

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

XAMRAKULOV FARXODJON BAXRONKUL O'G'LI

**YANGI O'ZGARUVCHAN YULDUZLARNI IZLASH VA TANLANGAN
TO'SILUVCHAN QO'SHALOQ TIZIMLARDA APSIDAL HARAKAT TADQIQOTI
ETISH**

01.03.01 – Astronomiya

FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PHD)

DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2026

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

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
физико-математических наук**

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

Xamrakulov Farxodjon Baxronkul o'g'li

Yangi o'zgaruvchan yulduzlarni izlash va tanlangan to'siluvchan
qo'shaloq tizimlarda apsidal harakat tadqiqoti

3

Хамракулов Фарходжон Бахронкул угли

Поиск новых переменных звезд и исследование апсидального
движения в избранных затменно-двойных системах

24

Khamrakulov Farkhodjon Bakhronkul ugli

Search new variable stars and investigation of apsidal motion in
selected eclipsing binaries

46

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works.....

50

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

XAMRAKULOV FARXODJON BAXRONKUL O'G'LI

**YANGI O'ZGARUVCHAN YULDUZLARNI IZLASH VA TANLANGAN
TO'SILUVCHAN QO'SHALOQ TIZIMLARDA APSIDAL HARAKAT TADQIQOTI**

01.03.01 – Astronomiya

FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)

DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent - 2026

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.2.PHD/FM1320 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti va Sharof rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.astrin.uz) va "Ziyonet" axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Burxonov Otabek Anvarjonovich

fizika-matematika fanlari nomzodi, O'zR FA AI

Rasmiy opponentlar:

Toshmatov Bobir Abdumanonovich

fizika-matematika fanlari doktori, O'zR FA AI

Kusakin Anatoliy Vasilevich

fizika-matematika fanlari nomzodi, Fenshenkov nomidagi astrofizika instituti Qozog'iston

Yetakchi tashkilot:

O'zbekiston Milliy universiteti

Dissertatsiya himoyasi Astronomiya instituti huzuridagi PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil _____ soat ____ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, Astronomiya instituti. Tel. (+99871) 235-81-02; faks (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz).

Dissertatsiya bilan Astronomiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (___ raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, 33-uy, O'zR FA AI. Tel. (+99871) 235-81-02).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil "____" _____ kuni tarqatildi.
(2026-yil "____" _____ dagi ____ – raqamli reestr bayonnomasi)

Sh.A. Egamberdiyev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi, f.-m.f.d., akademik

K.E. Ergashev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy kotibi, katta ilmiy xodim

A.B. Abdikamalov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d., yetakchi ilmiy xodim

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda o'zgaruvchan yulduzlarni izlash va o'rganishga qaratilgan ko'plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilib kelmoqda. Shuni ta'kidlash kerakki, o'zgaruvchan yulduzlar ko'plab guruhlar, sinflar va turlarni qamrab oluvchi keng qamrovli tadqiqot sohasidir. Bularning ikkinchi eng katta guruhi tashqi o'zgaruvchan yulduzlar yoki aniqrog'i, o'zgaruvchanligiga yulduzning o'zidan tashqaridagi kuchlar va hodisalar, masalan, o'zaro to'silishlar ta'sir qiladigan yulduzlardir. Tashqi o'zgaruvchan yulduzlar asosan optik kuzatuvlar yordamida o'rganilishi mumkin bo'lgan qo'shaloq tizimlardan iborat. Kuzatuv natijalaridan yulduz fizikasi bilan bog'liq ko'plab muammolarni hal qilish uchun foydalanish mumkin. Qo'shaloq yulduzlar tizimdagi yulduzlar massasini baholash/aniqlash uchun eng yaxshi vositadir. Bundan tashqari, kuzatishlarda qayd etilgan tutilish minimumlarining aniq vaqti bizga orbital davrni aniqlash, orbital davrning o'zgarish tezligini baholash va tizimda noma'lum obyektlar (sayyoralar) yoki qo'shaloq tizimning qo'shimcha yulduz sheriklari mavjudligini aniqlash imkonini beradi bu esa muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Jahondagi yetakchi ilmiy-tadqiqot markazlarida o'zgaruvchan yulduzlarni qidirish va ularning tasnifi bo'yicha tadqiqotlarning natijalari hozirda AAVSO¹ (Amerika o'zgaruvchan yulduz kuzatuvchilari assotsiatsiyasi (VSX)) xalqaro o'zgaruvchan yulduzlar katalogi va o'zgaruvchan yulduzlarning umumiy katalogida (GCVS)² mavjud. 2026-yil boshiga kelib, ushbu manbalarda 10,2 milliondan ortiq o'zgaruvchan yulduzlar ro'yxati mavjud va ular doimiy ravishda yangilanib turadi. O'zgaruvchan yulduzlarni o'rganish yulduz fizikasi bo'yicha fundamental bilimlarni kengaytirish, amaliy ko'nikmalarni rivojlantirish va real hayotdagi loyihalarni amalga oshirishni o'z ichiga oladi. Shu nuqtai nazardan, yaqinda aniqlangan yangi o'zgaruvchan yulduzlar ro'yxatidagi eksentrik yoki elliptik orbitali qo'shaloq tizimlarda apsidal chiziqning harakatini o'rganish orqali to'silish vaqtidagi kuzatilgan komponentlarning ravshanlik o'zgarishlari tizimdagi ikkilamchi effektlarni, ya'ni uchinchi jismning mavjudligi, tortishish, xiralashishi, yulduz dog'lari va shunga o'xshash hodisalarni o'rganish dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi.

