun empirik bog‘lanishlarni va sinflashtirishni topish muammolari **3**

Таджибаев Икрам Уралбаевич

Проблемы поиска эмпирических зависимостей и классификации для шаровых скоплений и их систем **25**

Tadjibaev Ikram Uralbaevich

Problems of finding empirical dependencies and classification for globular clusters and their systems **49**

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works **53**

**“TIQXMMI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
FUNDAMENTAL VA AMALIY TADQIQOTLAR INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

TADJIBAEV IKRAM URALBAEVICH

**SHARSIMON TO‘DALAR VA ULAR SISTEMALARI UCHUN EMPIRIK
BOG‘LANISHLARNI VA SINFLASHTIRISHNI TOPISH MUAMMOLARI**

01.03.01 – astronomya

**Fizika-matematika fanlari doktori (Doctor of Science) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent - 2023

Fizika-matematika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2020.4.DSc/FM67 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Chirchiq davlat pedagogika universitetida bajarilgan.

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

Ilmiy maslahatchi: Nuritdinov Salaxitdin Nasritdinovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: Rayimbayev Djavlonbek Radjabbayevich
fizika-matematika fanlari doktori

Axunov Talat Axmatovich
fizika-matematika fanlari doktori

Minglibaev Muxtar Djumabekovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Etakchi tashkilot: Samarqand davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi TIQXMMI Milliy tadqiqotlar universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 raqamli ilmiy kengashning 2023 yil "22" "07" soat 14⁰⁰ daqiqa majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100000, Toshkent shahri, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy, Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti, 108-katta majlislar zali. Tel. +99871) 237-09-61, info@ifar.uz).

Dissertatsiya bilan TIQXMMI Milliy tadqiqotlar universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (9 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100000, Toshkent shahri, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy, Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti, 108-katta majlislar zali. Tel. +99871) 237-09-61).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil "8" "07" kuni tarqatildi.
(2023 yil "8" "07" daqiqa 9 raqamli restr bayonnomasi)



A.A. Abdujabborov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy Kengash raisi o'rinbosari, fizika-matematika fanlari doktori

E.X. Karimboev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy Kengash kotibi, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

A.B. Abdikamalov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy Kengash qoshidagi Ilmiy seminar raisi o'rinbosari, fizika-matematika fanlari doktori

KIRISH

(doktorlik (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbliligi va zarurati. Sharsimon to‘dalar va ular sistemalarini tadqiq qilish nafaqat astrofizika, balki zamonaviy kuzatuv kosmologiyasining muhim masalalaridan biri hisoblanadi. Ta’kidlash joizki, sharsimon to‘dalar Koinotning noyob ob’ektlaridan biri hisoblanadi. Sharsimon to‘dalar sistemalari asosan, nisbatan qari sharsimon to‘dalar (ularning yoshi 10-12 mlrd. yilga teng) dan tashkil topgan bo‘lib, ular galaktikaning sferik tashkil etuvchisi yoki asosiy jismi atrofida joylashgan. sharsimon to‘dalar va ular sistemalari fizikasida mavjud bir qator muammolarini yechish uchun dastlab, alohida maqolalar tahlili hamda ulardagi kuzatuv ma’lumotlarni to‘plash yo‘li orqali ushbu ob’ektlarning kuzatuv ma’lumotlari bankini yaratish lozim. Sharsimon to‘dalar va ular sistemalari fizik xususiyatlarini o‘rganish to‘g‘ridan-to‘g‘ri ular galaktikalarining xarakteristikalarini o‘rganish bilan chambarchas bog‘liqdir. Ta’kidlash lozimki, shu kungacha sharsimon to‘dalar sistemalari va ular galaktikalari xarakteristikalari orasida fizik bog‘lanishlar umuman topilmagan. Shuningdek, sharsimon to‘dalar sistemasi hamda spiral, noto‘g‘ri va karlik galaktikalar xarakteristikalari orasida fizik bog‘lanishlar aniqlanmagan, sharsimon to‘dalar va ular sistemalari uchun sinflarga ajratish ishlab chiqilmagan. Deyarli 95 yildan beri davom etib kelayotgan sharsimon to‘dalarni sinflarga ajratish muammosi hal etilmagan. Bunday masalalarni yechish, xususan, sharsimon to‘dalar evolyutsiyasi va fizikasini tushunish, ularning kosmogonik nazariyalarini ishlab chiqish va galaktikalar kosmologik paydo bo‘lishining ikkita alternativ ssenariylari muammolarini solishtirishni taqozo etadi. Shulardan kelib chiqib, galaktikalardagi sharsimon to‘dalar va ular sistemalari fizik xususiyatlarini o‘rganish ular galaktikalari hamda galaktikalar to‘dalari va o‘tato‘dalarining kelib chiqishi muammolarini tushunishda “kalit” vazifasini bajarishi mazkur dissertatsiyaning dolzarbligini belgilaydi.

Bizning Respublikamizda ham Koinotning juda ko‘plab noyob ob’ektlari, jumladan, sharsimon to‘dalar va ular sistemalarining tadqiqoti bo‘yicha kuzatuv aspektlarini o‘rganishga katta e’tibor beriladi. Bu esa 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasiga¹ bog‘liq bo‘lgan fundamental tadqiqotlar yo‘nalishi yurtimizda fanning rivojlanishida katta ahamiyat kasb etishini bildiradi. Oxirgi 20 yil davomida O‘zbekiston Milliy universitetida sharsimon to‘dalar sistemalari bo‘yicha turli bazalar yordamida juda katta hajmdagi noyob kuzatuv ma’lumotlari yig‘ib borilgan. Endi esa shu kuzatuv ma’lumotlarini tahlil qilish orqali qator savollarga javob berish vaqti keldi, shu kungacha keng miqyosdagi kuzatuv ma’lumotlari taxlil qilinmagan, ular asosiy fizik parametrlari orasida ishonchli darajadagi empirik bog‘lanishlar aniqlanmagan, sharsimon to‘dalar va ular sistemasi klassifikatsiyasi ishlab

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

chiqilmagan, bu ob'ektlarning kinematik va dinamik parametrlarini aniqlash bo'yicha ishlar olib borilmagan va boshqalar.

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

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

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi. Sharsimon to'dalar va ular sistemalarining fizikasidagi muammolar Yerdagi hamda kosmik teleskoplarda olingan kuzatuvlar natijalari asosida dunyoning yetakchi observatoriyalarida, ilmiy markazlarida, oliy ta'lim muassasalarida o'rganilgan. Masalan, McMaster University (Kanada), University of Michigan (AQSh), University of California (AQSh), Colorado State University (AQSh), University of Arizona (AQSh), University of Alabama (AQSh), Institute for Astronomy, University of Hawaii (AQSh), Herzberg Astronomy & Astrophysics Research Centre (Kanada), Max-Planck-Institut für Astronomie (Germaniya), European Southern Observatory (Germaniya), Universidad de Concepción (Chili), Instituto de Astrofísica (Chili), Gemini Observatory South (Chili), Department of Astronomy (Xitoy), Kavli Institute of Astronomy and Astrophysics (Xitoy), Centre of Astrophysics & Super computing (Avstraliya), INAF Osservatorio Astr. Di Teramo, via Maggini (Italiya), Observatoire de Strasbourg (Fransiya), Princeton University Observatory (AQSh), University of Munchen (Germaniya), University of Tokyo (Yaponiya), Yonsei University (Koreya), Moskva davlat universiteti qoshidagi Shternberg nomidagi davlat astronomiya instituti, Sankt-Peterburg universiteti qoshidagi Sobolev nomidagi astronomiya instituti (Rossiya), Kiev milliy universiteti (Ukraina), Lvov milliy universiteti (Ukraina), Ural federal universiteti (Rossiya), O'zbekiston Milliy universiteti va Chirchiq davlat pedagogika universiteti (O'zbekiston) kabi dunyoning yetakchi ta'lim muassasalarida, observatoriyalarida va ilmiy markazlarida tadqiqotlar olib boriladi.

Sharsimon to'dalar va ular sistemalari tadqiqoti bo'yicha dunyo miqyosida bir qator dolzarb muammolar o'rganilgan va ko'plab orginal ilmiy natijalar olingan. Masalan, turli morfologik tipdagi galaktikalar atrofidagi sharsimon to'dalar alohida kuzatuvlari olib borilgan (McMaster University, Kanada; University of Michigan, AQSh; University of Arizona, AQSh; European Southern Observatory, Germaniya; Gemini Observatory South, Chili; Observatoire de

Strasbourg, Fransiya; Sankt-Peterburg davlat universiteti, Rossiya; Moskva davlat universiteti qoshidagi Shternberg nomidagi davlat astronomiya instituti, Rossiya; Rossiya Fanlar akademiyasi Bosh astronomik observatoriya, Rossiya; Rossiya Fanlar akademiyasi Maxsus astrofizik observatoriya, Rossiya), turli filtrlardagi fotometrik xarakteristikalari olingan va fotometrik tahlillar bajarilgan (Max-Planck-Institut für Astronomie, Germaniya; Institutode Astrofisica, Chili; INAF Osservatorio Astr. di Teramo, Italiya; University of Tokyo, Yaponiya), sistemadagi to‘dalar soni aniqlangan (Herzberg Astronomy & Astrophysics Research Centre, Kanada; Universidadde Concepción, Chili; Gemini Observatory South, Germaniya; Centre for Astrophysics & Super computing, Avstraliya), solishtirma chastotasi bo‘yicha sharsimon to‘dalar sistemalarining alohida ro‘yxati tuzilgan va ushbu ob‘ektlarning paydo bo‘lish ssenariylari o‘rganilgan (McMaster University, Kanada).

Dunyoda hozirgi paytda sharsimon to‘dalar va ular sistemalarining kuzatuv tadqiqotlari bo‘yicha qator ustuvor yo‘nalishlarda izlanishlar olib borilmoqda. Jumladan, sharsimon to‘dalar sistemalarini kuzatish va yangi sharsimon to‘dalar hamda ular sistemalari nomzodlarini topish; ularning fotometrik tahlillarini bajarish; ko‘pmodalli rang diagrammasi va ular kelib chiqish tahlilari; sistemadagi to‘dalar massasini aniqlash; galaktikalar paydo bo‘lish modellarini tekshirish; ona galaktikalari massalarini aniqlash (Michigan universiteti, Arizona universiteti, Janubiy Yevropa observatoriyasi, Chili astrofizika instituti).

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Hozirgi kunda Galaktikamizda yangi sharsimon to‘dalarni topish, sharsimon to‘dalar va ular sistemasini kuzatish, fotometrik tadqiqotlari, sharsimon to‘dalar sistemasini fizikasi va alohida xususiyatlarini tadqiq qilish, bu sistemalarni modellashtirish, sistemadagi sharsimon to‘dalar sonini aniqlash bilan dunyoning ko‘pgina yetakchi olimlari shug‘ullanib keladilar. Masalan, amerikalik (A.Kundu, J.Brodie, J.Strader, K.A.Woodley), koreyalik (J.Cho, H.S.Kim, S.J.Yoon, S.S.Kim, HoJin), kanadalik (W.Harris, J.P.Blakeslee), xitoylik (E.W.Peng, C.Liu), rossiyalik (A.S.Rastorguev, N.N.Samus, V.Surdin, A.Mironov, V.A.Marsakov, T.Borkova va b.), chililik (T.Richtler, M.Gomes, T.H.Puzia, A.Jordan), ispaniyalik (M.A.Beasley, A.J.Cenarro, J.A.L.Aguerri), avstraliyalik (Ch.Blom, D.A.Forbes), germaniyalik (B.Dirsch, M.Hilker) va boshqa olimlar. Ammo, sharsimon to‘dalar sistemalari uchun barcha kuzatuv ma’lumotlari yig‘ilmagan va ularning kuzatuv ma’lumotlari yetarlicha statistik tahlil qilinmagan.

Sharsimon to‘dalarning umumiy soni va galaktikaning dinamik massasi orasidagi korrelyatsiya o‘rganilgan, lekin faqat ularning massasi va effektiv radiusi orasidagi bog‘lanish aniqlangan (W.E.Harris). Shunga qaramay, bu yerda sharsimon to‘dalar sistemalari va u joylashgan galaktikaning dinamik massalari baholangan hamda shu asosida sharsimon to‘dalarning paydo bo‘lish effektivligi galaktika galosining massasiga proporsional ekanligi xulosa qilingan. Erta tipdagi galaktikalar atrofidagi sharsimon to‘dalar sistemalari dinamik xususiyatlari o‘rganilgan (M.A.Beasley, K.L.Rhode, S.E.Zepf, A.Kundu). Sharsimon to‘dalar va ular galaktikalarining paydo bo‘lish modellari muhokama qilingan (K.Ashman,

S.Zepf, J.P.Brodie, J.Strader, A.Pipino, T.H.Puzia, F.Matteucc). sharsimon to‘dalar sistemalari rang (yoki metallilik) taqsimoti bimodal ekani ko‘rsatilgan, ya‘ni, sharsimon to‘dalar sistemalari ikki guruhga bo‘lingan: qizil (disk) va havorang (galo) (D.A.Forbes, R.Chandar, B.Whitmore, M.G.Lee, J.R.Hargis, K.L.Rhode, S.Zepf, A.Kundu). Bizning Galaktikamiz, M31 va Haykaltarosh guruhidagi galaktikalarning sharsimon to‘dalar yorqinlik funksiyasi yaxshi o‘rganilgan (J.B.Nantais, J.P.Huchra, P.Barmby).

O‘zbekistonda O‘zMU professori f.-m.f.d. S.N.Nuritdinov rahbarligida shogirdlari tomonidan sharsimon to‘dalar va ular sistemalarining keng qamrovli muammolari borasida sistematik ravishda kuzatuvlar natijalari tahlil qilingan. Bu tadqiqotlar natijasida ushbu ob‘ektlarning ma‘lumotlar bazasi shakllantirilgan hamda galaktika tiplari bo‘yicha ma‘lumotlarning statistik tahlili orqali sharsimon to‘dalar sistemalari katalogi tuzilgan, elliptik va linzasimon galaktikalar uchun sharsimon to‘dalar sistemalari va ular galaktikasining alohida fizik xarakteristikalari orasidagi empirik bog‘lanishlar topilgan, 10 dan ortiq sharsimon to‘dalar sistemalari kuzatuv va nazariy sirtiy zichliklarini solishtirish usuli orqali tezliklar anizotropiyasi parametri qiymati aniqlangan. Shuningdek, Xabbl doimiysi qiymati topilgan. Ammo, barcha tipdagi galaktika atrofidagi sharsimon to‘dalar sistemalari uchun kuzatuv ma‘lumotlarini yig‘ish asosida ularning jamlanma katalogi tuzilmagan va kuzatuv ma‘lumotlarining statistik tahlili olib borilmagan, shuningdek, ular kelib chiqishini keyinchalik tushuntirib berishda muhim ma‘lumot hisoblangan galaktikalar va ularning sharsimon to‘dalar sistemalari parametrlari orasidagi empirik bog‘lanishlar aniqlanmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasi ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti universitetning ilmiy-tadqiqotlar rejalariida keltirilgan ilmiy mavzulari doirasida olib borilgan, shuningdek, FM-2-012 – “Galaktikalar atrofidagi noyob sharsimon to‘dalar tadqiqoti: ma‘lumotlar tahlili va kelib chiqish nazariyasini ishlab chiqish” (2007-2008 yy.), F2-54 – “Eynshteyn va Makloren nochiziqli modeli fonidagi gravitatsion noturg‘unlik: modal tadqiqot va kuzatuv ma‘lumotlari asosida katalog yaratish” (2011-2016 yy.) va OT-F3-13 – “Gravitatsion noturg‘unlik va rezonans sharoitini hisobga olgan holda o‘zgravitatsiyalanuvchi sistemalarning nochiziqli nostatsionar evolyusiyasidagi fazaviy qorishish” (2017-2019 yy.) ilmiy loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi sharsimon to‘dalar, ular sistemalari va galaktikalari alohida fizik parametrlari orasida empirik bog‘lanishlarni izlash, sharsimon to‘dalar va ular sistemalari uchun sinflashtirishni ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari bizning Galaktikamiz sharsimon to‘dalari va sistemasi kuzatuv ma‘lumotlari tahlilini qilish, sharsimon to‘dalarni sinflashtirish va King modeli uchun yordamchi parametrni izlash, shuningdek, alohida fizik parametrlar bilan korrelyatsiyasi mavjud bo‘lgan yangi parametrni topish, sharsimon to‘dalar sinflashtirish muammosini yechish, sharsimon to‘dalar sistemalari jamlanma katalogini statistik tahlilini bajarish, sharsimon to‘dalar, sharsimon to‘dalar

sistemalari va ular galaktikasi alohida xarakteristikalari orasida empirik bog'lanishlarni topish hisoblanadi.