Respublikamizda ayni paytda, xususan, Fanlar akademiyasi Astronomiya institutida, asosan, Maydanak Astronomiya observatoriyasida olib borilgan optik kuzatishlar orqali o'zgaruvchan yulduzlarni aniqlash, ularning turlarini o'rganishga qaratilgan qator ishlar amalga oshirilib, muayyan ijobiy natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 29.10.2020 yildagi PF-6097-son farmoniga asosan "Ilm-fanni 2030-yilgacha

¹ <https://www.aavso.org/>

² <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>

rivojlantirish konsepsiyasini” amalga oshirish davlat dasturi hisoblanib u ilmfanning istiqbolli va yangi yoʻnalishlarida, xususan, astronomiya sohasidagi ilmiy-tadqiqot ishlari jadallashtirish boʻyicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda xorijiy ilmiy tadqiqot institutlar va astronomik observatoriyalar bilan mustahkam ilmiy hamkorliklar amalga oshirib kelinmoqda.

Ushbu dissertatsiya ishining ilmiy yoʻnalishi maʼlum darajada Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarda Yangi Oʻzbekistonni rivojlantirish strategiyasi toʻgʻrisida”gi PF-60-son farmoni, shuningdek, Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi PP-5032-sonli “Fizika sohasida taʼlim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari toʻgʻrisida”, hamda ushbu sohada qabul qilingan boshqa meʼyoriy-huquqiy hujjatlarda berilgan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yoʻnalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining: “Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash toʻgʻrisida” gi 29.10.2020 yilda chiqarilgan PF-6097-sonli farmonining 3-bob “Ilm-fanni rivojlantirishning ustuvor yoʻnalishlari” da keltirilgan bandlari - “uchinchisi, yuqori malakali ilmiy va muhandis kadrlar tayyorlash hamda ularni ilmiy faoliyatga yoʻnaltirish” va “beshinchisi, ilm-fan taraqqiyotiga koʻmaklashadigan zamonaviy axborot muhitini shakllantirish” ustuvor yoʻnalishlariga mos keladi.

Muammoning oʻrganilganlik darajasi. Bugungi kunda jaxonda ushbu sohadagi tadqiqotlar NASAning yirik kosmik missiyalari va loyihalari, masalan, GAIA³ (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), TESS⁴ (Transiting Exoplanet Survey Satellite) tomonidan olib borilmoqda. Koʻplab xalqaro kosmik missiyalardan tashqari, oʻzgaruvchan yulduzlarni qidirish va oʻrganish uchun yer usti kuzatuvlariga asoslangan keng koʻlamli optik kuzatuvlarni tashkil etishga ham katta ahamiyat beriladi. Shu nuqtai nazardan, eng yirik loyihalardan biri ASAS-SN⁵ (Supernovalar uchun All-Sky Automated Survey) va ZTF (Zwicky Transient Facility) hisoblanadi. Hozirgi kunda koʻplab xorijiy olimlar yangi oʻzgaruvchan yulduzlarni qidirish va qoʻshaloq tizimlarda apsidal chiziqlarning harakatini oʻrganish sohasida faol ilmiy tadqiqotlar, shuningdek, oʻzgaruvchan yulduzlar sohasida turli nazariy va amaliy tadqiqotlar olib bormoqdalar. Masalan “Oʻzgaruvchan yulduzlarning umumiy katalogi” (GCVS) Rossiya Fanlar akademiyasining Astronomiya instituti va P.K. Shternberg nomidagi Astronomiya instituti tomonidan yaratilgan va hozirda prof. N. N. Samus va uning ilmiy jamoasi N.A. Gorynya, A.M. Zubareva, E.V. Kazarovets, E.A. Karitskaya, A.V. Xruslov, N.N. Kireeva tomonidan shakllantirilib borilmoqda. Avstraliya Milliy Universitetidan William Patrick Clarke va uning

³ https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia_overview

⁴ <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/>

⁵ <https://www.astronomy.ohio-state.edu/asassn/>

ilmiy jamosi o'zgaruvchan yulduzlarning kashf qilish va sinflashtirish, o'zgaruvchan yulduzlarning avtomatlashtirilgan xolda sinflashtirish bo'yicha Jonas Debosscher uning jamoasi faollik ko'rsatmoqda. Taniqli astronom olimlardan A.M. Cherepashchuk, A.S. Rastorguev, E.G. Lapukhin, A. Samokhvalov, A.V. Serebryanskiy, Moises Castillo, SaiKiran Varma Sirigiri kabi olimlar yangi o'zgaruvchan yulduzlarni tadqiqotlari bilan shug'ullanib kelmoqdalar. O'zgaruvchan yulduzlarning EA-algol tipiga tegishli eksentrik orbitaga ega tizimlarda apsidal harakat effektlarini Kh.F. Khaliullin, I.M. Volkov, V.S. Kozyreva, A.I. Bogomazov, A.V. Kusakin, I. Bulut, P. Zasche, J. Southworth, M. Wolf, D. Sürgit, O. Özdarcan, Prsa Andrej, Sophie Rosu va boshqa bir qator taniqli olimlar tadqiqod ishlarini olib borishmoqda.

Respublikamizda hozirgi vaqtda o'zbek olimlari o'zgaruvchan yulduzlarni aniqlash va ularni tadqiqoti bo'yicha Fanlar akademiyasi Astronomiya institutida O.A. Burxonov, R.G. Karimov, A.V. Khalikova kabi taniqli olimlar ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishmoqda va ijobiy natijalarga erishilmoqda. Shuni ta'kidlash kerakki, ushbu tadqiqot ishi bizning mamlakatimizda yangi o'zgaruvchan yulduzlarni izlash va tanlangan to'siluvchan qo'shaloq tizimlarda apsidal harakat o'rganish sohasidagi ixtisoslashgan ilk ishlardan biridir.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejaları bilan bog'liqligi. Ushbu dissertatsiya ishi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining Astronomiya institutida va Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining Muhandislik fizikasi institutining Yadro fizikasi va astronomiya kafedrasida bajarildi. Ushbu dissertatsiya doirasida olib borilgan tadqiqot ishlari O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining Galaktik astronomiya laboratoriyasining rejalariga mos keladi va qisman IL-5421101855 "Kosmik gamma-nurlanish manbalarini qidirish, kuzatish va o'rganish" loyihasining bir qismidir.

Tadqiqotning maqsadi: Maqsadli kuzatilgan maydonlarda yangi aniqlanmagan o'zgaruvchan yulduzlarni hamda tanlangan EA tipidagi to'siluvchan qo'shaloq yulduzlarida apsidal harakatni aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

- Osmonning tanlangan maydonlarini fotometrik kuzatuvlarini o'tkazish;
- Kuzatilgan maydonlarda yangi o'zgaruvchan yulduzlarni izlash;
- Aniqlangan yangi o'zgaruvchan yulduzlarni ravshanlik egri chizig'iga ko'ra o'zgaruvchanlik sinflariga va tiplarga ajratish;
- Ilgari ma'lum bo'lgan va yangi o'zgaruvchan yulduzlarning o'zgaruvchanlik xususiyatlarini aniqlash va tahlil qilish;
- Eksentrik orbitali qo'shaloq tizimlarda apsidal chiziq harakatining parametrlarini aniqlash;
- EA tipdagi eksentrik orbitaga ega to'siluvchan qo'shaloq sistemalarda uchinchi jism mavjudligini tekshirish;
- Tanlangan EA tipidagi ikkilik tizimlarda apsidal chiziqning harakatini

o'rganish.