Tadqiqot ob'ekti bizning Galaktikamiz sharsimon to'dalari va uning sistemasi hamda turli morfologik tipdagi galaktikalar atrofidagi sharsimon to'dalar sistemalari hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti sharsimon to'dalar va ular sistemalari bo'yicha kuzatuv ma'lumotlari, asosiy fizik xarakteristikalar orasidagi empirik formulalar, sharsimon to'dalar asosiy fizik xarakteristikalari, sharsimon to'dalar va sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida statistik bog'lanishlarni topish uchun kichik kvadratlar usuli, minimizatsiyalashning simpleks usuli va sharsimon to'dalar modeli parametrlari xatoligini aniqlash uchun χ^2 -usulidan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

sharsimon to'da markaziga nisbatan yulduzlar konsentratsiya darajasini ifodalovchi parametr va tezliklar anizotropiya parametri qiymatlari markaziy soha uchun Xabbl kosmik teleskopidan olingan kuzatuv ma'lumotlari asosida hisoblangan;

sharsimon to'dalarni sinflashtirish muammosi yechilgan va bizning Galaktikamiz sharsimon to'dalari klassifikatsiyasi ishlab chiqilgan. Konsentratsiya darajasi va sharsimon to'dalarning massasi, absolyut yulduz kattaligi, boylik darajasi va Galaktika markazidan uzoqligi orasida empirik formulalar topilgan;

441 ta sharsimon to'dalar sistemasidan iborat jamlanma katalog yaratilgan va turli xil mualliflar tomonidan aniqlangan usullar va kuzatuv ma'lumotlari uchun solishtirma tahlil bajarilgan;

spiral, noto'g'ri va karlik galaktikalar uchun sharsimon to'dalar sistemasi va ular galaktikalari asosiy xarakteristikalari orasida empirik bog'lanishlar aniqlangan;

sharsimon to'dalar sistemalari sinflashtirish muammolari tahlil qilingan. Sharsimon to'dalar sistemalari uchun sinflashtirish ishlab chiqilgan. Sharsimon to'dalar sistemalari fizik xarakteristikalari va virial parametr orasida empirik bog'lanishlar topilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

26 ta sharsimon to'dalar uchun to'da markaziga nisbatan yulduzlar konsentratsiya darajasini ifodalovchi parametr qiymatlari hisoblandi; 36 ta sharsimon to'dalar uchun tezliklar anizotropiya parametri qiymati aniqlandi. Sharsimon to'dalarda konsentratsiya darajasi va ularning boshqa fizik xarakteristikalari orasida statistik formulalar olindi va sharsimon to'dalar klassifikatsiyasi ishlab chiqildi;

sharsimon to'dalar sistemalari fizik xarakteristikalari qiyosiy tahlil qilindi. Sharsimon to'dalar sistemalari bo'yicha kuzatuv ma'lumotlari banki yig'ildi va shu asosida 441 ta sistemadan iborat jamlanma katalog yaratildi. Jamlanma katalogning statistik tahlili bajarildi, Sharsimon to'dalar sistemalari va ular galaktikalarining xarakteristikalari orasidagi empirik bog'lanishlar olindi. Xususan, galaktika absolyut yulduz kattaligining ortishi sharsimon to'dalar

sistemasining metallilik qiymati chiziqli ortishi ko'rsatildi. Turli morfologik tipdagi galaktikalar uchun galaktika absolyut kattaligi bilan sharsimon to'dalar umumiy soni orasida logarifmik bog'lanish topildi;

spiral, karlik va noto'g'ri tipdagi galaktikalar uchun sharsimon to'dalar sistemalari va ona galaktikalari fizik parametrlari orasida empirik bog'lanishlar topildi. Kuzatuv ma'lumotlari taxlili asosida 22,2 foiz sharsimon to'dalar sistemalari galaktikalar guruhlarida, 58,5 foizi esa to'dalarida kuzatilishi ko'rsatildi;

sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish masalasi tahlil qilindi, ular uchun sodda sinflashtirish ishlab chiqildi. Virial parametr va sharsimon to'dalar sistemalari asosiy xarakteristikalarini orasida korrelyatsiya koeffitsienti hisoblab topildi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tadqiqot ishida kuzatuv ma'lumotlari statistik taxlilining zamonaviy va yaxshi sinovdan o'tgan usullari, hisoblashning sonli usullari hamda matematik tahlil va matematik statistikaning yuqori aniqlikdaligi usullari qo'llanilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundaki, sharsimon to'dalar sistemalari jamlanma katalogi va uning statistik natijalari bunday sistemalarning paydo bo'lish muammolari va sharsimon to'dalar sistemalari va ular galaktikalarida sodir bo'layotgan evolyutsion jarayonlarini o'rganishda asos bo'ladi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati esa quyidagilar bilan izohlanadi: ushbu tadqiqot natijalari keyinchalik yangi sharsimon to'dalar sistemasini topish va ular fizikasidagi muammolarni o'rganishda qo'llaniladi. sharsimon to'dalar sistemalari katalogi, olingan empirik bog'lanishlar hamda sharsimon to'dalar sistemalari kelib chiqish mezonlarining qo'llanilishi ularning fizik va dinamik evolyutsiyasini o'rganishda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalarini yangi sharsimon to'dalar sistemalarini topishda va ular fizikasi muammolarini o'rganishda qo'llash mumkin. Ishlab chiqilgan sharsimon to'dalar va ular sistemalari klassifikatsiyasi, jamlanma katalog, olingan empirik formulalar, ularning fizik va dinamik evolyutsiyasini tahlil qilishda qo'llash mumkin.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dissertatsiya natijalari quyidagilarga joriy qilingan:

hisoblab topilgan tezliklar anizotropiya parametri va sharsimon to'da markaziga nisbatan konsentratsiya darajasi qiymatlari tarqoq to'dalar uchun xuddi shunday kattaliklarini aniqlashda foydalanildi (O'zbekiston Milliy universitetining 2022 yil 16 iyundagi 04/11-3467 sonli ma'lumotnomasi). Natijada, tarqoq to'dalar uchun anizotropiya parametri va konsentratsiya darajasi hisoblab topildi;

ishlab chiqilgan sharsimon to'dalar sinflashtirishi tarqoq to'dalarga nisbatan ham qo'llanildi (O'zbekiston Milliy universitetining 2022 yil 16 iyundagi 04/11-3467 sonli ma'lumotnomasi). Natijada tarqoq to'dalarni ham shunday sinflarga ajratish taklif etildi. Konsentratsiya darajasi bilan massa, absolyut kattalik, boylik indeksi, Galaktika markazigacha bo'lgan masofa orasida topilgan empirik

formulalar tarqoq to‘dalar uchun ham shunday formulalar mavjudligini tekshirish imkonini berdi;

sharsimon to‘dalar sistemalari katalogi turli tipdagi galaktikalarni o‘rganish imkonini berdi (O‘zbekiston Milliy universitetining 2022 yil 16 iyundagi 04/11-3467 sonli ma’lumotnomasi). Natijada, galaktikalarning strukturaviy hodisalari, shuningdek, spiral galaktikalarning sferik tashkil etuvchilari batafsil o‘rganildi;

spiral, karlik va noto‘g‘ri galaktikalar parametrlari va ularning sharsimon to‘dalar sistemalari xarakteristikalarini orasida topilgan empirik formulalardan disksimon galaktikalarning xuddi shunday kattaliklarini aniqlashda foydalanildi (O‘zbekiston Milliy universitetining 2022 yil 16 iyundagi 04/11-3467 sonli ma’lumotnomasi). Masalan, galaktika absolyut kattaligi va metallilik yoki sharsimon to‘dalar soni orasida topilgan bog‘lanish disksimon galaktikalarning absolyut kattaligini aniqlashda yordam berdi;

sharsimon to‘dalar sistemalari sinflashtirishidan spiral galaktikalardagi nohiziqli jarayonlarni o‘rganishda foydalanildi (O‘zbekiston Milliy universitetining 2022 yil 16 iyundagi 04/11-3467 sonli ma’lumotnomasi). Natijada, sharsimon to‘dalar sistemalarining sinfiga qarab galaktikalarni ham mos bo‘lgan guruhlariga ajratish mumkinligi aniqlandi. Mos sistemaning virial parametri qiymatini aniqlagan holdi empirik bog‘lanish orqali galaktikaning evolyutsion bosqichlari muammolarini o‘rganish mumkin. Shuningdek, dissertatsiya natijalari O‘zbekiston Milliy Universiteti bakalavriat talabalariga o‘qilayotgan “Galaktik astronomiya”, “Kosmogoniya muammolari” va magistraturadagi “Yulduz to‘dalari fizikasi” kabi maxsus kurslariga kiritilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 16 ta xalqaro va respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 44 ta ilmiy ish nashr qilingan, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 21 ta maqola, shulardan, 7 tasi xorijiy jurnallarda nashr qilingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, beshta bob, xulosa, adabiyotlar ro‘yxati va ilovadan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 179 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob’ekti va predmeti tavsiflangan, O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi, amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr qilingan ishlar, dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Birinchi bob **“Bizning Galaktikamiz sharsimon to‘dalari kuzatuv ma’lumotlari haqida”** deb nomlanib, unda Galaktikamizdagi sharsimon to‘dalarni kuzatuvdan olingan natijalarining qiyosiy taxlili keltirilgan. Sharsimon to‘dalar fizikasida mavjud muammolar qaralgan. Galaktikamiz sharsimon to‘dalar sistemasi joylashuvi va asosiy fizik parametrlariga ko‘ra ikki guruhga bo‘linishi ko‘rsatilgan. Sharsimon to‘dalar sistemasi orqali Quyoshning Galaktikadagi o‘rni, aniqrog‘i Quyoshdan Galaktika markazigacha bo‘lgan masofa ikki xil usul orqali aniqlangan (X-sentroid koordinatlari va nofazaviy usul). Sentroid usulida sharsimon to‘dalarning X-koordinatalari bo‘yicha Galaktika markazigacha masofa baholangan. Agar Galaktikadagi barcha 157 sharsimon to‘dalarni olsak, u holda Quyoshdan Galaktika markazigacha bo‘lgan masofa $R_0 = \bar{X} = 6,01$ kpk ga teng bo‘ladi (standart xatolik 1,01 kps). Agar Z-koordinata bo‘yicha chegaralagan holda, ya‘ni sharsimon to‘dalar $|Z| > 2.5$ kps masofada joylashganlarini istisno qilsak, bu holda 92 ta sharsimon to‘dalar uchun X-koordinatlari ma‘lum bo‘ladi va $R_0 = \bar{X} = 7,03$ kpk ga teng bo‘ladi (standart xatolik 0,29 kps). Shuningdek, Quyoshning Galaktikadagi o‘rnini aniqlashda nofazaviy usuldan ham foydalanilgan. Bu usuldan foydalanib, Galaktika markazidan Quyoshgacha bo‘lgan masofa qiymati $R_0 = 6,46$ kpk ga tengligi aniqlandi. Olingan natijalar turli yillarda har xil usullarda boshqa mualliflar tomonidan topilgan natijalar bilan taqqoslandi hamda aniqlangan qiymat xatoliklar doirasida mos tushishi ko‘rsatildi.

“Bizning Galaktika sharsimon to‘dalari sinflashtirish muammolari” deb nomlanuvchi ikkinchi bobda sharsimon to‘dalarni sinflashtirishning muammolari bo‘yicha tahlil natijalari keltirilgan. Sharsimon to‘dalarning tezliklar anizotropiya parametri va to‘da markaziga nisbatan yulduzlar konsentratsiyasi darajasi bo‘yicha sinflashtirilishi ishlab chiqildi. Kuzatuv ma’lumotlari bo‘yicha 36 ta sharsimon to‘da uchun tezlik anizotropiyasi parametri hisoblab topildi va sharsimon to‘dalarlar tezlik anizotropiyasi parametri bo‘yicha uchta guruhga ajratildi.

Guruhlar	A bo‘yicha interval	Sharsimon to‘dalar soni
I	$0.0 \leq A < 0.5$	16
II	$0.5 \leq A < 1.0$	9
III	$1.5 \leq A < 2.0$	11

1-jadvalda sharsimon to‘dalar ushbu guruhlarining bir qator xarakteristikalarini o‘rtacha qiymatlari berilgan: guruh a‘zolarining Galaktika markazigacha bo‘lgan masofasining o‘rtachasi $\langle R \rangle$, metalliligi $\langle [Fe/H] \rangle$, yoshi $\langle t \rangle$, sharsimon to‘dalarning o‘lchami $\langle D_g \rangle$ va boylik indeksi $\langle IR \rangle$.

1-jadval. Sharsimon to‘daning uch guruhining asosiy xarakteristikalarini o‘rtacha qiymatlari

Guruh	$\langle R \rangle$ [kpk]	$\langle [Fe/H] \rangle$	$\langle t \rangle$	$\langle D_g \rangle$ [pk]	$\langle IR \rangle$
I	10.21	-1.41	10.18	7.10	0.55
II	21.39	-1.57	10.16	6.35	0.66
III	54.23	-1.59	10.13	7.41	0.41

Sharsimon to‘dalarning I guruhi II guruhiga qaraganda Galaktika markaziga o‘rtacha ikki marta yaqinroq joylashgan, III guruhi esa Galaktikaning tashqi

qismida joylashgan. To‘dalar metalliligi va yoshi o‘rtacha qiymati masofa ortishi bilan kamayishi aniqlandi. I va III guruh to‘dalarining o‘rtacha o‘lchami II guruh a‘zolaridan kattaroq. Qizig‘i shundaki, II guruhdagi boylik darajasi qolgan ikki guruhlardan ko‘ra ko‘proq ekanligi ko‘rsatildi.

Sharsimon to‘dalar qo‘shimcha parametrlarini aniqlash maqsadida to‘da markaziga nisbatan yulduzlar konsentratsiyasi kuzatuv ma‘lumotlari bilan bog‘liq bo‘lgan konsentratsiya parametri γ ni kiritish taklif etildi. Sirtiy zichlik taqsimot funksiyasi $\sigma(r)$ ni ifodalovchi quyidagi formula orqali aniqlanuvchi model tanlab olindi:

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

bu yerda σ_0 , r^* , γ erkin parametrlar, ya‘ni γ – to‘da markaziga nisbatan yulduzlar konsentratsiya darajasi bilan bog‘liq parametr, r^* - sharsimon to‘da yadrosining radiusi r_c bilan bog‘liq kattalik va σ_0 – markazdagi ko‘rinma zichlik. [1] maqolada keltirilgan ma‘lumotlardan foydalangan holda γ parametrning qiymatlari 26 ta sharsimon to‘da uchun aniqlandi. Buning uchun biz minimumlashtirishning ikkita usulidan foydalandik: simpleks va χ^2 . Natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Sharsimon to‘da modeli parametrlari va konsentratsiya darajasini hisoblash natijalari

N_2	Sharsimon to‘da nomi	γ	$\Delta \gamma$	r^*	Δr^*	σ_0	$\Delta \sigma_0$
1	NGC 104	0.73	0.24	18.68	8.52	7.69	0.96
2	NGC 288	1.38	0.96	93.75	63.18	0.17	0.16
3	AM 1	1.72	1.19	14.63	9.71	0.47	0.45
4	Eridanus	1.51	0.60	19.87	7.86	0.86	0.15
5	NGC 1851	0.99	0.36	4.78	2.05	5.62	1.17
6	NGC 1904	0.91	0.27	7.42	3.32	5.70	1.34
7	NGC 2419	1.18	0.33	20.06	6.39	3.60	0.43
8	Palomar 3	2.11	0.91	48.45	18.21	0.04	0.01
9	Palomar 4	2.16	1.01	39.31	15.01	0.04	0.01
10	NGC 5024	1.00	0.24	22.08	7.41	2.96	0.40
11	NGC 5272	0.81	0.23	17.21	7.72	3.10	0.51
12	NGC 5466	1.48	0.60	102.88	38.95	0.10	0.01
13	NGC 5824	0.73	0.17	2.71	1.12	7.56	1.34
14	NGC 5904	0.68	0.14	14.64	5.31	4.07	0.53
15	Palomar 14	0.99	0.47	38.37	21.65	0.25	0.06
16	NGC 6121	0.81	0.35	47.43	30.39	0.26	0.09
17	NGC 6205	1.05	0.32	48.22	15.18	3.58	0.31
18	NGC 6229	1.02	0.34	8.27	3.28	5.26	0.78
19	NGC 6254	1.02	0.28	38.33	14.38	0.50	0.08
20	NGC 6266	0.86	0.21	12.44	4.17	10.40	1.21
21	NGC 6341	1.03	0.46	14.54	8.28	2.54	0.81
22	Terzan 5	1.31	0.45	10.28	3.87	7.17	1.06
23	NGC 6626	0.71	0.18	6.85	3.18	2.36	0.58
24	NGC 6809	0.85	0.35	69.07	40.75	0.20	0.06
25	NGC 6864	1.18	0.46	5.71	2.50	16.82	3.01
26	NGC 7089	0.89	0.29	12.43	5.80	3.13	0.71

Ko‘rinib turibdiki, konsentratsiya darajasi qiymatlari (0.65; 2.15) intervalda yotadi. Konsentratsiya parametri bo‘yicha sharsimon to‘dalarni 4 ta sinfga ajratish mumkin.

Sinflar	Nomi	γ bo‘yicha interval
a	Eng zich	$\gamma \leq 0.90$
b	O‘rtacha zich	(0.90; 1.15]
c	O‘rtacha siyrak	(1.15; 1.40]
d	Siyrak	$\gamma > 1.40$

Shunday qilib, sharsimon to‘dalarni Shepli-Soyer kabi 12 ta sinfga emas, balki 4 ta sinfga ajratgan ma‘qul. Konsentratsiya darajasi bo‘yicha intervalni ixtiyoriy paytda yanayam aniqlashtirish mumkin. Sharsimon to‘dalarni sinflashtirish nuqtai nazaridan konsentratsiya darajasining boshqa fizik xarakteristikalar bilan korrelyatsiyasini aniqlash muhim hisoblanadi.

Sharsimon to‘dalar asosiy xarakteristikalarini bilan konsentratsiya darajasi γ ning turli xil bog‘lanishlari ko‘rib chiqildi. Hisoblangan korrelyatsiya koeffitsienti qiymatidan ma‘lum bo‘ldiki, konsentratsiya darajasi sharsimon to‘dalarning ayrim xarakteristikalarini bilan chiziqli bog‘langan. Masalan, konsentratsiya darajasi γ sharsimon to‘da massasiga chiziqli ravishda bog‘liq (korrelyatsii koeffitsient -0.68 teng):

$$\gamma = -0.46(\pm 0.10) \lg \frac{M}{M_{\odot}} + 3.65(\pm 0.56). \quad (2)$$

Sharsimon to‘dalar massasi qanchalik katta bo‘lsa, konsentratsiya darajasi γ shunchalik kichik, ya‘ni sharsimon to‘da shunchalik zichroq. Shuningdek, konsentratsiya darajasi va Galaktika markazigacha bo‘lgan masofa orasida ham chiziqli bog‘lanish borligi (korrelyatsiya -0.76 ga teng) aniqlandi:

$$\gamma = 0.087(\pm 0.007)R_G + 0.008(\pm 0.001). \quad (3)$$

Ko‘rinib turibdiki, Galaktika markazidan uzoqlashgan sari γ ning qiymati o‘sib boradi, ya‘ni sharsimon to‘da konsentratsiyasi asta sekin kamayib boradi.

γ va sharsimon to‘da absolyut yulduz kattaligi orasidagi korrelyatsiya koeffitsienti 0.76 ga teng, unga mos holdagi empirik formula quyidagicha:

$$\gamma = 0.19(\pm 0.03)M_V + 2.50(\pm 0.25). \quad (4)$$

To‘da markaziga nisbatan konsentratsiya qanchalik katta bo‘lsa, sharsimon to‘da shunchalik yorqin bo‘ladi. Bu hodisa hisoblash natijalarga ko‘ra konsentratsiya darajasi o‘sgan sari sistemaning xarakterli o‘lchami o‘rta hisobda kichiklashishi bilan bog‘liq.