Tadqiqot obyekti. Ushbu dissertatsiya ishida tadqiqod obyekti sifatida yangi o'zgaruvchan yulduzlar va EA – algol tipidagi eksentrik orbitaga ega to'siluvchan qo'shaloq tizimlarga qaratilgan.

Tadqiqot predmeti. Kuzatilgan tanlangan maydonlarda yulduzlarni ravshanlik egri chiziqlari va EA – algol tipidagi yulduzlar hamda ularning vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadigan davriy tarkibiy qisimlaridir.

Tadqiqot usullari.

Umume'tirof va umumiy tan olingan kuzatuv usullari, CCD (ZAQ) raqamli astrotasvirlarni qayta ishlashning standart usullari, astrometrik va fotometrik o'lchash usullari, matematik tahlilning tan olingan usullari va fotometrik vaqt qatorlaridagi geometrik, fizik komponentalarini aniqlashni statistik usullari.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Tanlangan $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$, $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ va $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$ maydonlarda 164 ta turli tipdagi yangi o'zgaruvchan yulduzlar ilk marotaba aniqlanib davrlari va boshlang'ich parametrlari aniqlangan.

Birinchi marta EA tipdagi V1059 Cep, V1437 Cas va 2MASS 22425392+5439498 qo'shaloq tizimlar eksentrik orbitaga ega ekanligi va tizimda apsidal harakat mavjudligi aniqlangan hamda tizimning orbital hamda komponentalarning fizik parametrlari aniqlangan.

V1437 Cas tizim atrofida uchinchi jism mavjudligi aniqlangan bo'lib, uchinchi jismning orbital davri $27,255 \pm 0,00127$ kun ekanligi kuzatuvlar asosida hisoblangan.

2MASS 22425392+5439498 obyekti dastlabki fotometrik natijalari, TESS va ASASSN-V fotometrik natijalari har biri alohida tahlil qilinib JKTEBOP dasturi yordamida ravshanlik egri chiziqlariga mos model yaratilgan hamda tizimning orbital parametrlari o'zgarishi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

164 ta yangi o'zgaruvchan yulduzlar uchun "O'zgaruvchan yulduzlar" bazasi yaratildi va ular o'zgaruvchanlik tiplari bo'yicha sinflashtirilgan;

Tanlangan qo'shaloq yulduzlarning parametrlari kuzatuvlar asosida hisoblab chiqilgan va modellari yaratilgan;

V1059 Cep va V1437 Cas to'siluvchan qo'shaloq EA tizimlarda apsidal harakati aniqlangan;

Fotometrik kuzatuv natijalarining tahliliga asoslanib V1437 Cas va 2MASS 22425392+5439498 obyektlarda uchinchi jism aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi: Kuzatuv ma'lumotlari va natijalarini qayta ishlash, o'zgaruvchanlikni tahlil qilish va uni ma'lum turlarga ajratish hamda fotometrik natijalarimizni eksentrik orbitali Algol tipidagi tanlangan to'siluvchan qo'shaloq tizimlarning boshqa kuzatuvlar natijalari bilan taqqoslash uchun zamonaviy, tasdiqlangan usullar va dasturiy ta'minotni tanlash ushbu usullarga asoslangan edi. Tanlangan Algol tipidagi eksentrik orbitaga ega obyektlardagi o'tkazilgan tadqiqot usullari zamonaviy va taniqli tadqiqochilar tomonidan foydalanib kelinayotgan zamonaviy dasturlar yordamida amalga oshirildi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundaki, o'zgaruvchan yulduzlar kataloglarida ilgari ro'yxatdan o'tmagan yangi o'zgaruvchan yulduzlar uchun ularning o'zgaruvchanlik sinflari va tiplari aniqlanadi hamda aniqlangan yangi ma'lumotlar O'zgaruvchan yulduzlarning umumiy kataloglarini boyitish imkonini bergan.

Yangi kashf etilgan o'zgaruvchan yulduzlar, o'zgaruvchan yulduzlar haqidagi statistik ma'lumotlarni to'ldirishdan tashqari, osmondagi o'zgaruvchan yulduzlarning fazoviy taqsimlanishini aniqlashtirish uchun ham ishlatiladi.

Olingan natijalar Algol tipidagi eksentrik orbitali qo'shaloq tizimlarda apsidal harakat bo'yicha mavjud ma'lumotlarni to'ldiradi va ularni evolyutsiyasini o'rganishda, qo'shimcha komponentalarni qidirishda va zich qo'shaloq tizimlardagi fizik jarayonlarni o'rganishda ishlatiladi.

Bundan tashqari, dissertatsiyaning ilmiy va amaliy ahamiyati olingan kuzatuv natijalari bilan belgilanadi va ular o'rganilayotgan va shunga o'xshash obyektlarni yanada chuqur tadqiq etish uchun tabiiy laboratoriya natijalari hisoblanadi.

Ushbu ishdagi natijalar va usullar Respublikamizdagi universitetlarining astronomiya yo'nalishida tahsil olayotgan bakalavr va magistr lari uchun maxsus kurslarga ham kiritiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Yangi o'zgaruvchan yulduzlarni izlash va tanlangan to'siluvchan qo'shaloq tizimlarda apsidal harakat tadqiqoti bo'yicha olingan natijalar asosida:

kuzatuv natijalarini tahlil qilish orqali yangi aniqlangan 49 ta yulduz "O'zgaruvchan yulduzlarning umumiy katalogi"ga kiritilgan (Rossiya Fanlar akademiyasi P.K. Shternberg nomidagi Astronomiya institutining 2026-yil 30-yanvardagi ma'lumotnomasi). Natijada o'zgaruvchan yulduzlarning umumiy katalogi bazasidagi obyektlar soni ortishiga, katalogning ilmiy qiymati oshishiga, fundamental va amaliy tadqiqotlarni rivojlantirish uchun ilmiy asos yaratilishiga erishilgan;

tanlangan kuzatuv maydonlarda aniqlangan yangi o'zgaruvchan yulduzlar to'g'risidagi 2022-2023 yillarda Peremennye Zvezdy jurnalida chop etilgan "Variable Stars Discovered at the Maidanak Observatory, Discovery of Six New Variables va New variable stars in Lacerta Part III" maqolalariga 1 tadan umumiy 3 ta iqtibos keltirilgan;

maqsadli kuzatuv maydonlarda aniqlangan yangi o'zgaruvchan yulduzlar bo'yicha 2020-2021 yillarda Peremennye Zvezdy jurnalida chop etilgan "New Variable Stars in Lacerta Part I, II" maqolalariga 1 ta dan umumiy 2 ta iqtibos keltirilgan;

eksentrik orbitaga ega qo'shaloq tizimlarni apsidal harakatiga bag'ishlangan tadqiqod ishi bo'yicha 2024-yilda Peremennye Zvezdy jurnalida chop etilgan "The Apsidal Motion in the Eclipsing Binary V1437 Cas" 2 ta iqtibos keltirilgan.

Tadqiqot natijalarini approbatsiyasi. Tadqiqot natijalari O'zbekiston

Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti, Sharof Rashidov nomidagi Samarqand Davlat Universitetining Muhandislik fizikasi va Yadro texnologiyalari institutlarida seminarlarida, 10 dan ortiq xalqaro va milliy konferensiyalarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi doirasida jami 24 ta ilmiy ish nashr qilingan. Shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining asosiy ilmiy natijalarni chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola, WoS va SCOPUS ma'lumotlar bazasida indeksatsiyalanuvchi yuqori reytingli va impakt faktorga ega ilmiy jurnallarda 10 ta maqolalar hamda Respublika va xalqaro ilmiy konferensiyalarda 10 ta tezislar, chop etilgan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish, to'rt bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 117 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyani **kirish** qismida ish mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan. Ishning maqsad va vazifalari tavsiflangan. Tadqiqot natijalarining yangiligi va ishonchliligi, ilmiy va amaliy ahamiyati qayd etilgan.