Konsentratsiya darajasi γ va King parametri “c” orasidagi korrelyatsiya koeffitsienti -0.63 va u quyidagicha chiziqli bog‘lanishga ega:

$$\gamma = -0.69(\pm 0.17)c + 2.13(\pm 0.26). \quad (5)$$

Shuningdek, konsentratsiya darajasi γ boylik indeksiga ham chiziqli bog‘liq (korrelyatsiya koeffitsienti -0.74 teng) va ular orasidagi bog‘lanish quyidagicha:

$$\gamma = -1.38(\pm 0.28)IR + 1.86(\pm 0.17). \quad (6)$$

Qayd etish kerakki, konsentratsiya darajasi γ sharsimon to‘da yoshiga juda ham kuchsiz bog‘langan. Bu holdagi korrelyatsiya koeffitsienti -0.43 ga teng.

Hisoblashlar ko'rsatdiki, to'daning yoshi qanchalik katta bo'lsa u shunchalik zichroq bo'ladi.

Gaia dasturi [2] doirasida olingan sharsimon to'dalar kuzatuv ma'lumotlari Xabbl teleskopida [1] olingan kuzatuv ma'lumotlaridan yomon ekanligini alohida ta'kidlab o'tamiz.

Dissertatsiyaning "**Galaktikalar sharsimon to'dalar sistemalari va ularning jamlanma katalogi**" deb nomlangan uchinchi bobida sharsimon to'dalar sistemalari kuzatuvlariga oid tadqiqot ishlari natijalari tahlil qilingan. Sharsimon to'dalar sistemalari fizikasida mavjud bo'lgan muammolar qaralgan va sharsimon to'dalar sistemalari bo'yicha kuzatuvlar ma'lumotlarining tahlili asosida 441 ob'ektni o'z ichiga olgan jamlanma katalog tuzilgan. Tuzilgan jamlanma katalogning umumiy statistik tahlili natijalari keltirilgan.

Katalogda sharsimon to'dalar sistemalariga ega bo'lgan spiral galaktikalarga nisbatan elliptik galaktikalarning umumiy soni taxminan $N_{ellip}/N_{spiral}=3,82$ ga teng. Protsent ko'rsatkichi nuqtai nazaridan galaktikalarning o'zaro nisbati jamlanma katalogda quyidagicha:

$$E : (S0 + SB0) : (S + SB) : Ir = 54 : 26 : 14 : 6, \quad (7)$$

bunda elliptik galaktikalar soni boshqa tipdagi galaktikalarga qaraganda 1.16 nisbatda ko'pdir. Elliptik galaktikalar bosiqqligi ortgan sari ularning soni kamayadi.

3-jadvalda sharsimon to'dalar sistemalari jamlanma katalogida mavjud bo'lgan galaktikalar tiplari bo'yicha boshqa tadqiqotlar bilan qiyosiy tahlil qilingan.

3-jadval. Sharsimon to'dalar sistemalariga ega bo'lgan kataloglarning qiyosiy tahlili

	Soni	E, %	S0+SB0, %	S+SB, %	Ir, %
[3] maqolada	60	57	15	23	5
[4] maqolada	82	69	11	17	3
[5] maqolada	136	54	31	12	3
[6] maqodala	422	58	23	13	6
Mazkur ishda	441	54	26	14	6

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, har bir ishda sharsimon to'dalar sistemalariga ega bo'lgan elliptik galaktika boshqa tipdagi galaktikalarga qaraganda ancha ko'p qismini tashkil etadi. Biroq, elliptik galaktikalarni bosiqqligi bo'yicha E_n ko'rinishida alohida ajratsak, unda S0 tipdagi galaktikalar asosiy o'rinni egallaydi, undan keyin E0, E1, E3, E4, SB0 va boshqalar.

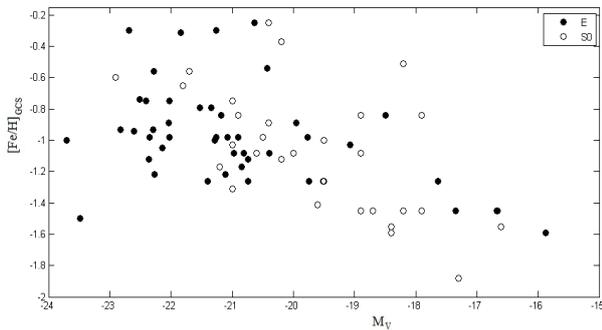
Sharsimon to'dalar sistemalari jamlanma katalogida 238 ta ob'ekt elliptik galaktikalar, 117 tasi linzasimon, 61 tasi spiral va 23 tasi esa noto'g'ri galaktikalarga to'g'ri keladi. Aytish joizki, spiral va noto'g'ri galaktikalar atrofidigi sharsimon to'dalar sistemalari elliptik va linzasimon galaktikalar sharsimon to'dalar sistemalariga qaraganda miqdor (to'dalari soni) jihatdan ancha kambag'aldir.

Kuzatuv ma'lumotlari tahlili asosida 22,2 foiz sharsimon to'dalar sistemalari galaktikalar guruhlarida va 58,5 foizi esa – galaktikalar to'dalarida kuzatilishi ham aniqlandi. Bu borada sharsimon to'dalar sistemasiga ega bo'lgan

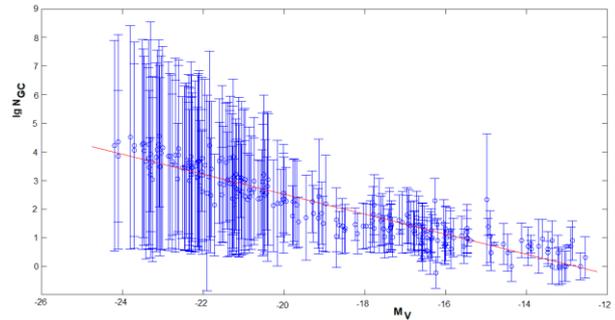
galaktikalar to‘dolari orasida birinchi o‘rinni Parizod to‘dasi (≈ 55 foiz), keyin Pech (≈ 21 foiz) va Veronika Sochlari (≈ 8 foiz) to‘dasi egallaydi.

“Sharsimon to‘dalar sistemalari uchun empirik bog‘lanishlarni topish” deb nomlangan to‘rtinchi bob sharsimon to‘dalar sistemalari jamlanma katalogining statistik tahlili, sharsimon to‘dalar sistemalari va ular galaktikalari xarakteristikalari orasidagi empirik bog‘lanishlarni izlash kabi masalalarga bag‘ishlangan.

Sharsimon to‘dalar sistemalari fizikasi nuqtai nazaridan ularning metalliligi va ular galaktikalari absolyut yulduz kattaligi orasidagi bog‘lanishni aniqlash muhim sanaladi. 1-rasmda elliptik va linzasimon galaktikalar uchun shunday bog‘lanish berilgan.



1-rasm. Sharsimon to‘dalar sistemasi metalliligining ular galaktikasi absolyut yulduz kattaligiga bog‘liqligi (ochiq doira – S0 galaktikalar, qora doiralar – E-galaktikalar)



2-rasm. Sharsimon to‘dalar sistemasidagi to‘dalar sonining ular galaktikasi absolyut yulduz kattaligiga statistik bog‘liqligi (E-galaktikalar uchun)

Galaktikalarning alohida tiplari borasidagi kuzatuv ma’lumotlari tahlili shuni ko‘rsatadiki, sharsimon to‘dalar sistemalari metalliligi ular galaktikalari absolyut yulduz kattaligiga chiziqli ravishda bog‘liq:

$$[Fe / H] = -2.91(\pm 0.42) - 0.09(\pm 0.02)M_V \text{ (E tip uchun),} \quad (8)$$

$$[Fe / H] = -4.22(\pm 0.79) - 0.16(\pm 0.04)M_V \text{ (S0 tip uchun).} \quad (9)$$

Topilgan (8) va (9) bog‘lanishlar galaktika qanchalik yorqin yoki absolyut yulduz kattaligi moduli katta bo‘lsa, sistema metalliligi o‘rta hisobda shunchalik ortib borishini bildiradi. Bu munosabatlarda koeffitsientlar xatoligi yetarlicha kichikdir.

2-rasmda elliptik galaktikalar sistemasidagi sharsimon to‘dalar soni N_{GC} bilan galaktika absolyut yulduz kattaligi orasidagi bog‘lanish ko‘rsatilgan. Elliptik va linzasimon tipdagi galaktikalar uchun alohida o‘rganishlar natijasida ushbu parametrlar o‘rtasidagi logarifmik bog‘liqlik aniqlandi. Aniqrog‘i, elliptik galaktikalar uchun

$$\lg N_{GC} = -4.48(\pm 0.22) - 0.35(\pm 0.01)M_V, \quad (10)$$

linzasimon galaktikalar uchun esa –

$$\lg N_{GC} = -6.27(\pm 0.50) - 0.42(\pm 0.03)M_V. \quad (11)$$

Keyinchalik, elliptik galaktikalar sharsimon toʻdalar sistemalari soni bilan ularning bosqlik darajasi orasidagi statistik bogʻlanish tahlil qilindi. Bu holda quyidagicha empirik bogʻlanish borligi aniqlandi:

$$N = 39.04 (\pm 4.03) - 3.95 (\pm 0.80) n . \quad (12)$$

Koʻrinib turibdiki, elliptik galaktikalar bosqlik darajasi ortishi bilan ularning soni chiziqli ravishda kamayib boradi.

Tahlillardan aniqlandiki, elliptik galaktikalar bosqlik darajasi ortishi bilan sharsimon toʻdalar sistemasidagi toʻdalarning logarifmik soni kamayib boradi:

$$\lg < N_{GC} > = 3.83 (\pm 0.14) - 0.23 (\pm 0.03) n . \quad (13)$$

Qiziqarlisi shundaki, yuqorida aniqlangan bogʻlanishlar (8)-(13) ning oʻng tomoni kvadratik bogʻlanishdan koʻra chiziqli koʻrinishda yaxshiroq approksimatsiyalanishi aniqlandi. Yana shuni aytish kerakki, 136 ta obʻektdan iborat katalogda [5] elliptik va linzasimon galaktikalar sharsimon toʻdalar sistemalari uchun ular fizik parametrlari orasidagi empirik bogʻlanishlar aniqlangan.

Shuningdek, normal spiral galaktikalar uchun ham statistik tahlil qilinganda, spiral tarmoqlarning yadroga oʻralganlik darajasi oʻsishi bilan ulardagi Sharsimon toʻdalar soni oʻrta hisobda ortib borishi aniqlandi:

$$\lg < N_{GC} > = 2.95 (\pm 0.25) - 0.24 (\pm 0.06) T_n , \quad (14)$$

bu yerda T_n – normal spiral galaktika tipining kodini bildiradi.

Maʼlumki, galaktika absolyut yulduz kattaligi sharsimon toʻdalar soni bilan korrelyatsiyalanadi. Spiral galaktikalar uchun ham shunday empirik bogʻlanish borligi aniqlandi:

$$\lg N_{GC} = -3.43 (\pm 0.46) - 0.27 (\pm 0.02) M_V . \quad (15)$$

(15) formulaning elliptik va linzasimon galaktikalar uchun topilgan empirik bogʻlanish formulalari bilan qiyosiy tahlili shuni koʻrsatdiki, aniqlagan koeffitsentlarda yetarlicha farqlar mavjud. Boshqa tomondan, absolyut kattalikning galaktika tipi bilan bogʻliqligini hamma tipdagi galaktikalar uchun koʻrish muhimdir. Unday holda biz quyidagini aniqlaymiz:

$$M_V = -22.00 (\pm 0.50) + 0.50 (\pm 0.09) T . \quad (16)$$

Bunday bogʻlanish normal va barsimon spiral galaktikalar uchun ham alohida aniqlandi:

$$M_V = -22.57 (\pm 0.62) + 0.61 (\pm 0.13) T , \quad (\text{S-uchun}) \quad (17)$$

$$M_V = -20.84 (\pm 0.89) + 0.35 (\pm 0.14) T , \quad (\text{SB-uchun}) \quad (18)$$

Bugungi kunda faqatgina bir necha spiral galaktikalar sharsimon toʻdalar sistemalari uchun metallilik [Fe/H] qiymati maʼlum, xolos. Shunday boʻlsada, biz keyingi olib borilishi mumkin boʻlgan tadqiqot ishlari uchun ushbu kattaliklar orasidagi bogʻlanishni aniqladik:

$$[Fe/H] \approx -8.84 (\pm 2.43) - 0.36 (\pm 0.11) M_V , \quad (19)$$

lekin bu hali qoʻshimcha tadqiqotlarni talab etadi. Ushbu bogʻlanishni elliptik galaktikalar uchun taqqoslaganda, metallilik [Fe/H] qonuniyati M_V bilan deyarli bir xil ekanligi aytish kerak.

Agar sharsimon to‘dalar sistemalari jamlanma katalogidagi ma’lumotlardan, sharsimon to‘dalar sistemalari N_S soni bilan karlik galaktikalar tipi (aniqrog‘i, ular bosiqliqi n_e) orasida chiziqli qonuniyat borligini ko‘rish mumkin:

$$N_S = 15.21(\pm 2.97) - 1.38(\pm 0.59)n_e. \quad (20)$$

Shunday qilib, karlik galaktikalar sharsimon to‘dalar sistemalari soni o‘rta hisobda bosiqlik ortgan sari kamayadi. Qizig‘i shundaki, normal elliptik galaktikalardan farqli ravishda, karlik elliptik galaktikalarning $n_e = 7$ tipida sharsimon to‘dalar sistemalari kuzatiladi.

Galaktika absolyut yulduz kattaligi bilan sistemadagi sharsimon to‘dalar soni orasida bog‘lanish mavjudligi aniqlandi:

$$\lg N_{GC} = -2.79(\pm 0.34) - 0.24(\pm 0.02)M_V. \quad (21)$$

Karlik galaktikalar absolyut yulduz kattaligi va sharsimon to‘dalar sistemalari metalliligi orasida korrelyatsiyani aniqlash uchun kuzatuv ma’lumotlari juda kam. Lekin, shunga qaramasdan, biz ushbu bog‘lanishni aniqlashga harakat qildik:

$$[Fe/H] \approx -3.93(\pm 0.25) - 0.15(\pm 0.01)M_V. \quad (22)$$

Agar karlik galaktikalar sharsimon to‘dalar sistemalari normal elliptik galaktikalarniki bilan birgalikda qarash, unda topilgan empirik bog‘lanishlar quyidagicha bo‘ladi:

$$N_S = 39.04(\pm 4.03) - 3.95(\pm 0.80)n_e. \quad (23)$$

Yuqoridagi tahlillardan shuni xulosa qilish mumkinki, karlik galaktikalar sharsimon to‘dalar sistemalari fizikaviy xususiyatlari jihatdan normal elliptik galaktikalarnikidan tubdan farq qiladi.

4-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, noto‘g‘ri galaktikalarda to‘dalar soniga ko‘ra Sm-tipdagi galaktikalar yetakchilik qiladi, biroq u boshqalariga nisbatan yaqinroq joylashgan. Bundan tashqari, karlik noto‘g‘ri galaktikalarda to‘dalar kam, ular galaktikalari absolyut yulduz kattaligi bo‘yicha ham xiradir.

4-jadval. Sharsimon to‘dalar sistemalari fizik xarakteristikalari o‘rtacha qiymatlari

Tiplar	Soni	O‘rtacha qiymatlar				
		N_{GC}	D, Mps	S_N	$(m - M)$	M_V
Sm	5	11	2.053	3.10	22.84	-16.92
Im	13	7	5.382	4.79	27.98	-15.24
dIr	5	5	9.574	3.29	29.47	-15.18

Noto‘g‘ri galaktikalar uchun galaktika absolyut yulduz kattaligi ortishi bilan sistemasidagi to‘dalar soni ortishini ko‘rsatish mumkin:

$$\lg N_{GC} = -2.365(\pm 0.706) - 0.195(\pm 0.045)M_V. \quad (24)$$

Statistikaga ko‘ra, boshqa galaktikalardagi sharsimon to‘dalar sistemalari galaktika massasi qancha katta bo‘lsa sharsimon to‘dalar sistemalari massasi ham shuncha katta bo‘lishi ma’lum. Shuni inobatga olgan holda, sistemadagi to‘dalar sonining galaktika massasiga bog‘lanishini topilgan:

$$\lg N_{GC} = -4.607(\pm 0.102) + 0.902(\pm 0.018)\lg M. \quad (25)$$

Shunday qilib, ilk bor spiral, karlik va noto'g'ri galaktikalar sharsimon to'dalar sistemalari kuzatuv ma'lumotlari tahlili bajarildi.

“Sharsimon to'dalar sistemalari sinflashtirishining nazariy jihatlari” deb nomlangan beshinchi bobda sharsimon to'dalar sistemalari sinflashtirish muammolari ko'rib chiqilgan. Hozirgacha hech kim sharsimon to'dalar sistemalarini amalda qo'llash uchun eng oddiy sinflashtirishni ishlab chiqishga harakat ham qilmagan. Ular bo'yicha to'plangan kuzatuv ma'lumotlari va ushbu ob'ektlar fizikasini chuqur o'rganish nafaqat ularning statistik xususiyatlarini tahlil qilishni, balki ularni oddiy sinflashtirishni ham tahlil qilishni talab qiladi. Sharsimon to'dalar sistemalarini sinflarga ajratish muammolarini o'rganish ularning paydo bo'lishi hamda evolyutsiyasi nazariyasini tuzish uchun ham foydalidir. Xabla kamertoni galaktikalarining barcha tiplari galaktikalar tipidan qat'iy nazar yoki alohida har bir galaktika tipi bo'yicha sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish ham har xil bo'lishi mumkin.

Shuningdek, sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish bilan bevosita bog'liq bo'lgan solishtirma chastotasi muammosi ham o'rganilib, u o'z galaktikasining absolyut kattaligiga kvadratik shakldagi bog'liqligi aniqlandi.

Mavjud kuzatuv ma'lumotlarini sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish nuqtai nazaridan tahlil qilish juda qiyin vazifa hisoblanadi. Shunga qaramay, bu yerda hozirgacha faqat ikkita mumkin bo'lgan oddiy sinflashtirish taklif qilingan: biri sistemadagi to'dalarning boylik darajasiga ko'ra, ikkinchisi esa ona galaktikasining yorqinligi bo'yicha.

Sistemadagi sharsimon to'dalarning boylik darajasiga ko'ra, shartli ravishda beshta bir-biridan farq qiladigan sinflarni ajratish mumkinligi ko'rsatildi. Aniqlanishicha, juda kambag'al sharsimon to'dalar sistemalarining A sinfini e'tiborsiz qoldirib bo'lmaydi, chunki katalogda bunday galaktikalar soni 27 tani tashkil etadi. Ular o'nlab to'dalarni o'z ichiga oladi va bu galaktikalarning o'zlari, asosan IrII va E6 tiplariga kiradi. Aksincha, boy sharsimon to'dalar sistemalari (D sinfi) bir necha ming to'dalarni o'z ichiga oladi va galaktikalari E1, E2 yoki E3 tiplariga kiradi. Nihoyat, eng boy sinfga (E sinfga) bir necha o'n minglab to'dalar kiradi va galaktikalari cD va E0 tiplariga mansubdir.

Galaktikaning yorqinligiga ko'ra, sharsimon to'dalar sistemalari beshta sinfga bo'linishi ko'rsatildi: eng yorqin, yorqin, o'rtacha yorqin, yorqinligi xira, eng xira yoki karlik. Bundan tashqari, solishtirma chastotaning qiymatidan foydalanib, sharsimon to'dalar sistemalari bo'yicha ham beshta sinfga bo'linishi ko'rsatildi.

Taklif qilingan sharsimon to'dalar sistemalarining ushbu sinflashtirishlari biroz soddaroq. Shuning uchun sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish uchun quyidagi yordamchi parametrlar kiritildi: tezliklar dispersiyasining anizotropiya parametri, sharsimon to'dalar sistemalari markaziga nisbatan konsentratsiya darajasi va sharsimon to'dalar boshlang'ich protosistemasining virial parametri.

Kuzatuv ma'lumotlari asosida 18 ta sharsimon to'dalar sistemalari uchun anizotropiya parametrining qiymatlarini hisoblab aniqlandi. Topilgan qiymatlar va

sharsimon to‘dalar sistemalarining fizik xarakteristikalarini orasidagi korrelyatsiya koeffitsientlarini hisoblab chiqildi va anizotropiya parametri hech qanday fizik xarakteristikalar bilan bog‘liq emasligi aniqlandi. Bu shuni anglatadiki, anizotropiya parametriga ko‘ra sharsimon to‘dalar sistemalarini sinflarga ajratib bo‘lmaydi.

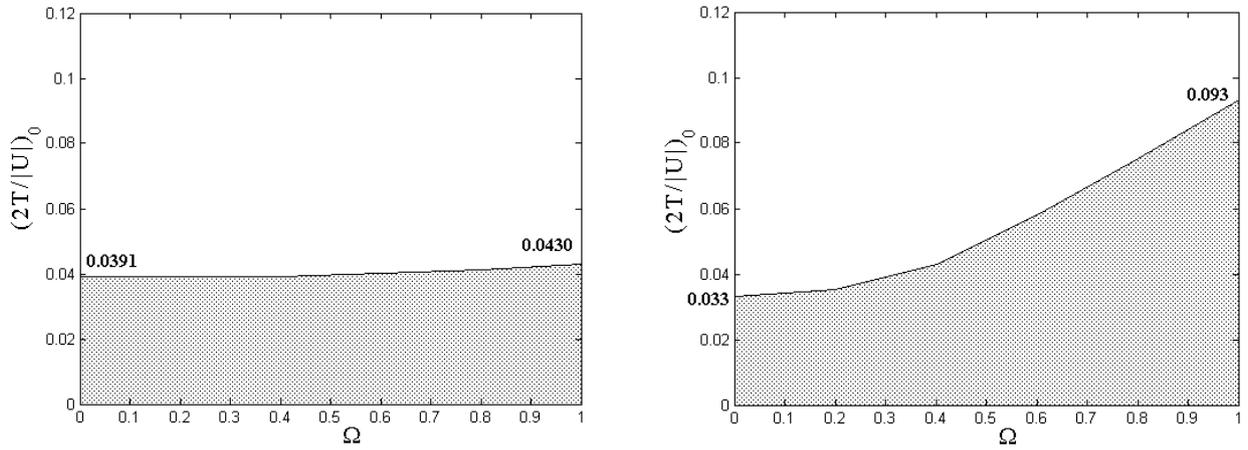
Keyinchalik, biz kuzatuv ma‘lumotlari asosida bir qator sharsimon to‘dalar sistemalari uchun galaktika markaziga nisbatan ko‘rinma zichlik taqsimot profilini chizdik. Aniqlanishicha, bu taqsimot deyarli sferik, lekin bizning (1) modelimizdan tubdan farq qiladi, ya‘ni ular uchun konsentratsiya darajasini aniqlash metodikasini qo‘llab bo‘lmaydi. Undan tashqari, konsentratsiya darajasi va sharsimon to‘dalar sistemalarining fizik parametrlari orasida hech qanday bog‘liqlik topilmadi.

Sharsimon to‘dalar sistemalarini sinflashtirishda qandaydir tarzda aniqlanishi mumkin bo‘lgan yordamchi parametrni topish qiyin masalalardan biridir. Shuning uchun, biz sharsimon to‘dalar sistemalarini sinflashtirish muammosiga yechim bo‘ladigan mos protogalaktikaning boshlang‘ich holatini tavsiflovchi parametrni kiritdik, chunki bunday sinflashtirish sharsimon to‘dalar sistemalarining kuzatuv xarakteristikalarini bilan bog‘liq bo‘ladi.

Sharsimon to‘dalar sistemalari protobulutining boshlang‘ich holati va protogalaktikaning o‘zi ushbu protogalaktikaning kollapsi boshlanish momentida virial parametrning qiymati bilan tavsiflanishi mumkin. Virial parametrning qiymati o‘z navbatida to‘g‘ridan-to‘g‘ri kollapslanuvchi protogalaktikaning dinamik xarakteristikalariga, xususan, beqarorlik inkrementi, sharsimon to‘dalar sistemalari protobulutining aylanish parametri va boshqalarga bog‘liq. Virial parametrning qiymatlari kollapslanuvchi protobulutning tanlangan modelining beqarorlik muammosini o‘rganish orqali aniqlanadi. Shuning uchun biz turli xil tebranish modalarining beqarorlik masalalarini muhokama qildik va keyin sharsimon to‘dalar sistemalarining sinflashtirish muammosini o‘rgandik.

Radial harakat beqarorligi yuqori tartibli modalarda paydo bo‘lishini va sharsimon to‘dalar sistemalarining boylik darajasi bo‘yicha sinflashtirishni hisobga olib, aynan yuqori tartibli modalar olindi: $(N,m)=(11,3)$, $(12,4)$, $(13,5)$, $(14,4)$, $(15,5)$, $(16,6)$, $(17,5)$, $(18,6)$, $(19,7)$ i $(21,7)$. Ilgari ushbu modalar beqarorlik masalalari turli vaqtlarda ko‘rib chiqilib, olingan natijalar bir qator maqolalarimizda nashr etilgan. Bu yerda faqat aylanish parametrining juda kichik qiymatidagi boshlang‘ich virial parametrning kritik qiymatlarini qarash maqsadga muvofiqdir. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, keltirilgan tebranish modalari uchun ma‘lum boshlang‘ich sharoitlarda beqarorlik sharsimon to‘dalar soni kam va o‘rtacha sinfga mos keluvchi sistemalarning paydo bo‘lishiga olib keladi.

3-rasmda, misol tariqasida, ma‘lum tebranish modalari uchun virial parametrning model aylanish parametriga kritik bog‘liqlik grafigi keltirilgan.



3-rasm. $N=11, m=3$ (chapda) va $N=12, m=4$ (o'ngda) modalari uchun virial parametrlarning aylanish parametriga bog'liqligi

Natijalardan ma'lum bo'ldiki, tebranish modalarining tartibi ortib borishi bilan boshlang'ich virial parametrlarning kritik qiymati kamayadi, aniqrog'i, nolga intiladi. Ammo asosiy natija shundaki, virial parametrlarning barcha kritik qiymatlari 0,1 dan sezilarli darajada kichik. Bu to'dalarning kelib chiqish mexanizmini, ya'ni radial orbitalar beqarorligi tebranish modasining tartibi oshishi bilan beqarorlik sohasining asta-sekin kamayishini ko'rsatadi, ya'ni beqarorlik nisbatan "sovuq" holatni talab qiladi.

Radial orbitalarning beqarorligi va sharsimon to'dalar sistemalari sinflashtirish orasida bog'liqlikni o'rganish uchun biz 5- va 6-jadvallarni tuzdik.

5-jadval. Sharsimon to'dalar sistemalari boshlang'ich virial parametrlarning kritik qiymatlari

N, m	$(2T/ U)_0$ qiymatlari					
	$\Omega=0.0$	$\Omega=0.2$	$\Omega=0.4$	$\Omega=0.6$	$\Omega=0.8$	$\Omega=1.0$
11,3	0,0391	0,0390	0,0390	0,0400	0,0410	0,0430
12,4	0,0330	0,0350	0,0430	0,0580	0,0750	0,0930
13,5	0,0280	0,0280	0,0285	0,0290	0,0300	0,0315
14,4	0,0240	0,0240	0,0240	0,0250	0,0260	0,0260
15,5	0,0210	0,0210	0,0210	0,0215	0,0220	0,0230
16,6	0,0180	0,0180	0,0190	0,0190	0,0200	0,0200
17,5	0,0165	0,0165	0,0165	0,0170	0,0170	0,0175
18,6	0,0145	0,0145	0,0150	0,0150	0,0155	0,0160
19,7	0,0130	0,0130	0,0135	0,0135	0,0140	0,0145
20,8	0,0120	0,0120	0,0120	0,0125	0,0125	0,0130
21,7	0,0105	0,0105	0,0110	0,0110	0,0115	0,0120

6-jadval. Sharsimon to'dalar sistemalari va ular galaktikalarining asosiy fizik xarakteristikalarini

N, m	Tipik galaktika	Galaktika turi	N_{GC}	$\lg M$	S_N	[Fe/H]	M_V
11,3	NGC 891	Sb	70	7,31	0,3		-21,4
12,4	NGC 1375	SB0	86	7,27	0,5	-1,45	-19,16
13,5	NGC 4754	SB0	110	7,45	0,74		-20,53
14,4	NGC 3384	SB0	120	7,49	0,9		-20,49
15,5	NGC 4203	SB0	175	7,63	1,46	-1,12	-20,08
16,6	NGC 4442	SB0	178	7,66	1,98		-20,56
17,5	NGC 3379	E1	216	7,77	1,2	-0,98	-20,9

18,6	NGC 3377	E5	240	7,66	2,4	-0,89	-19,95
19,7	NGC 1344	E5	280	7,9	1,5		-21,18
20,8	NGC 4473	E5	376	8	0,93	-1,08	-20,81
21,7	NGC 1052	E4	400	8,04	1,9		-21,05

Keyin virial parametrning kritik qiymatlari va sharsimon to‘dalar sistemalarining xarakteristikalarini bilan korrelyatsiya hisoblab chiqildi. Natijada, virial parametrning kritik qiymatlari sharsimon to‘dalar sistemalarining asosiy fizik xarakteristikalariga yetarlicha ravishda bog‘liqligi aniqlandi. Eng kichik kvadratlar usulidan foydalanib, ushbu kattaliklar orasidagi empirik bog‘lanishlar topildi. Bu bog‘lanishlar $\Omega=0.0$ holat uchun quyida keltirilgan.

Virial parametrning sistemadagi sharsimon to‘dalar soniga bog‘liqligi

$$(2T/|U|)_0 = -7.37(\pm 0.36) \times 10^{-5} N_{GC} + 0.0359(\pm 0.0008). \quad (26)$$

Ko‘rinadiki, sharsimon to‘dalar soni qancha ko‘p bo‘lsa, virial parametrning kritik qiymati shunchalik kichik bo‘ladi.

Virial parametr va o‘z ona galaktikasining massasi orasidagi quyidagi statistik formulani topildi:

$$(2T/|U|)_0 = -0.0331(\pm 0.0012) \lg \mathcal{M} + 0.2746(\pm 0.0093). \quad (27)$$

Ko‘rinib turibdiki, ona galaktika massasining ortishi bilan sharsimon to‘dalar sistemasi virial parametrining kritik qiymati kamayadi.

Virial parametr va xususiy chastota orasidagi mos empirik formula quyidagicha ko‘rinishda:

$$(2T/|U|)_0 = -0.0106(\pm 0.0009) S_N + 0.0342(\pm 0.0012). \quad (28)$$

Virial parametr va sharsimon to‘dalar sistemasining metalligi orasidagi empirik formula:

$$(2T/|U|)_0 = -0.0348(\pm 0.0039) \left[\frac{Fe}{H} \right] - 0.0190(\pm 0.0044). \quad (29)$$

Virial parametrning kritik qiymatlari va sharsimon to‘dalar sistemalarining hamda ona galaktikasining asosiy fizik xarakteristikalarini orasidagi juda yaxshi korrelyatsiya mavjudligi ushbu sistemalar kollapslanuvchi protogalaktikaning radial beqarorligi tufayli paydo bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Shuning uchun har bir galaktika va sharsimon to‘dalar sistemalariga virial parametrning o‘ziga xos qiymati berilishi mumkin.

Yuqori tartibli tebranish modalarining beqarorligini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, virial parametr $(2T/|U|)_0$ yoki unga bog‘langan boshqa kattalik yordamida sharsimon to‘dalar sistemalarini sinflashtirish mumkin.

Adabiyotlarga havolalar

1. Miocchi P., Lanzoni B., Ferraro F.R., Dalessandro E., Vesperini E., Pasquato M., Beccari G., Pallanca C., Sanna N. The Astrophysical Journal, 2013, 774, 151
2. de Boer T.J.L., Gieles M., Balbinot E., Henault-Brunet V., Solima A., Watkins L.L., Claydon I. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2019, 485, 4906
3. Harris W.E. Annual review of Astronomy and Astrophysics, 1991, 29, 543
4. Ashman K, Zepf S. Globular cluster systems, Cambridge, England: Cambridge

University Press., 1998, 172 p.

5. Таджибаев И.У. Проблемы физики систем шаровых скоплений вокруг галактик и их анализ, Автореферат дисс. канд. наук, Ташкент, 2006
6. Harris W.E., Harris G.L.H., Alessi M. The Astrophysical Journal, 2013, 772, 82

XULOSALAR

“Sharsimon to‘dalar va ular sistemalari uchun empirik bog‘lanishlarni va sinflashtirishni topish muammolari” mavzusidagi doktorlik dissertatsiyasi tadqiqotlari natijasida quyidagi xulosalar olindi:

1. Sharsimon to‘dalarning deyarli 95 yillik sinflashtirish masalasining yechimi ko‘rsatildi. Sharsimon to‘dalar ko‘rinma zichligi bo‘yicha uchta parametrli modeli taklif qilindi: $\sigma(r, \gamma, r^*, \sigma_0) = \sigma_0 \left[1 + \left(\frac{r}{r^*} \right)^2 \right]^{-\gamma}$. Ushbu parametrlarning qiymatlari ular xatoliklari 26 ta sharsimon to‘da uchun ikkita minimizatsiya usulida topildi.
2. Konsentratsiya darajasi bilan sharsimon to‘dalar massasi, absolyut yulduz kattaligi, boylik darajasi va Galaktika markazidan uzoqligi va yoshi orasida empirik bog‘lanishlar aniqlandi.
3. Tezliklar anizotropiya parametri bo‘yicha sharsimon to‘dalar sinflarga ajratilishi ko‘rsatildi. Sharsimon to‘dalar tezliklar anizotropiya parametri bo‘yicha bir-biridan yaqqol ajraluvchi 3 ta guruhga bo‘lindi. Shuningdek, bu parametr bilan sharsimon to‘dalar asosiy xarakteristikalari orasida korrelyatsiya yo‘qligi ko‘rsatildi.
4. To‘da markaziga nisbatan konsentratsiya darajasi bo‘yicha sharsimon to‘dalar sinflashtirilishi ishlab chiqildi: 1) eng zich ($\gamma \leq 0.90$), 2) o‘rtacha zich ($0.90 < \gamma \leq 1.15$), 3) o‘rtacha siyrak ($1.15 < \gamma \leq 1.40$), 4) siyrak ($\gamma > 1.40$).
5. 441 ta sharsimon to‘dalar sistemasidan iborat jamlanma katalog tuzildi. Sharsimon to‘dalar sistemalari jamlanma katalogining statistik tahlili bajarildi hamda $E:(S0+SB0):(S+SB):Ir=54:26:14:6$ ekanligi ko‘rsatildi. Karliklar alohida o‘rganildi: ular 85 ta bo‘lib, ularning 90 foizini elliptik karlik galaktikalardagi sistemalar tashkil etishi aniqlandi. Kuzatuv ma‘lumotlari tahlilidan 22,2 foiz sharsimon to‘dalar sistemalari galaktikalar guruhlarida, 58,5 foizi - to‘dalarida kuzatilishi, shuningdek, ular orasida birinchi o‘rinda Parizod (55 foiz), keyingi o‘rinlarda Pech (21 foiz) va Veronika sochlari (8 foiz) to‘dalari bo‘lishi ko‘rsatildi. Bularning hammasida elliptik galaktikalar ustunlik qiladi.
6. Sharsimon to‘dalar sistemalari va ular galaktikalari fizik parametrlari orasida empirik bog‘lanishlar aniqlandi. Jumladan, galaktika M_V kattaligi ortishi bilan sharsimon to‘dalar sistemasi [Fe/H] qiymati chiziqli ravishda ortib borishi ko‘rsatildi. Alohida tipdagi galaktikalar uchun sistemadagi sharsimon to‘dalar logarifmik soni N_{GC} va galaktika absolyut yulduz kattaligi M_V orasida bog‘lanish borligi topildi. Topilgan empirik formulalar tabiati galaktika tipiga judayam bog‘liqligi ko‘rsatildi.