Birinchi bob to'rtta paragraph bo'lib, birinchi paragraph o'zgaruvchan yulduzlar kashf qilinishi va o'rganilish tarixi hamda butun dunyo bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlarning bugungi holati haqida qisqacha bayon qilingan. Xususan, 1596 yilda kuzatilgan ilk Mira o'zgaruvchan yulduzidan boshlab to zamonaviy yer usti va kosmik missiyalargacha bo'lgan o'zgaruvchan yulduzlar tadqiqotlari qisqa tarixi o'rin olgan. Shu bilan birga tasdiqlangan o'zgaruvchan yulduzlar sonini ortib borishi ko'rsatilib, bugungi kunda ularning soni 10 mln dan oshganiga asoslar keltirilgan. Ikkinchi paragraphda o'zgaruvchan yulduzlarning tasnifiga e'tibor qaratilgan bo'lib, bunda o'zgaruvchan yulduzlarni xususiyatlariga ko'ra ularning turlari va sinflanishi haqida ma'lumotlar keltirilgan. Bugungi kunda o'zgaruvchan yulduzlar xususiyatlariga ko'ra ikkita asosiy toifaga bo'linadi, yani ichki va tashqi o'zgaruvchan yulduzlar⁶. Aytib o'tish kerak, ichki o'zgaruvchan yulduzlar ravshanligi ularning ichida yoki yuzasida sodir bo'ladigan fizik jarayonlar sababli o'zgaradi. Bu toifa yulduzlariga pulsatsiyalanuvchi, eruptiv va kataklizmik o'zgaruvchanlar kiritiladi va o'z navbatida sinflashtirilib guruhlar va tiplarga ajratiladi. Tashqi o'zgaruvchan yulduzlar toifasiga yulduzlarning ravshanligi o'zgarishlari yulduzning xususiyatlariga bevosita ta'sir qilmaydigan tashqi hodisalar tufayli yuzaga keladi. Bu toifaganing ikkita asosiy guruhi mavjud bo'lib, ular aylanuvchi va to'siluvchan yulduzlardir. Ta'kidlab o'tish kerak, to'siluvchi o'zgaruvchan yulduzlarni koplak tiplari mavjud, masalan EA Algol tipidagi o'zgaruvchi yulduzlar. Uchinchi paragrafda to'siluvchan qo'shaloq yulduzlarda kuzatiladigan ba'zi effektlar tavsiflangan, masalan bunday o'zgaruvchan yulduzlarni ravshanlik egri chiziqlarida kuzatiladigan assimetriya - O'Connell

⁶ <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=about.vartypes>

effekti. Shu bilan birga apsidal harakat effekti asoslari xam kelritilgan. 1-bob 4 -paragafida muammoning hozirgi holatiga oydinlik kiritilgan.

Ikkinchi bobda dissertatsiya tadqiqotlari doirasida o'zgaruvchan yulduzlarni kuzatuvlari, optik kuzatuv ma'lumotlarini qayta ishlash, ravshanlik egri chiziqlaridan davriy signallarni aniqlash usullari va o'zgaruvchan yulduzlarni aniqlash va qidirishda foydalanilgan VaST dasturi haqida aniq ma'lumotlar keltirilgan.

Ushbu bobning birinchi paragrafida kuzatuvlar olib borilgan punktlar, foydalanilgan teleskoplar va ZAQ (Zaryadli Aloqa Qurilmasi) kameralar haqida ma'lumotlar keltirilgan. Ta'kidlab o'tish kerak asosiy kuzatuvlar Rossiya Federatsiyasining Krasnoyarsk shahridagi Akademik M. F. Reshetnev nomidagi Sibir davlat fan va texnologiyalar universiteti observatoriyasidagi 0,4 metrli teleskopda 1 maydon va O'zbekiston Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining Maydanak observatoriyasi 0,5 metrli AMT-1 teleskopida 2 ta maydon kuzatilgan. Kuzatuvlarda ZAQ kameradan foydalanilganligi sababli teleskopning kirib borish kuchini hisoblashda ekspozitsiya vaqtini inobatga oladigan quyidagi formuladan foydalanildi:

$$m = 4.5 + 4.4 \lg (D) + 1.25 \lg (t) \quad (1)$$

bu yerdagi D- teleskop bosh ko'zgusining mm dagi diametric, t - ekspozitsiya vaqti.

Kuzatuv natijalariga tasir qiluvchi yana bir omil signalni shovqinga nisbatiga (SNR) katta e'tibor qaratildi. Gap shundaki, SNR fotometrik o'lchovlarning aniqlik chegarasini (xatoliklarini) baxolashda muhim ro'l o'ynaydi. Shu sababli biz SNR dan quyidagi formuladagidek foydalandik:

$$\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}} \right) \approx \frac{1}{\text{SNR}}$$

SNR tasirini quyidagi misollar yordamida korishimiz mumkin:

Agar, SNR =10, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1+0.1) = -2.5 \lg (1.1) \approx 0.1$