7. Sharsimon to'dalar sistemalarini sinflarga ajratish taklif etildi: 1) judayam kambag'al; 2) kambag'al; 3) to'dalari o'rtacha; 4) boy; 5) judayam boy. Sharsimon to'dalar sistemalari galaktikalar yorqinligiga ko'ra: 28 tasi yorug' o'tagigant, 115 tasi normal o'tagigant, 101 tasi yorug' gigant, 79 tasi normal gigant, 78 tasi yorug' karlik va 30 tasi normal karlik, bor-yo'g'i 6 tasi esa xira karlik galaktikalarga to'g'ri kelishi ko'rsatildi. Sharsimon to'dalar sistemasi galaktika M_V kattaligi bo'yicha 5 ta sinfga ajralishi aniqlandi: 1) juda yorug'; 2) yorug'; 3) o'rtacha yorug'; 4) xira; 5) judayam xira yoki karlik.
8. Ilk bor sharsimon to'dalar sistemalari fizik xarakteristikalarini va boshlang'ich virial parametr qiymatlari orasida empirik bog'lanishlar aniqlandi. Boshlang'ich virial parametr orqali ham sharsimon to'dalar sistemalarini sinflashtirish mumkinligi ko'rsatildi.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ
НАЦИОНАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ТИИИМСХ**

**ЧИРЧИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ТАДЖИБАЕВ ИКРАМ УРАЛБАЕВИЧ

**ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И
КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ И ИХ СИСТЕМ**

01.03.01 – астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора (Doctor of Science) физико-математических наук**

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора (DSc) физико-математических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2020.4.DSc/FM67.

Диссертация выполнена в Чирчикском государственном педагогическом университете.

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

Научный консультант: Нуритдинов Салахутдин Шаеритдинович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Райимбоев Джавлонбек Раджапбоевич
доктор физико-математических наук

Ахунов Талат Ахматович
доктор физико-математических наук

Минглибаев Мухтар Джумабекович
доктор физико-математических наук

Ведущая организация: Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится "22" 07 2023 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 при институте Фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета «ТИИМСХ» (Адрес: 100000, г.Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39; Тел.: (+99871) 237-09-61, e-mail: info@ifar.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре института Фундаментальных и прикладных исследований при Национальном исследовательском университете «ТИИМСХ» (регистрационный номер 9). (Адрес: 100000, г.Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39; Тел.: (+99871) 237-19-36, (+99871) 237-09-75, e-mail: info@ifar.uz).

Автореферат диссертации разослан "8" 07 2023 г.
(Реестр протокола рассылки № 9 от "8" 07 2023 г.)



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

Э.Х.Каримбаев
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, PhD

А.Б.Абдикамалов
Заместитель председателя научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор физико-математических наук

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Исследование шаровых скоплений и их систем является одной из важных задач не только астрофизики, но и современной наблюдательной космологии. Можно утверждать, что шаровые скопления являются одним из уникальных объектов Вселенной. Системы шаровых скоплений состоят преимущественно из относительно старых шаровых скоплений (их возраст 10-12 млрд. лет), которые находятся, в основном, в сферической составляющей галактик или вокруг их основного тела. Для решения ряда проблем физики шаровых скоплений и их систем, в первую очередь, необходимо создание банка наблюдательных данных путем тщательного анализа и сопоставления результатов, приведенных многочисленными авторами в их публикациях. Раскрытие физических свойств шаровых скоплений и их систем напрямую связано с изучением астрофизических характеристик их родительской галактики. Однако, до сих пор полностью отсутствуют физические зависимости между характеристиками систем шаровых скоплений и самих галактик для спиральных, неправильных и карликовых галактик, не разработана классификация не только систем шаровых скоплений, но и шаровых скоплений. Уже свыше 95 лет тянется решение проблемы классификации шаровых скоплений. Решение этих вопросов необходимо, в частности, для понимания физики и эволюции шаровых скоплений, разработки их космогонической теории и сравнения двух сценариев космологического происхождения галактик. Отсюда следует и актуальность диссертации, поскольку изучение физических свойств шаровых скоплений и их систем в галактиках является ключом для понимания проблем формирования их родительской галактики и происхождения скоплений и сверхскоплений галактик.

В нашей республике большое внимание уделяется наблюдательным аспектам исследования многих уникальных объектов Вселенной, в том числе шаровых скоплений и систем шаровых скоплений. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны, связаны со Стратегией¹ действий по развитию нового Узбекистана на 2022–2026 годы. В течение последних 20 лет в Национальном университете Узбекистана весьма активно проводились работы по созданию банка данных наблюдений по системам шаровых скоплений, с помощью анализа данных накоплен огромный уникальный наблюдательный материал. Пришло время обработать собранный нами материала и ответить на ряд нерешенных вопросов, так как до сих пор отсутствует анализ имеющихся весьма обширных данных наблюдений, не найдены достоверные эмпирические зависимости между их основными

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

физическими параметрами, не разработаны классификации шаровых скоплений и систем шаровых скоплений, отсутствуют попытки определения некоторых кинематических и динамических параметров этих систем и др.

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

Связь исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан – II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹. Наземные и космические наблюдения и проблемы физики шаровых скоплений и их систем проводятся в ведущих мировых обсерваториях, научных центрах, высших образовательных учреждениях, таких как: McMaster University (Канада), University of Michigan (США), University of California (США), Colorado State University (США), University of Arizona (США), University of Alabama (США), Institute for Astronomy, University of Hawaii (США), Herzberg Astronomy & Astrophysics Research Centre (Канада), Max-Planck-Institut für Astronomie (Германия), European Southern Observatory (Германия), Universidad de Concepción (Чили), Instituto de Astrofísica (Чили), Gemini Observatory South (Чили), Department of Astronomy (Китай), Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics (Китай), Centre for Astrophysics & Supercomputing (Австралия), INAF Osservatorio Astr. di Teramo, via Maggini (Италия), Observatoire de Strasbourg (Франция), Princeton University Observatory (США), University of Munchen (Германия), University of Tokyo (Япония), Yonsei University (Корея), Государственный астрономический институт имени Штернберга, Московский государственный университет, Астрономический институт имени Соболева Санкт-Петербургского государственного университета (Россия), Главная астрономическая обсерватория РАН (Пулково, Россия), Специальная астрофизическая обсерватория РАН (Россия), Крымская астрофизическая обсерватория, Киевский Национальный университет (Украина), Львовский Национальный университет (Украина), Уральский Федеральный университет (Россия), Национальный университет Узбекистана и Чирчикский государственный педагогический университет (Узбекистан).

¹Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации составлен на основе: http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html, <https://arxiv.org>, <https://ned.ipac.caltech.edu>, www.astronet.ru, www.nature.com и других источников.

По исследованию шаровых скоплений и их систем на мировом уровне был рассмотрен ряд актуальных проблем и получено много оригинальных научных результатов: выполнены отдельные наблюдения шаровых скоплений и их систем вокруг различных морфологических типов галактик (McMaster University, Канада; University of Michigan, США; University of Arizona, США; European Southern Observatory, Германия; Gemini Observatory South, Чили; Observatoire de Strasbourg, Франция, Санкт-Петербургский государственный университет, Государственный астрономический институт имени Штернберга Московского государственного университета, Главная астрономическая обсерватория РАН, Специальная астрофизическая обсерватория РАН), выполнены фотометрические обработки и получены фотометрические характеристики в различных фильтрах (Max-Planck-Institut für Astronomie, Германия; Instituto de Astrofísica, Чили; INAF Osservatorio Astr. di Teramo, Италия; University of Tokyo, Япония), определено количество скоплений в системе (Herzberg Astronomy & Astrophysics Research Centre, Канада; Universidad de Concepción, Чили; Gemini Observatory South, Германия; Centre for Astrophysics & Supercomputing, Австралия), по значению удельной частоты составлены отдельные списки систем шаровых скоплений и изучена теория их происхождения (McMaster University, Канада).

В настоящее время в мире наблюдательные исследования шаровых скоплений и их систем проводятся по ряду приоритетных направлений, в том числе наблюдение систем шаровых скоплений и поиск новых кандидатов шаровых скоплений и их систем; проводится их фотометрический анализ; анализ мультимодальных диаграмм цвета и их происхождения; определение масс скоплений в системе; тестирование моделей происхождения галактик; определение массы родительской галактики (Мичиганский университет; Аризонский университет; Южно-Европейская обсерватория; Чилиский астрофизический институт).

Степень изученности проблемы. К настоящему времени поиском новых шаровых скоплений в Галактике, наблюдениями шаровых скоплений и их систем, фотометрическим исследованием, исследованием физики и отдельных свойств систем шаровых скоплений, моделированием этих систем, определением количества шаровых скоплений в системе занимались многие ученые ведущих научных центров мира, например, американские (A.Kundu, J.Brodie, J.Strader, K.A.Woodley), корейские (J.Cho, H.S.Kim, S.J.Yoon, S.S.Kim, Ho Jin), канадские (W.Harris, J.P.Blakeslee), китайские (E.W.Peng, C.Liu), русские (Т.А.Агекян, И.В.Петровская, И.И.Никифоров, Л.П.Осипков, С.А.Кутузов, Н.Я.Сотникова, В.В.Орлов, В.П.Решетников, Ю.Н.Гнедин, В.В.Бобылев, А.Т.Байкова, А.С.Расторгуев, Н.Н.Самусь, В.Г.Сурдин, В.А.Марсаков, Т.В.Боркова, М.Е.Шарина и др.), чилийские (T.Richtler, M.Gomes, T.H.Puzia, A.Jordan), испанские (M.A.Beasley, A.J.Cenarro, J.A.L.Agueri), австралийские (Ch.Blom, D.A.Forbes), немецкие (B.Dirsch, M.Hilker) и другие. Однако, для систем шаровых скоплений не

получены все необходимые данные и не проводился статистический анализ многих наблюдений.

Изучена корреляция между общим количеством шаровых скоплений и динамической массой родительской галактики и найдена зависимость между массой и эффективным радиусом (W.E.Harris). Несмотря на это, здесь оценены только динамические массы систем шаровых скоплений и их родительской галактики и на основе этого сделан вывод, что эффективность образования шаровых скоплений наиболее пропорциональна массе гало родительской галактики. Исследованы динамические свойства систем шаровых скоплений вокруг галактик раннего типа (M.A.Beasley, K.L.Rhode, S.E.Zepf, A.Kundu). Обсуждены возможные модели формирования шаровых скоплений и их родительских галактик (K.Ashman, S.Zepf, J.P.Brodie, J.Strader, A.Pipino, T.H.Puzia, F.Matteucc). Показано, что распределение цвета (или металличности) систем шаровых скоплений вокруг галактик известно как бимодальное, т.е. система шаровых скоплений делится на две подгруппы: красные (диск) и голубые (гало) (D.A.Forbes, R.Chandar, B.Whitmore, M.G.Lee, J.R.Hargis, K.L.Rhode, S.Zepf, A.Kundu). Определены функции светимости шаровых скоплений нашей Галактики, M31, и галактики в группе Скульптора (J.V.Nantais, J.P.Huchra, P.Barmby).

В Узбекистане под руководством профессора НУУз, д.ф.-м.н. С.Н.Нуритдинова его ученики проводят исследования по систематическому изучению широкого круга проблем систем шаровых скоплений вокруг галактик. В результате этих исследований накоплены базы данных по этим объектам, составлен каталог систем шаровых скоплений путем статистического анализа данных по типам галактик, найдены эмпирические соотношения между отдельными физическими характеристиками систем шаровых скоплений для эллиптических и линзовидных галактик, а также получены значения параметра анизотропии скоростей для десяти систем шаровых скоплений путем сравнения наблюдательных и теоретических поверхностных плотностей. Также, вычислено значение постоянной Хаббла. Однако, для систем шаровых скоплений вокруг галактик еще не создан их сводный каталог и не проводился статистический анализ данных наблюдений, и соответственно не найдены эмпирические зависимости между параметрами систем шаровых скоплений и их родительской галактики, которые в дальнейшем будут использовать при объяснении их происхождения и эволюции.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация. Диссертационное исследование выполнено по плану научно-исследовательских работ университета, также, в рамках следующих проектов: ФМ-2-012 – “Исследование уникальных систем шаровых скоплений вокруг галактик: анализ данных и разработка теории происхождения” (2007-2008 гг.), Ф2-54 – “Гравитационные неустойчивости структурных образований на фоне нелинейных моделей Эйнштейна и

Маклорена: модальное исследование и создание каталогов наблюдательных данных” (2011-2016 гг.) и ОТ-ФЗ-13 – “Фазовое перемешивание нелинейно нестационарных стадий эволюции самогравитирующих систем с учетом их гравитационных неустойчивостей и возможных резонансных состояний” (2017-2020 гг.).

Целью исследования является поиск эмпирических зависимостей между отдельными физическими параметрами шаровых скоплений, систем шаровых скоплений и их родительских галактик, разработка классификаций шаровых скоплений и систем шаровых скоплений.

Задачами же исследования являются анализ данных наблюдений шаровых скоплений и систем шаровых скоплений нашей Галактики, поиск вспомогательного параметра для классификации шаровых скоплений и модели Кинга, а также поиск нового параметра, имеющего корреляции с отдельными физическими характеристиками, решение проблемы классификации шаровых скоплений, статистический анализ составленного сводного каталога систем шаровых скоплений, поиск эмпирических зависимостей между отдельными параметрами шаровых скоплений, систем шаровых скоплений и их родительских галактик.

Объектом исследования являются шаровые скопления и их системы Галактики и системы шаровых скоплений вокруг различных морфологических типов галактик.

Предметом исследования являются наблюдательные данные по шаровым скоплениям и их системам, эмпирические формулы, основные физические характеристики шаровых скоплений, классификация шаровых скоплений и их систем.

Методы исследования. В процессе исследования использованы метод наименьших квадратов для нахождения статистических зависимостей, симплексный метод минимизации и метод χ^2 для определения ошибок параметров модели шаровых скоплений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

вычислены значения степени концентрации звезд к центру скопления и параметра анизотропии скоростей в шаровых скоплениях нашей Галактики, для которых получены данные по центральным их областям на основе наблюдений при помощи космического телескопа Хаббла;

решена проблема классификации шаровых скоплений и разработана классификация шаровых скоплений Галактики. Найдены эмпирические формулы зависимости между степенью концентрации и массой шаровых скоплений, абсолютной звездной величиной, степенью богатства и расстоянием от центра Галактики;

создан сводный каталог из 441 систем шаровых скоплений и выполнен сравнительный анализ наблюдательных данных и методов их нахождения у различных авторов;

для спиральных, неправильных и карликовых галактик найдены эмпирические зависимости между основными характеристиками систем шаровых скоплений и родительских галактик;

выполнен анализ проблемы классификации систем шаровых скоплений. Разработаны конкретные классификации систем шаровых скоплений. Найдены эмпирические зависимости между вириальным параметром и физическими характеристиками систем шаровых скоплений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

вычислены значения степени концентрации звезд к их центру для 26 шаровых скоплений; определены значения параметра анизотропии скоростей для 36 шаровых скоплений; получены статистические формулы зависимости степени концентрации в шаровых скоплениях и их физическими характеристиками и разработана классификация шаровых скоплений.

выполнен сравнительный анализ физических характеристик систем шаровых скоплений. Собран банк наблюдательных данных по системам шаровых скоплений и на основе этого составлен сводный каталог из 441 систем; выполнен статистический анализ сводного каталога систем шаровых скоплений, получены эмпирические зависимости между физическими характеристиками систем шаровых скоплений и их родительских галактик. В частности, показано, что с увеличением абсолютной звездной величины родительской галактики линейно растет значение металличности систем шаровых скоплений. Найдена зависимость логарифма числа шаровых скоплений в системе от абсолютной звездной величины родительской галактики отдельно для различных типов галактик;

для спиральных, карликовых и неправильных галактик впервые найдены эмпирические зависимости между физическими параметрами систем шаровых скоплений и родительских галактик. На основе анализа данных показано, что $\approx 22,2$ % систем шаровых скоплений находятся в группах и $\approx 58,5$ % – в скоплениях галактик;

выполнен анализ проблемы классификации систем шаровых скоплений. Разработаны простые виды их классификации. Вычислены коэффициенты корреляции между критическим вириальным параметром и основными физическими характеристиками.

Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что в работе были применены современные и хорошо апробированные методы статистического анализа данных наблюдений, использованы высокоточные численные методы расчета, методы математического анализа и математической статистики.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость заключается в том, что составленный сводный каталог систем шаровых скоплений и результаты его статистического исследования являются основой в изучении проблем формирования этих систем и эволюционных процессов, происходящих в системе шаровых скоплений и их родительских галактиках.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они будут использоваться при поиске новых систем шаровых скоплений и их исследовании. Особо надо отметить, что сводный каталог систем шаровых скоплений и полученные физические зависимости и критерии формирования являются бесценным вкладом в исследование физики систем шаровых скоплений. Результаты исследований можно применить при поиске новых систем шаровых скоплений и в изучении проблемы их физики. Разработанная классификация шаровых скоплений и их систем, созданный сводный каталог, полученные эмпирические формулы можно применить при анализе их физической и динамической эволюции.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертации внедрены:

рассчитанные значения параметра анизотропии скоростей и степень концентрации относительно к центру скоплений шаровых скоплений использовались для определения таких же звездных величин для рассеянных скоплений (справка 04/11-3467 Национального университета Узбекистана от 16 июня 2022 года). В результате, для рассеянных скоплений были рассчитаны степень концентрации относительно центра скопления и их параметр анизотропии.

разработанные классификации шаровых скоплений были применены к рассеянным скоплениям (справка 04/11-3467 Национального университета Узбекистана от 16 июня 2022 года). В результате, было предложено классифицировать и рассеянные скопления. Используя эмпирические формулы зависимости между степенью концентрации и массой, абсолютной величиной, степенью богатства и расстоянием до центра Галактики, было проверено также наличие таких формул среди характеристик рассеянных скоплений.

каталог систем шаровых скоплений использовался для изучения различных типов галактик (справка 04/11-3467 Национального университета Узбекистана от 16 июня 2022 года). В результате, были детально изучены структурные явления галактик, а также часть сферической составляющей спиральных галактик.

найденные эмпирические зависимости между параметрами спиральных, карликовых и неправильных галактик и физическими характеристиками систем шаровых скоплений использованы для нахождения таких величин дискообразных галактик (справка 04/11-3467 Национального университета Узбекистана от 16 июня 2022 года). Например, соотношение между абсолютной величиной галактики и металличностью системы или числом шаровых скоплений помогло определить звездную величину дискообразных галактик.