Agar, SNR =50, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1+0.02) = -2.5 \lg (1.02) \approx 0.02$

Agar, SNR =100, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1+0.01) = -2.5 \lg (1.01) \approx 0.01$

Agar, SNR =200, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1+0.005) = -2.5 \lg (1.005) \approx 0.005$

Bobning ikkinchi paragrafida optik kuzatuv ma'lumotlarini qayta ishlash to'g'risida batafsil ma'lumot keltirilgan. Hozirgi vaqtda IRAF, MIDAS, AIPS, IDL, Astropy va boshqa ko'plab moslashuvchan dasturiy paketlar mavjud. Ushbu paketlar ZAQ tasvirlarini qayta ishlash uchun zarur bo'lgan deyarli barcha talablarni qondiradi. Ushbu tadqiqotda astronomik dasturiy ta'minotlarning eng keng qamrovli to'plami bo'lgan IRAF dasturiy paketidan foydalanildi. Kuzatuvlar davomida olingan astronomik ZAQ tasvirlarga birlamchi ishlov berish quyidagi standart bosqichlarni o'z ichiga oladi, yani ishchi tasvirlarga bias (nolinchi satx siljishi), flat (tasvir yuza tekisligi) va dark (qorong'ulik toki) ga tuzatishlar kiritishdan iborat. Fotometrik o'lchovlarni amalga oshirish uchun aperturali fotometriyadan foydalanildi. Ishchi tasvirlarga birlamchi

ishlov berishning barcha bosqichlari IRAF⁷ dasturlar paketining CCDRED paketida amalga oshirildi. Birlamchi ishlov berilgan ZAQ tasvirlarda fotometrik o'lchovlarni amalga oshirish uchun IRAF ni DAOPHOT va APHOT paketlaridan foydalanildi. Bunda uskuna yulduz kattaliklarini olishda tasvir fonini inobatga oluvchi quyidagi formuladan foydalanildi:

$$m_{ins} = -2.5 * \lg \left(I_{S+B} - I_B * \left(\frac{N_{S+B}}{N_B} \right) \right) \quad (2)$$

bu yerda m_{ins} – uskuna yulduz kattalik, I_{S+B} – yulduzning fon bilan birgallikdagi umumiy yorqinligi, I_B – fon yorqinligi, N_{S+B} – belgilangan aperturada piksellar soni, N_B – orqa fon yorqinligini baholash uchun ishlatiladigan piksellar soni.

2-bob uchinchi paragrafida ravchanlik egri chiziqlarida davriy signallarni aniqlash usullariga to'xtanilgan bo'lib, bunda astronomiyada keng foydalaniladigan va eng samarali usul sifatida Lomb-Scargl periogrammasi tasvirlangan va uni tezkor hisoblash usuli keltirilgan. Gap shundaki, astronomiyada tekis vaqtli qatorlarni deyarli olib bo'lmaydi va shu sababli odatda notekis vaqt qatorlari bilan ishlaymiz. Aytilgandan kelib chiqib astronomiyada davriy signallarni aniqlashning eng mashhur usullari quyidagilardan iborat: Chastota (LS, SP) tahlili va dispersiya (PDM, AoV) usuli. Biz foydalangan Lomb-Scargl periogrammasi chastota tahlili usuliga kiradi va quyidagi ko'rinishdagi vaqtli qatorlar bilan ishlaydi:

$$x_j = x(t_j) + \sigma(t_j) \quad (3)$$

bu yerda t_j kuzatuv momentidagi $x(t_j)$ yulduz kattaligi va o'lchalar xatoligi $\sigma(t_j) = m_{errj}$. j – vaqt qatoridagi nuqtalarining soni.