классификация систем шаровых скоплений была использована для изучения нелинейных процессов в спиральных галактиках (справка 04/11-3467 Национального университета Узбекистана от 16 июня 2022 года). В результате было показано, что галактики также можно группировать в

соответствии с тем, какая группа принадлежит к какой системе. Выявленные эмпирические формулы послужили также для изучения проблем стадии эволюции галактик в результате нахождения значения вириального параметра для соответствующей системы. Также, результаты диссертации включены в специальные курсы НУУз “Галактическая астрономия”, “Проблемы космогонии” для бакалавриатуры и “Физика звездных скоплений” магистратуры.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 16 международных и республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Полученные результаты по теме диссертации изложены в 44 научных работах, из них 21 – научные статьи, опубликованные в зарубежных и республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 179 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с исследованиями по приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, дается обзор международных научных исследований по теме диссертации, раскрывается степень изученности проблемы, формулируются цели и задачи, а также объект и предмет исследования, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, обосновывается достоверность полученных результатов, раскрывается ее теоретическая и практическая значимость, приводятся список внедрений в практику результатов исследования и опубликованных работ, сведения об апробации полученных результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной «**О данных наблюдений шаровых скоплений нашей Галактики**» приведен литературный обзор результатов и сравнительный анализ данных наблюдений по шаровым скоплениям нашей Галактики. Рассмотрены существующие проблемы физики шаровых скоплений. Показано, что по расположениям и основным физическим параметрам систему шаровых скоплений Галактики можно разделить на две подгруппы. Оценено положение Солнца относительно системы шаровых скоплений и двумя методами уточнено расстояние от центра Галактики до Солнца. По способу центроида оценено расстояние от центра Галактики до Солнца. Если рассмотрим все 157 шаровых скоплений в Галактике, то полученное значение расстояния до центра Галактики будет

равно $R_0 = \bar{X} = 6,01$ кпк со стандартной ошибкой 1,01 кпк. А если рассмотрим с ограничением по Z-координате, т.е. исключим шаровые скопления с большими значениями $|Z| > 2.5$ кпк, то получим следующий результат: $R_0 = \bar{X} = 7,03$ кпк со стандартной ошибкой 0,29 кпс, при этом известно значение координаты X для 92 шаровых скоплений. Для определения положения Солнца в Галактике относительно шаровых скоплений использованы также нефазовые методы. При этом получено значение расстояния от центра Галактики до Солнца $R_0 = 6,46$ кпк. Результаты R_0 сравнены с другими авторами. Полученные результаты согласуются с другими такими же результатами в пределах их ошибки определения.

Вторая глава «Проблемы классификации шаровых скоплений нашей Галактики» содержит анализ проблем классификации шаровых скоплений. Разработана классификация шаровых скоплений по параметру анизотропии скоростей и степени концентрации звезд к центру скоплений. Вычислены параметры анизотропии скоростей для 36 шаровых скоплений по данным наблюдений. По параметру анизотропии скоростей шаровые скопления разделены на три явно отличающиеся группы:

Классы	Интервал по A	Количество шаровых скоплений
I	$0.0 \leq A < 0.5$	16
II	$0.5 \leq A < 1.0$	9
III	$1.5 \leq A < 2.0$	11

В табл. 1 даны средние значения ряда характеристик найденных нами классов шаровых скоплений: средние расстояния членов классов до центра Галактики - $\langle R \rangle$, металличности - $\langle [Fe/H] \rangle$, усредненный возраст - $\langle \lg t \rangle$, размеры самих шаровых скоплений - $\langle D_g \rangle$ и средние значения индексов богатства - $\langle IR \rangle$.

Таблица 1. Средние значения основных характеристик трех групп шаровых скоплений

Группа	$\langle R \rangle$ [кпк]	$\langle [Fe/H] \rangle$	$\langle \lg t \rangle$	$\langle D_g \rangle$ [пк]	$\langle IR \rangle$
I	10.21	-1.41	10.18	7.10	0.55
II	21.39	-1.57	10.16	6.35	0.66
III	54.23	-1.59	10.13	7.41	0.41

Шаровые скопления I-группы находятся в среднем в два раза ближе к центру Галактики, чем II-группы, а скопления третьей группы находятся во внешних областях Галактики. Металличность и возраст уменьшаются с увеличением расстояния. Средние размеры скоплений I- и III-групп явно больше, чем у членов II-группы. Интересно, что степень богатства скопления у II-группы больше, чем у остальных двух групп.

С целью поиска дополнительного параметра шаровых скоплений мы предлагаем взять концентрацию γ , которая определяется на основе данных наблюдений и связана с концентрацией звезд к центру скоплений. Нами выбрана модель, описывающая функцию распределения поверхностной плотности $\sigma(r)$ скопления, которая записывается следующей формулой:

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

где γ , r^* и σ_0 являются свободными параметрами, причем γ характеризует степень концентрации звезд к центру шаровых скоплений, r^* - величина, которая связана с радиусом ядра скопления r_c и σ_0 - видимая плотность в центре. Используя данные [1], нами были определены значения параметра γ для 26 шаровых скоплений. Для этого мы использовали два метода минимизации: симплектический метод и метод χ^2 . Результаты и ошибки трех свободных параметров приведены нами в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета степени концентрации и параметров модели шаровых скоплений

№	Название шаровых скоплений	γ	$\Delta \gamma$	r^*	Δr^*	σ_0	$\Delta \sigma_0$
1	NGC 104	0.73	0.24	18.68	8.52	7.69	0.96
2	NGC 288	1.38	0.96	93.75	63.18	0.17	0.16
3	AM 1	1.72	1.19	14.63	9.71	0.47	0.45
4	Eridanus	1.51	0.60	19.87	7.86	0.86	0.15
5	NGC 1851	0.99	0.36	4.78	2.05	5.62	1.17
6	NGC 1904	0.91	0.27	7.42	3.32	5.70	1.34
7	NGC 2419	1.18	0.33	20.06	6.39	3.60	0.43
8	Palomar 3	2.11	0.91	48.45	18.21	0.04	0.01
9	Palomar 4	2.16	1.01	39.31	15.01	0.04	0.01
10	NGC 5024	1.00	0.24	22.08	7.41	2.96	0.40
11	NGC 5272	0.81	0.23	17.21	7.72	3.10	0.51
12	NGC 5466	1.48	0.60	102.88	38.95	0.10	0.01
13	NGC 5824	0.73	0.17	2.71	1.12	7.56	1.34
14	NGC 5904	0.68	0.14	14.64	5.31	4.07	0.53
15	Palomar 14	0.99	0.47	38.37	21.65	0.25	0.06
16	NGC 6121	0.81	0.35	47.43	30.39	0.26	0.09
17	NGC 6205	1.05	0.32	48.22	15.18	3.58	0.31
18	NGC 6229	1.02	0.34	8.27	3.28	5.26	0.78
19	NGC 6254	1.02	0.28	38.33	14.38	0.50	0.08
20	NGC 6266	0.86	0.21	12.44	4.17	10.40	1.21
21	NGC 6341	1.03	0.46	14.54	8.28	2.54	0.81
22	Terzan 5	1.31	0.45	10.28	3.87	7.17	1.06
23	NGC 6626	0.71	0.18	6.85	3.18	2.36	0.58
24	NGC 6809	0.85	0.35	69.07	40.75	0.20	0.06
25	NGC 6864	1.18	0.46	5.71	2.50	16.82	3.01
26	NGC 7089	0.89	0.29	12.43	5.80	3.13	0.71

Как видно, значения степени концентрации γ лежат в интервале (0.68; 2.16). По параметрам γ шаровые скопления разделяются на 4 класса:

Классы	Название	Интервал по γ
a	Наиболее плотные	$\gamma \leq 0.90$
b	Умеренно плотные	(0.90; 1.15]
c	Умеренно разреженные	(1.15; 1.40]
d	Разреженные	$\gamma > 1.40$

Так, удастся классифицировать шаровые скопления более просто, чем 12 классов по Шепли и Сойер. Очевидно, при необходимости можно более

уточнить значения этих интервалов по γ . Однако, с точки зрения классификации шаровых скоплений более важно наличие корреляции степени концентрации γ с отдельными физическими характеристиками этих скоплений.

Нами рассмотрены различные зависимости степени концентрации γ от других основных характеристик шаровых скоплений. Расчеты коэффициента корреляции показывают, что степень концентрации γ имеет линейную зависимость от некоторых характеристик шаровых скоплений. Например, коэффициент корреляции между степенью концентрации γ и массой шаровых скоплений равен -0.68 и имеет следующую линейную зависимость:

$$\gamma = -0.46(\pm 0.10) \lg \frac{M}{M_{\odot}} + 3.65(\pm 0.56). \quad (2)$$

Следовательно, чем больше масса шаровых скоплений, тем меньше γ , т.е. тем плотнее шаровые скопления. Нами обнаружена хорошая корреляция и следующая статистическая формула:

$$\gamma = 0.087(\pm 0.007)R_G + 0.008(\pm 0.001). \quad (3)$$

Как видно, с удалением от центра Галактики происходит рост γ , т.е. постепенное уменьшение концентрации шаровых скоплений. Коэффициент корреляции между γ и абсолютной величиной M_V равен 0.76. Соответствующая эмпирическая формула имеет вид

$$\gamma = 0.19(\pm 0.03)M_V + 2.50(\pm 0.25). \quad (4)$$

Следовательно, чем больше концентрация к центру скопления, тем шаровое скопление является сравнительно ярким. Это явление, по-видимому, связано с тем, что с ростом степени концентрации, согласно наших расчетов, характерный размер системы в среднем уменьшается.

Коэффициент корреляции между степенью концентрации γ и параметром Кинга «с» равен -0.63 и имеет следующую зависимость:

$$\gamma = -0.69(\pm 0.17)c + 2.13(\pm 0.26). \quad (5)$$

Степень концентрации γ также зависит от индекса богатства (коэффициент корреляции равен -0.74) и имеет место следующая формула:

$$\gamma = -1.38(\pm 0.28)IR + 1.86(\pm 0.17). \quad (6)$$

Следует отметить наличие весьма слабой зависимости γ от возраста шаровых скоплений. При этом коэффициент корреляции равен -0.43. Расчеты показывают, что с ростом возраста скопление становится плотнее.

Отметим, что данные наблюдений шаровых скоплений, полученные в рамках программы Gaia [2] уступают данным телескопа Хаббла [1].

В третьей главе «Системы шаровых скоплений галактик и их сводный каталог» выполнены литературный обзор результатов данных наблюдений по системам шаровых скоплений. Рассмотрены существующие проблемы в физике систем шаровых скоплений и проведен анализ данных наблюдений по системам шаровых скоплений. На основе анализа данных систем шаровых скоплений составлен сводный каталог, состоящий из 441 объектов.

Общее число эллиптических галактик по отношению к спиральным галактикам больше примерно на величину $N_{\text{эллип}}/N_{\text{спирал}}=3,82$. В процентном отношении в нашем сводном каталоге соотношение типов галактик имеет следующий вид:

$$E:(S0+SB0):(S+SB):Ir = 54:26:14:6, \quad (7)$$

причем отношение числа эллиптических галактик к числу всех других типов галактик равно 1,16. С увеличением значения сжатия эллиптических галактик их количество в среднем уменьшается.

В таблице 3 дано процентное сравнение по типам галактик нашего сводного каталога систем шаровых скоплений с другими работами.

Таблица 3. Сравнение имеющихся каталогов систем шаровых скоплений.

	Количество	E, %	S0+SB0, %	S+SB, %	Ir, %
В работе [3]	60	57	15	23	5
В работе [4]	82	69	11	17	3
В работе [5]	136	54	31	12	3
В работе [6]	422	58	23	13	6
Здесь	441	54	26	14	6

Результаты сравнения показывают, что каждый раз среди типов галактик, содержащих системы шаровых скоплений, большая доля приходится именно на эллиптические галактики. Но, если различать в отдельности виды E_n , то лидируют S0-галактики, а затем идут E0, E1, E3, E4, SB0 и т.д.

В сводном каталоге систем шаровых скоплений количество эллиптических галактик, содержащих систему шаровых скоплений, равно 238, линзовидных – 117, спиральных – 61, а неправильных – 23. Отметим, что в спиральных и неправильных галактиках системы шаровых скоплений являются явно бедными по сравнению с эллиптическими и линзовидными галактиками.

Также, на основе анализа данных наблюдений показано, что 22,2 процентов систем шаровых скоплений находятся в группах и 58,5 процентов – в скоплениях галактик. Среди скоплений галактик, содержащих системы шаровых скоплений, первое место занимает скопление Дева (≈ 55 процент), затем Печь (≈ 21 процент) и Волосы Вероники (≈ 8 процент).

Четвертая глава «Поиск эмпирических зависимостей и классификации для систем шаровых скоплений» посвящена статистическому анализу сводного каталога систем шаровых скоплений, поиску эмпирических зависимостей между характеристиками систем шаровых скоплений и их родительских галактик.

Отметим, что с точки зрения физики систем шаровых скоплений важно определение зависимости их металличности от абсолютной звездной величины родительской галактики. На рис.1 приведена зависимость для эллиптических и линзовидных галактик.

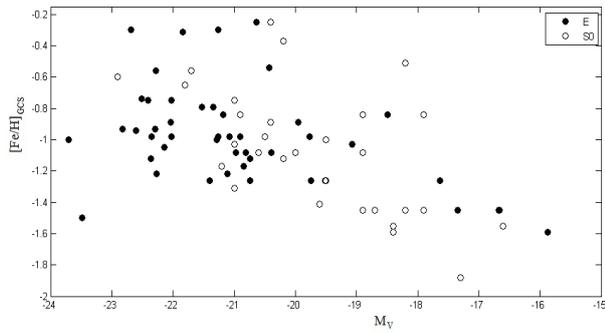


Рис. 1. Зависимость металличности систем шаровых скоплений от абсолютной звездной величины родительской галактики (светлые кружки – для S0-галактик, темные кружки – для E-галактик)

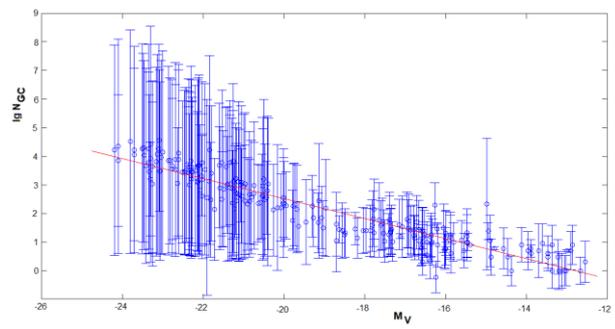


Рис.2. Статистическая зависимость между логарифмом от количества шаровых скоплений и абсолютной звездной величиной родительской галактики систем шаровых скоплений (для E- галактик)

Анализ данных наблюдений по отдельным типам галактик показывает, что металличность зависит от абсолютной звездной величины родительской галактики в случае линейного приближения следующим образом:

$$[Fe / H] = -2.91(\pm 0.42) - 0.09(\pm 0.02) M_V \quad (\text{для E-галактик}), \quad (8)$$

$$[Fe / H] = -4.22(\pm 0.79) - 0.16(\pm 0.04) M_V \quad (\text{для S0-галактик}). \quad (9)$$

Найденные нами зависимости (8) и (9) показывают, что чем ярче или больше модуль абсолютной звездной величины родительской галактики, тем металличность систем шаровых скоплений в среднем больше. Ошибки определения коэффициентов в этих соотношениях довольно приемлемые.

На рис.2 приведена зависимость абсолютной звездной величины родительской галактики от количества шаровых скоплений N_{GC} в эллиптических галактиках. Нами найдена логарифмическая зависимость между этими параметрами для эллиптических и линзовидных типов галактик в отдельности. Оказалось, что для эллиптических галактик

$$\lg N_{GC} = -4.48(\pm 0.22) - 0.35(\pm 0.01) M_V, \quad (10)$$

а для линзовидных –

$$\lg N_{GC} = -6.27(\pm 0.50) - 0.42(\pm 0.03) M_V. \quad (11)$$

Далее, проанализирована статистическая зависимость количества систем шаровых скоплений (N) в эллиптических галактиках с заданным значением сжатия n от самой степени данного сжатия. При этом, мы нашли следующую эмпирическую зависимость N от сжатия эллиптических галактик n :

$$N = 39.04(\pm 4.03) - 3.95(\pm 0.80) n. \quad (12)$$

Как видно, в рамках линейного закона количество эллиптических галактик существенно уменьшается по мере нарастания степени их сжатия.

Далее найдено, что с ростом сжатия эллиптической галактики логарифм от среднего количества скоплений в них уменьшается в среднем:

$$\lg \langle N_{GC} \rangle = 3.83(\pm 0.14) - 0.23(\pm 0.03) n. \quad (13)$$

Интересно, что правые части выше изученных нами зависимостей (8) - (13) аппроксимируются лучше всего линейными функциями, чем

квадратичными. Надо также отметить, что в работе [5] эмпирические зависимости между параметрами систем шаровых скоплений эллиптических и линзовидных галактик найдены для каталога из 136 объектов.

Далее рассмотрены статистические зависимости для нормальных спиральных галактик и выявлено, что по мере роста степени закрученности спиральных рукавов среднее количество шаровых скоплений в них явно увеличивается постепенно:

$$\lg \langle N_{GC} \rangle = 2.95(\pm 0.25) - 0.24(\pm 0.06)T_n, \quad (14)$$

где T_n означает значение кодировки типа нормальной спиральной галактики.

Как нам известно, значение абсолютной звездной величины M_V коррелируется с величиной N_{GC} . На наличие такой корреляции для спиральных галактик указывает, что существует эмпирическая зависимость

$$\lg N_{GC} = -3.43(\pm 0.46) - 0.27(\pm 0.02)M_V. \quad (15)$$

Сопоставляя эмпирическую формулу (15) с аналогичной для эллиптических и линзовидных галактик, заключаем, что имеется существенное различие в коэффициентах зависимостей. С другой стороны, можно попробовать получить зависимость абсолютной звездной величины M_V от значения кода типа для всех спиральных галактик T вообще. Получено следующее:

$$M_V = -22.00(\pm 0.50) + 0.50(\pm 0.09)T. \quad (16)$$

Такую зависимость следует определять также для нормальных и бароподобных галактик в отдельности. Так нами получены, соответственно:

$$M_V = -22.57(\pm 0.62) + 0.61(\pm 0.13)T, \quad (\text{S-галактики}) \quad (17)$$

$$M_V = -20.84(\pm 0.89) + 0.35(\pm 0.14)T, \quad (\text{SB-галактики}) \quad (18)$$

Сегодня значение металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$ известно лишь для нескольких систем шаровых скоплений спиральных галактик. Тем не менее, ради интереса мы вычислили такую зависимость в качестве ориентира на будущее. Так мы нашли

$$[\text{Fe}/\text{H}] \approx -8.84(\pm 2.43) - 0.36(\pm 0.11)M_V, \quad (19)$$

что требует дополнительного уточнения в дальнейшем. Сравнение этой зависимости с аналогичной для эллиптических галактик показывает, что закономерность поведения $[\text{Fe}/\text{H}]$ от величины M_V почти одинакова, но коэффициенты различаются существенно.

Если интересоваться линейной зависимостью количества систем шаровых скоплений N_S от типов карликовых галактик (точнее степени сжатия n_e), то имеющиеся в сводном каталоге систем шаровых скоплений данные дают нам следующее:

$$N_S = 15.21(\pm 2.97) - 1.38(\pm 0.59)n_e, \quad (20)$$

т.е. в среднем количество систем шаровых скоплений карликовых эллиптических галактик уменьшается по мере нарастания их сжатия так же, как в случае эллиптических галактик. Интересно, что в отличие от нормальных эллиптических галактик в случае карликовых наблюдаются также эллиптические с $n_e = 7$.

Зависимость абсолютной звездной величины родительской галактики от количества шаровых скоплений в системе шаровых скоплений имеет вид:

$$\lg N_{GC} = -2.79(\pm 0.34) - 0.24(\pm 0.02) M_V. \quad (21)$$

Для сравнительно точного определения зависимости абсолютной величины и металличности систем шаровых скоплений карликовых галактик сегодня пока относительно мало данных наблюдений. Несмотря на это, мы попытались оценить такую зависимость и нашли, что

$$[Fe/H] \approx -3.93(\pm 0.25) - 0.15(\pm 0.01) M_V. \quad (22)$$

Для эллиптических галактик вообще (т.е. включая и карликовые dE галактики) мы находим следующие эмпирические зависимости:

$$N_S = 39.04(\pm 4.03) - 3.95(\pm 0.80) n_e, \quad (23)$$

Сравнивая вышерассмотренные случаи, мы заключаем, что физические свойства карликовых галактик dE явно отличаются от соответствующих свойств нормальных эллиптических.

Теперь о результатах статистического анализа систем шаровых скоплений неправильных галактик. Из табл.4 видно, что по численности скоплений доминируют Sm-галактики, а этот тип находится ближе, чем остальные. Кроме того, карликовые неправильные галактики содержат малое количество скоплений, а абсолютная звездная величина их родительских галактик тусклее.

Таблица 4. Средние значения физических параметров систем шаровых скоплений

Типы	Количество	Среднее значение				
		N_{GC}	D, Mpc	S_N	$(m - M)$	M_V
Sm	5	11	2.053	3.10	22.84	-16.92
Im	13	7	5.382	4.79	27.98	-15.24
dIr	5	5	9.574	3.29	29.47	-15.18

Зависимость абсолютной звездной величины родительской галактики от количества шаровых скоплений в неправильных галактиках показывает, что с увеличением количества скоплений в системе значение абсолютной звездной величины увеличивается:

$$\lg N_{GC} = -2.365(\pm 0.706) - 0.195(\pm 0.045) M_V. \quad (24)$$

Из статистики систем шаровых скоплений в других галактиках ясно, что чем больше масса родительской галактики, тем должна быть и больше масса ее систем шаровых скоплений. Учитывая это, мы рассмотрели зависимость количества шаровых скоплений в системе и массой родительских галактик и найдена следующая зависимость:

$$\lg N_{GC} = -4.607(\pm 0.102) + 0.902(\pm 0.018) \lg M. \quad (25)$$

Таким образом, нами впервые выполнен статистический анализ наблюдательных данных по спиральным, карликовым и неправильным галактикам.

В пятой главе, под названием «Теоретические аспекты классификации систем шаровых скоплений», рассмотрены проблемы классификации систем шаровых скоплений. До сих пор никто не попытался

разработать простейшие классификации систем шаровых скоплений для их использования на практике, хотя глубокое изучение накопленных наблюдательных данных и физики этих систем требует не только анализа их статистических свойств, но и, в частности, разработки именно простейших классификаций. Изучение проблем классификации систем шаровых скоплений полезно также для построения теории их формирования и эволюции. Отметим, что классификация систем шаровых скоплений может быть различной: для всех видов галактик камертона Хаббла независимо от типа галактик или для каждого типа галактик в отдельности.

Также изучена проблема удельной частоты шаровых скоплений, которая непосредственно связана с классификацией систем шаровых скоплений и показано, что она зависит от абсолютной звездной величины родительской галактики в квадратичном виде.

Анализ имеющихся данных наблюдений с точки зрения классификации систем шаровых скоплений оказывается достаточно трудной задачей. Несмотря на этого, здесь предложены пока только две возможные простые классификации: одна по степени богатства скоплениями в системе, а другая – по светимости родительской галактики.

По степени богатства шаровыми скоплениями в системе, условно можно выделить пять явно отличающихся групп. Оказалось, что нельзя пренебречь группой А из очень бедных систем шаровых скоплений, так как количество таких галактик в нашем каталоге 27. Они содержат всего до одного десятка скоплений, а сами эти галактики относятся, в основном, к типам IгII и Е6. Напротив, системы класса богатых систем шаровых скоплений (D) содержат несколько тысяч скоплений, а галактики относятся к типу Е1, Е2 или Е3, наконец, система шаровых скоплений класса наиболее богатые (Е) содержат несколько десятков тысяч скоплений и галактики принадлежат к типам сD и Е0.

Далее показано, что по светимости родительской галактики системы шаровых скоплений разделены также на пять классов: ярчайшие, яркие, умеренно яркие, слабые по яркости, наиболее тусклые или карликовые. Далее, используя значения удельной частоты шаровых скоплений опять-таки разделены на пять классов.

Эти предложенные классификации систем шаровых скоплений кажутся несколько простыми. Поэтому введен вспомогательный параметр с целью классификации систем шаровых скоплений: параметр анизотропии, степень концентрации к центру системы шаровых скоплений и вириальный параметр начальной протосистемы шаровых скоплений.

На основе данных наблюдений найдены значения параметра анизотропии для 18 систем шаровых скоплений и вычислены коэффициенты корреляции между найденными значениями параметра анизотропии и физическими характеристиками системами шаровых скоплений. Показано, что параметр анизотропии никак не коррелирует с какой-либо физической

характеристикой. Это означает, что по параметру анизотропии скоростей не можем классифицировать системы шаровых скоплений.

Далее построили видимые распределения шаровых скоплений относительно центра для ряда галактик. Получено, что это распределение является почти сферическим, но сильно отличается от нашей модели (1), что означает неприменимость нашей методики по определению степени концентрации. Также, к сожалению, не нашли никакой корреляции между степенью концентрации и конкретными характеристиками систем шаровых скоплений.

Трудно найти вспомогательный параметр, который можно определить каким-то образом и использовать его в проблеме классификации систем шаровых скоплений. Вот почему мы решили рассмотреть даже возможность включения в проблему классификации систем шаровых скоплений параметра, характеризующего начальное состояние соответствующей протогалактики в надежде на то, что такая классификация будет иметь корреляцию с наблюдаемыми характеристиками систем шаровых скоплений.

Начальное состояние протооблака систем шаровых скоплений и самой протогалактики можно характеризовать значением вириального параметра в момент начала коллапса данной протогалактики. Значение же вириального параметра в свою очередь непосредственно связано с динамическими характеристиками коллапсирующей протогалактики, в частности, с инкрементом неустойчивости коллапса, параметром вращения коллапсирующего протооблака систем шаровых скоплений и др. Физически допустимые значения вириального параметра определяются изучением проблемы неустойчивости выбранных моделей коллапсирующего облака. Поэтому мы обсудили вопросы неустойчивости различных мод колебаний, а затем вернулись к проблеме классификации систем шаровых скоплений.

Учитывая, что неустойчивость радиальных движений появляется при модах высоких степеней и классификацию систем шаровых скоплений по богатству, нами рассмотрены именно моды высоких степеней: $(N,m) = (11,3), (12,4), (13,5), (14,4), (15,5), (16,6), (17,5), (18,6), (19,7)$ и $(21,7)$. Вопросы устойчивости этих мод возмущений ранее, в разные времена рассмотрены нами и полученные результаты опубликованы в ряде наших работ. Очевидно, здесь нужны всего лишь критические значения начального вириального параметра при нулевом и весьма малом значении параметра вращения. Анализ показывает, что для указанных мод колебаний неустойчивость при определенных начальных условиях способна привести к формированию систем шаровых скоплений из сгущений, количество которых будет соответствовать случаю бедных и умеренных систем шаровых скоплений.

На рис.3, в качестве примера, приведены критические зависимости начального вириального отношения от параметра вращения для конкретных мод колебаний.

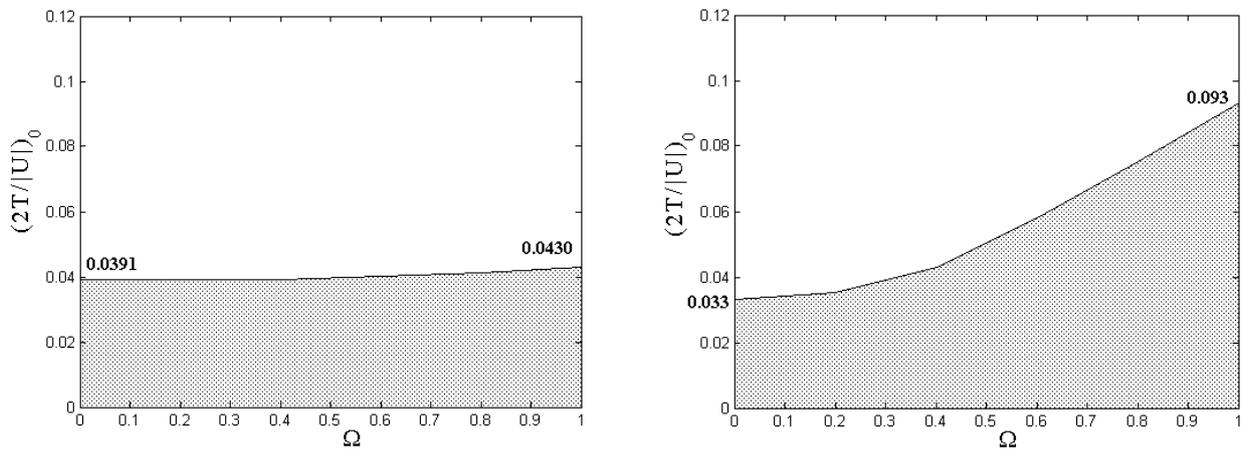


Рис. 3. Критическая зависимость начального вириального отношения от параметра вращения для моды $N=11$, $m=3$ (слева) и $N=12$, $m=4$ (справа).

Из этих графиков видно, что с ростом порядка мод возмущения значение критического начального вириального параметра уменьшается, точнее, стремится к нулю. Но главный результат состоит в том, что все критические значения вириального параметра существенно меньше, чем 0,1, что указывает на механизм происхождения сгущений, а именно на неустойчивость радиальных орбит, причем область неустойчивости постепенно сокращается с ростом степени моды возмущения, т.е. неустойчивость требует все более «холодного» состояния.

Вернемся к основному вопросу, т.е. классификации систем шаровых скоплений. Чтобы изучить связь неустойчивости радиальных орбит с классификацией систем шаровых скоплений, мы составили таблицы 5 и 6.

Таблица 5. Критические значения начального вириального параметра систем шаровых скоплений.

N, m	Значение $(2T/U)_0$					
	$\Omega=0$	$\Omega=0.2$	$\Omega=0.4$	$\Omega=0.6$	$\Omega=0.8$	$\Omega=1$
11,3	0,0391	0,0390	0,0390	0,0400	0,0410	0,0430
12,4	0,0330	0,0350	0,0430	0,0580	0,0750	0,0930
13,5	0,0280	0,0280	0,0285	0,0290	0,0300	0,0315
14,4	0,0240	0,0240	0,0240	0,0250	0,0260	0,0260
15,5	0,0210	0,0210	0,0210	0,0215	0,0220	0,0230
16,6	0,0180	0,0180	0,0190	0,0190	0,0200	0,0200
17,5	0,0165	0,0165	0,0165	0,0170	0,0170	0,0175
18,6	0,0145	0,0145	0,0150	0,0150	0,0155	0,0160
19,7	0,0130	0,0130	0,0135	0,0135	0,0140	0,0145
20,8	0,0120	0,0120	0,0120	0,0125	0,0125	0,0130
21,7	0,0105	0,0105	0,0110	0,0110	0,0115	0,0120

Таблица 6. Основные физические характеристики систем шаровых скоплений и их галактик.

N, m	Типичные галактики	Тип галактики	N_{GC}	$\lg M$	S_N	[Fe/H]	M_V
11,3	NGC 891	Sb	70	7,31	0,3		-21,4
12,4	NGC 1375	SB0	86	7,27	0,5	-1,45	-19,16
13,5	NGC 4754	SB0	110	7,45	0,74		-20,53
14,4	NGC 3384	SB0	120	7,49	0,9		-20,49

15,5	NGC 4203	SB0	175	7,63	1,46	-1,12	-20,08
16,6	NGC 4442	SB0	178	7,66	1,98		-20,56
17,5	NGC 3379	E1	216	7,77	1,2	-0,98	-20,9
18,6	NGC 3377	E5	240	7,66	2,4	-0,89	-19,95
19,7	NGC 1344	E5	280	7,9	1,5		-21,18
20,8	NGC 4473	E5	376	8	0,93	-1,08	-20,81
21,7	NGC 1052	E4	400	8,04	1,9		-21,05

Нами вычислены корреляции между критическими значениями вириального параметра и другими характеристиками систем шаровых скоплений. Найдено, что критические значения вириального параметра достаточно сильно зависят от основных характеристик систем шаровых скоплений. Методом наименьших квадратов нами найдены эмпирические зависимости между указанными величинами. Эти зависимости приведены ниже для случая без вращения $\Omega=0.0$.

Зависимость вириального параметра от количества шаровых скоплений имеет вид

$$(2T/|U|)_0 = -7.37(\pm 0.36) \times 10^{-5} N_{GC} + 0.0359(\pm 0.0008). \quad (26)$$

Следовательно, чем больше численность шаровых скоплений, тем меньше критическое значение вириального параметра.

Нами обнаружена следующая статистическая формула между вириальным параметром и массой родительской галактики:

$$(2T/|U|)_0 = -0.0331(\pm 0.0012) \lg M + 0.2746(\pm 0.0093). \quad (27)$$

Как видно, с ростом значения массы родительской галактики уменьшается критическое значение вириального параметра систем шаровых скоплений.

Соответствующая эмпирическая формула зависимости между вириальным параметром и удельной частотой имеет вид

$$(2T/|U|)_0 = -0.0106(\pm 0.0009) S_N + 0.0342(\pm 0.0012). \quad (28)$$

Эмпирическая формула зависимости между вириальным параметром и металличностью систем шаровых скоплений имеет вид

$$(2T/|U|)_0 = -0.0348(\pm 0.0039) \left[\frac{Fe}{H} \right] - 0.0190(\pm 0.0044). \quad (29)$$

Наличие хорошей корреляции критических значений вириального параметра с основными физическими характеристиками систем шаровых скоплений и родительской галактики говорит о том, что эти системы могут формироваться из-за неустойчивости радиального коллапса протогалактики. Следовательно, каждой галактике и системе шаровых скоплений можно приписать конкретное значение вириального параметра. Анализ неустойчивости мод колебаний высоких степеней показывает, что систему шаровых скоплений можно классифицировать с помощью $(2T/|U|)_0$ или конкретно других величин, от которых явно зависит этот параметр.

Цитируемая литература

1. Miocchi P., Lanzoni B., Ferraro F.R., Dalessandro E., Vesperini E., Pasquato M., Beccari G., Pallanca C., Sanna N. The Astrophysical Journal, 2013, 774, 151
2. de Boer T.J.L., Gieles M., Balbinot E., Henault-Brunet V., Solima A., Watkins

- L.L., Claydon I. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2019, 485, 4906
3. Harris W.E. Annual review of Astronomy and Astrophysics, 1991, 29, 543
 4. Ashman K, Zepf S. Globular cluster systems, Cambridge, England: Cambridge University Press., 1998, 172 p.
 5. Таджибаев И.У. Проблемы физики систем шаровых скоплений вокруг галактик и их анализ, Автореферат дисс. канд. наук, Ташкент, 2006
 6. Harris W.E., Harris G.L.H., Alessi M. The Astrophysical Journal, 2013, 772, 82

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме докторской диссертации «Проблемы поиска эмпирических зависимостей и классификации для шаровых скоплений и их систем», получены следующие выводы:

1. Найдено решение более, чем 95-летней проблемы классификации шаровых скоплений. Предложена модель видимой плотности шаровых скоплений с тремя свободными параметрами: $\sigma(r, \gamma, r^*, \sigma_0) = \sigma_0 \left[1 + \left(\frac{r}{r^*} \right)^2 \right]^{-\gamma}$. Найдены значения этих параметров и их ошибки для 26 шаровых скоплений с двумя методами минимизации.
2. Построены эмпирические зависимости между степенью концентрации γ и массой шаровых скоплений, параметром Кинга, абсолютной величиной, степенью богатства, расстоянием от центра Галактики и возрастом.
3. Предложена классификация шаровых скоплений по параметру анизотропии скоростей. По этому параметру шаровые скопления разделены на три отличающиеся группы. Показано отсутствие корреляции этого параметра с основными характеристиками шаровых скоплений.
4. Разработана классификация шаровых скоплений по степени концентрации звезд к центру скоплений: 1) Наиболее плотные ($\gamma \leq 0.90$), 2) Умеренно плотные ($0.90 < \gamma \leq 1.15$), 3) Умеренно разреженные ($1.15 < \gamma \leq 1.40$), 4) Разреженные ($\gamma > 1.40$).
5. Составлен сводный каталог из 441 систем шаровых скоплений (путем изучения около 150 статей других авторов). Выполнена статистическая обработка и показано, что $E:(S0+SB0):(S+SB):Ir=54:26:14:6$. Отдельно представляют интерес карлики: их всего 85, причем 90 % являются dE. Получено, что 22,2 процентов системы шаровых скоплений находятся в группах и 58,5 процентов – в скоплениях галактик, причем первое место занимает скопление Дева (55 процент), затем Печь (21 процент), Волосы Вероники (8 процент). Во всех скоплениях доминируют E-галактики.
6. Найдены эмпирические зависимости между параметрами систем шаровых скоплений и их галактик. Показано, что с увеличением M_V галактики линейно растет значение $[Fe/H]$ системы шаровых скоплений. Найдена логарифмическая зависимость N_{GC} от M_V галактики для

различных типов галактик. Показано наличие сильного отличия природы найденных эмпирических формул в зависимости от типа галактики для камертона Хаббла.

7. Предложена классификация систем шаровых скоплений по N_{GC} : 1) наиболее бедные; 2) бедные; 3) с умеренным количеством скоплений; 4) богатые; 5) наиболее богатые. По светимости родительской галактики: 28 систем шаровых скоплений принадлежат ярким сверхгигантам, 115 – нормальным сверхгигантам, 101 – ярким гигантам, 79 – нормальным гигантам, и 78 – ярким карликам, 30 – нормальным карликам. Оказалось, что всего лишь 6 систем шаровых скоплений принадлежат к тусклым карликам. Системы шаровых скоплений по M_V галактики разделены на пять классов: 1) ярчайшие; 2) яркие; 3) умеренно яркие; 4) слабые по яркости; 5) наиболее тусклые или карликовые.
8. Впервые найдены эмпирические зависимости между начальным значением вириального параметра и физическими характеристиками систем шаровых скоплений. Показано, что при помощи начального значения вириального параметра также можно классифицировать систему шаровых скоплений.



**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 FOR ADDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF FUNDAMENTAL AND
APPLIED RESEARCH AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
TIAME**

CHIRCHIK STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

TADJIBAEV IKRAM

**PROBLEMS OF FINDING EMPIRICAL DEPENDENCIES AND
CLASSIFICATION FOR GLOBULAR CLUSTERS AND THEIR
SYSTEMS**

01.03.01- astronomy

**Dissertation abstract of the doctor of science (DSc) on physical and
mathematical sciences**

Tashkent – 2023

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.4.DSc/FM67.

Doctoral dissertation was carried out at the Chirchik State Pedagogical University.

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

Scientific consultant: **Nuriddinov Salakhutdin Nasritdinovich**
Doctor of Physics and Mathematical Sciences, professor

Official opponents: **Rayimbaev Djavlonbek Radjapbaevich**
Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Axunov Talat Axmatovich
Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Minglibaev Muxtar Djumabekovich
Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Leading organisation: **Samarkand State University**

The defense of the dissertation will be held on "22" 07 2023 at 14⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council No DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 at the Institute of Fundamental and Applied Research at the National Research University "TIAME" (Address: 100000, Tashkent city, Qori Niyozov Street 39, Fundamental and Applied Research, Hall.108. Phon.: (+99871) 237-09-61; e-mail: info@ifar.uz)

The doctoral (DSc) dissertation can be looked through at the Information Resource Centre of the institute of Fundamental and Applied Research at the National research university "TIAME" (registered under No. 9. Address: 100000, Tashkent city, Qori Niyozov Street 39, Fundamental and Applied Research, Phon.: (+99871) 237-09-61; e-mail: info@ifar.uz)

Abstract of dissertation was distributed on "8" 07 2023.
(Registry record No 9 dated "8" 07 2023).



A.A.Abdujabborov
Vice-chairman of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees, Doctor of Physics and Mathematical Sciences

E.Kh.Karimbaev
Scientific Secretary of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees, Doctor of Philosophy Physical and Mathematical Sciences

A.B.Abdikamalov
Vice Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees, Doctor of Physics and Mathematical Sciences

INTRODUCTION

(annotation of the doctoral (DSc) dissertation)

The aim of the research is to search for empirical dependencies between individual physical parameters of the globular clusters, globular cluster systems and their host galaxies, and to develop classifications of globular clusters and globular cluster systems.

The objectives of the research are to analyze observational data of globular clusters and globular cluster systems in our Galaxy, to search for an auxiliary parameter for classifying globular cluster and the King model, as well as to search for a new parameter that has correlations with individual physical characteristics, to solve the problem of classifying globular cluster, to statistically analyze dependencies between individual parameters of globular clusters, globular cluster systems and their host galaxies.

The object of research is globular clusters and their systems in our Galaxy and globular cluster systems around various morphological types of galaxies.

The subject of the research is observational data on globular clusters and their systems, empirical formulas, basic physical characteristics of globular cluster, classification of globular clusters and their systems.

The scientific novelty of the research is as follows:

the values of the degree of concentration of stars to the center of the cluster and the velocity anisotropy parameter in the globular clusters of our Galaxy were calculated, for which data were obtained for their central regions based on observations with the Hubble Space Telescope;

the problem of globular cluster classification was solved and the classification of globular clusters of our Galaxy was developed. Empirical formulas are found for the relationship between the degree of concentration and mass of the globular cluster, the absolute magnitude, the degree of wealth, and the distance from the center of the Galaxy;

a consolidated catalog of 441 globular cluster systems was created and a comparative analysis of observational data and methods for finding them by various authors was carried out;

for spiral, irregular, and dwarf galaxies, empirical relationships have been found between the main characteristics of the globular cluster systems and host galaxies;

the analysis of the problem of classification of globular cluster systems was carried out. Specific classifications of globular cluster systems have been developed. Empirical relationships are found between the virial parameter and the physical characteristics of the globular cluster systems.

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

the calculated values of the velocity anisotropy parameter and the degree of concentration relative to the center of globular cluster were used to determine the same magnitudes for open clusters (reference 04/11-3467 of the National

University of Uzbekistan dated June 16, 2022). As a result, the degree of concentration relative to the center of the cluster and its anisotropy parameter were calculated for open clusters;

the developed globular cluster classifications were applied to open clusters (reference 04/11-3467 of the National University of Uzbekistan dated June 16, 2022). As a result, it was proposed to classify open clusters as well. Using empirical formulas between the degree of concentration and mass, absolute value, degree of wealth and distance to the center of the Galaxy, the presence of such formulas among the characteristics of open clusters was also checked;

The globular cluster systems catalog was used to study various types of galaxies (reference 04/11-3467 of the National University of Uzbekistan dated June 16, 2022). As a result, the structural phenomena of galaxies, as well as part of the spherical component of spiral galaxies, were studied in detail;

the found empirical relationships between the parameters of spiral, dwarf and irregular galaxies and the physical characteristics of the globular cluster systems are used to find such values of disk-shaped galaxies (reference 04/11-3467 of the National University of Uzbekistan dated June 16, 2022). For example, the relationship between the absolute magnitude of a galaxy and the metallicity of the system or the number of globular clusters helped determine the magnitude of disk-shaped galaxies;

The globular cluster systems classification was used to study nonlinear processes in spiral galaxies (reference 04/11-3467 of the National University of Uzbekistan dated June 16, 2022). As a result, it was shown that galaxies can also be grouped according to which group belongs to which system. The revealed empirical formulas also served to study the problems of the evolutionary stage of galaxies as a result of finding the value of the virial parameter for the corresponding system. Also, the results of the dissertation are included in the special courses of the National University of Uzbekistan “Galactic astronomy”, “Problems of cosmogony” for undergraduate programs and “Physics of star clusters” for masters.

Structure and volume of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references and an appendix. The volume of the dissertation is 179 pages.

Avtoreferat “Fan va innovatsiyalar” xalqaro ilmiy jurnaliga (International scientific journal “Science and Innovation”) tahririyatida tahririyat o'zaro muvofiqlashtirildi (05.07.2022).



ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Миртаджиева К.Т., **Таджибаев И.У.** Поиск статистических зависимостей для систем шаровых скоплений звезд // Доклады Академии Наук РУз. Ташкент, - 2006. - № 4-5. - с.35-38 **(01.00.00. №7)**
2. **Таджибаев И.У.** Классификация систем шаровых звездных скоплений // Вестник НУУз. Ташкент, - 2009. - № 2, - с.118-120 **(01.00.00; №8)**
3. **Таджибаев И.У.** Шаровые скопления звезд и их системы: анализ данных наблюдений и проблемы происхождения // Вестник НУУз. Ташкент, - 2013. - № 2/1. - с.51-55 **(01.00.00; №8)**
4. Нуритдинов С.Н., **Таджибаев И.У.**, Ганиев Ж.М., Исомаддинова У. Анализ физических характеристик системы шаровых скоплений Млечного пути // Вестник НУУз. Ташкент, - 2013. - № 2/1. - с.123-125 **(01.00.00; №8)**
5. Нуритдинов С.Н., **Таджибаев И.У.** Проблемы классификации систем шаровых скоплений вокруг галактик // Доклады Академии Наук РУз. Ташкент, - 2014. - № 2. - с. 29-32 **(01.00.00. №7)**
6. Nuritdinov S.N., **Tadjibaev I.U.** Globular star cluster systems around galaxies. I. Search for statistical relationships // Astrophysics. Springer, - 2014. – vol. 57. - Issue 1. - p.59-69 **(№40. IF = 0.556)**
7. **Tadjibaev I.U.**, Nuritdinov S.N., Ganiev J.M. Globular star cluster systems around galaxies. II. Spiral and dwarf galaxies // Astrophysics. Springer, - 2015. – vol. 58. - Issue 2. - p.181-192 **(№40. IF = 0.556)**
8. **Таджибаев И.У.** Анализ физических свойств систем шаровых скоплений карликовых галактик // Доклады Академии Наук РУз. Ташкент, - 2015, - № 3. – с.25-28 **(01.00.00. №7)**
9. **Таджибаев И.У.** Исследование шаровых скоплений неправильных галактик // Узбекский физический журнал. Ташкент, - 2015. – том 17. - № 6. – с.331-338 **(01.00.00. №5)**
10. **Tadjibaev I.U.**, Nuritdinov S.N. New empirical dependences for globular cluster systems // Astronomical & Astrophysical Transactions. London (UK), - 2016. - vol. 29. - Issue 3. - p. 327-332 **(№40. IF = 0.125)**
11. **Таджибаев И.У.** К теории происхождения подсистемы шаровых скоплений галактик // Узбекский физический журнал. Ташкент, - 2016. - том 18. - № 1. – с.5-10 **(01.00.00. №5)**
12. Ганиев Ж.М., Нуритдинов С.Н., **Таджибаев И.У.**, Ахмедов М. О системах шаровых скоплений спиральных галактик // Узбекский физический журнал. Ташкент, - 2016. – том 18. - № 4. – с.219-225 **(01.00.00. №5)**

13. Нуритдинов С.Н., Орлов В., **Таджибаев И.У.** Космология шаровых скоплений и их систем: наблюдательные данные и теория // Вестник НУУз. Ташкент, - 2016. - № 2/1. – с.263-274 (**01.00.00; №8**)
14. **Tadjibaev I.U.**, Nuritdinov S.N., Muminov A.A. Non-linear cosmology of globular cluster systems around galaxies // Ukrainian Journal of Physics. Kiev, - 2017. - vol. 62, - № 12. - p.1057-1064 (**№40. IF = 0.844**)
15. **Таджибаев И.У.**, Нуритдинов С.Н. Физические свойства шаровых скоплений в группах и скоплениях галактик // Доклады Академии Наук РУз. Ташкент, - 2017. – том 4. – с.26-29 (**01.00.00. №7**)
16. **Таджибаев И.У.**, Нуритдинов С.Н. Новая классификация шаровых скоплений звезд // Узбекский физический журнал. Ташкент, - 2019. – том 21. - № 3. – с.196-199 (**01.00.00. №5**)
17. **Tadjibaev I.U.**, Nuritdinov S.N. Can globular clusters in the Galaxy be classified by the velocity anisotropy parameter? // Ukrainian Journal of Physics. Kiev, - 2019. - vol. 64. - № 4. - p.271-275 (**№40. IF = 0.844**)
18. Нуритдинов С.Н., **Таджибаев И.У.** Астрофизическая проблема Шепли-Сойер и ее решение // Доклады Академии Наук РУз. Ташкент, - 2020, - № 5. – с.26-29 (**01.00.00. №7**)
19. Nuritdinov S.N., **Tadjibaev I.U.**, Rastorguev A.S. To the globular cluster classification problem. Calculating the concentration of stars for 26 clusters // Astronomy Letters, 2021, - vol. 47. - № 3. - p.163-169 (**№40. IF = 1.194**)
20. Nuritdinov S.N., **Tadjibaev I.U.** Problems of classification of globular clusters and their systems // Bull. NUU: Math. & Natur. Sci., 2021, - vol. 4, № 1, p.112-131
21. Nuritdinov S.N., Rastorguev A.S., **Tadjibaev I.U.** Determination of the degree of star concentration in globular clusters based on space observation data // Open astronomy, 2022, - vol. 31. - № 1. – pp. 1-4(**№40. IF = 0.935**)

II бўлим (II часть; part II)

22. Nuritdinov S.N., Tadjibaev I.U. Globular cluster systems around galaxies: observational data analysis and Hubble constant // Annual International Conference “Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology”. – 2007. – Kyiv. – Ukraine. - p.14
23. Таджибаев И.У., Жалолова Н. Расчет параметра анизотропии для систем шаровых звездных скоплений // Материалы международной конференции ВКНСФ-13. – 2007. - Ростов-на-дону-Таганрог. – Россия. - с.11
24. Таджибаев И.У., Бекназарова Д. Анализ физических характеристик шаровых скоплений Галактики // Сборник научных трудов “Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики”. - 2008. - Ташкент, - с.218-225
25. Таджибаев И.У., Нуритдинов С.Н. Система шаровых скоплений вокруг NGC 4472: расчет параметра анизотропии // Сб. “Гравитационные линзы

- и формирующиеся галактики: наблюдения и теория”. – 2008. Ташкент. - с.46-48
26. Таджибаев И.У., Нуриμβетова Л. Системы шаровых скоплений звезд: анализ наблюдательных данных // Сб.: РИАК-2011. - 2011. – Ташкент. - с.27-29
 27. Nuritdinov S.N., Tadjibaev I.U. Early vs late-type galaxies: globular cluster systems and empirical dependences // International Astronomical Union Symposium. – 2012. – Beijing. – China. – p.104
 28. Ганиев Ж.М., Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У. Анализ систем шаровых скоплений спиральных галактик // Сб. материалов конференции “Улугбековские чтения”. – 2014. – Ташкент. – том 3. - с.138-141
 29. Tadjibaev I.U., Nuritdinov S.N., Ganiev J.M. Globular cluster systems: the second catalogue // Сб. материалов конференции “Улугбековские чтения”. – 2014. – Ташкент. – том 3. - с.162-182
 30. Таджибаев И.У. О системе шаровых скоплений нашей Галактики // Международная конференция “Астрономия от ближнего космоса до космологических далей”. – 2015. – Москва. – Россия. – с.101-102
 31. Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У. Новые эмпирические зависимости для систем шаровых скоплений // Международная конференция “Астрономия от ближнего космоса до космологических далей”. – 2015. – Москва. – Россия. – с.99-100
 32. Nuritdinov S.N., Orlov V., Tadjibaev I.U. Cosmology of the globular clusters and their systems: observational data and theory // International conference: Radiation mechanisms of astrophysical objects: classics today. – 2015. – St.Petersburg. – p.91
 33. Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У. Нестационарная версия равновесной модели Эйнштейна сферической самогравитирующей системы и ее устойчивость // Сб. материалов республиканской конференции «Современные методы математической физики и их приложения» (с участием зарубежных ученых). – 2015. – Ташкент. – с.158-161
 34. Таджибаев И.У. Результаты определения параметра анизотропии скоростей для шаровых скоплений звезд и их анализ // Международная конференция: “Современная звездная астрономия – 2016”. – 2016. – Кисловодск. – с.42
 35. Tadjibaev I.U., Nuritdinov S.N. Comparative physics of globular clusters and dwarf galaxies // The International Symposium “New Tendencies of Developing Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements, Prospectives”. – 2016. – Tashkent. – p.118
 36. Ганиев Ж.М., Таджибаев И.У. Анализ наблюдательных данных по системам шаровых скоплений // Сб.: РИАК-2015. – 2015. – Ташкент. – с.43-46
 37. Эрметова М., Таджибаев И.У. Параметр анизотропии скоростей для системы шаровых скоплений NGC 1399 // Сб.: РИАК-2016. – 2016. – Ташкент. – с.56-58

38. Исроилова Э., Таджибаев И.У. Расчет параметра анизотропии скоростей для шаровых скоплений нашей Галактики // Сб.: РИАК-2016. – 2016. – Ташкент. – с.31-35
39. Таджибаев И.У., Беков Д., С.Н.Нуритдинов Проблемы классификации шаровых скоплений // Сб.: РИАК-2017. – 2017. – Ташкент. – с.97-100
40. Нуритдинов С.Н., Муминов А.А., Таджибаев И.У. Нелинейно нестационарные модели ранних стадий эволюции галактик и проблемы их неустойчивостей // Сб. материалов республиканской конференции “Современные проблемы физики”. – 2017. – Ташкент. – с.219-220
41. Ganiev J.M., Tadjibaev I.U. Small-scale modes on the background of non-stationary disc-like models of self-gravitating systems // Modern Star Astronomy, vol. 1, Astronomy-2018 (XIII congress of the International public organization “Astronomical Society”). Conference Abstracts, Moscow: IZMIRAN, 2018. p.104-106
42. Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У. Проблема Шепли-Сойер и расчет степени концентрации звезд к центру для 26 шаровых скоплений // Международная конференция: “Современная звездная астрономия – 2019”. – 2019. – Нижний Архыз. – с.71
43. Nuritdinov S.N., Rastorguev A.S., Tadjibaev I.U. Determination of the degree of star concentration in globular clusters based on space observation data // Modern Star Astronomy – 2021, Conference Abstracts, Moscow, 2021, p.457-459
44. Нуритдинов С.Н., Таджибаев И.У. О проблемах классификации систем шаровых скоплений // Материалы республиканской конференции «Фундаментально-инновационные исследования в развитии физики и ее перспективы», Ташкент, 2021, с.134-136

Avtoreferat “Fan va innovatsiyalar” xalqaro ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, ingliz va rus tillaridagi matnlari o‘zaro muvofiqlashtirildi (5 iyul 2023 yil №20)

Bosishga ruxsat etildi 05.07.2023 yil.
Buyurtma № 05/07. Adadi 100 nusxa.
Bichimi 60x84 1/16. Bosma tabog‘i 3,9.
“Times New Roman” garniturasini.
“Zebo prints” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent sh., Yashnobod t., 22-harbiy shaharcha.