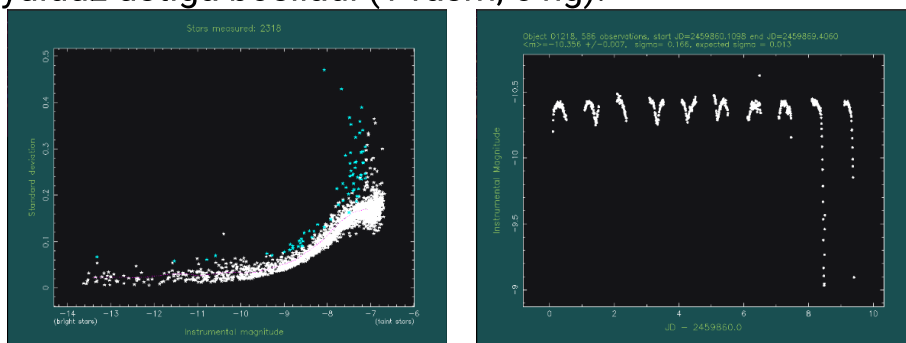
Ikkinchi bobning oxirgi paragrafida (§2.4) o'zgaruvchan yulduzlarni izlash usullari tahlili, ushbu dissertatsiya doirasida foydalanilgan kuzatilgan maydonlarda o'zgaruvchan yulduzlarni qidirishning ba'zi usullarini qisqacha bayoni va VaST dasturi haqidagi ma'lumotlar keltirilgan. Xususan, kuzatuvlardan olingan ravshanlik egri chiziqlarida o'zgaruvchanlikni mavjudligini aniqlashda biz χ^2 mezon tekshiruvdan, standart og'ish usuli (σ_w), absolyut median og'ish usullaridan foydalanildi. Qolaversa, ravshanlik egri chiziqlaridan o'zgaruvchanlikni aniqlashning boshqa ma'lum usullari haqida ma'lumot keltirildi.

Maqsadli kuzatilgan maydonlarda yangi o'zgaruvchan yulduzlarni aniqlash uchun biz Variability Search Toolkit (VaST⁸) dasturidan foydalandik hamda bu dastur to'g'risida aniq misollar asosida yetarlicha ma'lumotlar ko'rsatildi. Aytib o'tish kerak VaST dasturi astrometrik o'lchashlarda Astrometry.net kodidan va ZAQ tasvirlardagi manbalarni (yulduzlarni) fotometriyasida SoExtractor dasturidan foydalanadi. Dastur barcha ZAQ tasvirlarda aniqlangan barcha yulduzlarni ravshanlik egri chiziqlari asosida uskuna yulduz kattaligi va standart og'ish diagrammasini yaratadi (1-rasm, chap). Shu diagrammada oq rangdan boshqa rangdagilar, yani bizning xolda

⁷ <https://iraf-community.github.io/>

⁸ <http://scan.sai.msu.ru/vast/>

ko'k rangda belgilangan yulduzlar o'zgaruvchan yulduzlar sifatida ajratib ko'rsatiladi. Tanlangan o'zgaruvchan yulduz ravshanlik egri chizig'ini ko'rish uchun shu yulduz ustiga bosiladi (1-rasm, o'ng).



1-rasm. VaST dasturi hosil qilgan uskuna yulduz kattaligi va standart og'ishu diagrammasini (chap) (markazi RA=00 31 Dec=+64 00 bo'lgan maydon uchun), o'ngda 1 ta yulduzning ravchanlik egri chizig'i.

Kuzatilgan maydonlardagi barcha aniqlangan o'zgaruvchan yulduzlar avval aniqlanganligi va kataloglarda mavjudligiga tekshirildi. Agar tekshiuruvlardan o'zgaruvchan yulduz avval aniqlanmagan va kataloglarda mavjud bo'lmasa o'zgaruvchan yulduzlarga nozod sifatida qaraldi.

Aniqlangan barcha o'zgaruvchan yulduzlarning ravshanlik egri chiziqlari asosida davriylik baxolanadi/aniqlanadi. Barcha ma'lum va nomzod o'zgaruvchan yulduzning uskuna yulduz kattaligidan tayanch katalog yulduz kattaligiga o'tish uchun quyidagi formuladan foydalanildi:

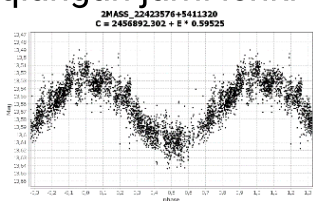
$$m_{\text{obj}} = m_{\text{obj_ins}} + (m_{\text{ref_cat}} - m_{\text{ref_ins}})$$

bu yerda, m_{obj} - o'zgaruvchan yulduzning tayanch katalog bo'yicha yulduz kattaligi, $m_{\text{obj_ins}}$ - o'zgaruvchan yulduzning uskuna yulduz kattaligi, $m_{\text{ref_ins}}$ - tayanch yulduzning uskuna yulduz kattaligi va $m_{\text{ref_cat}}$ - tayanch yulduzning mos filtdagi tayanch katalogdan olingan standart yulduzning yulduz kattaligi.

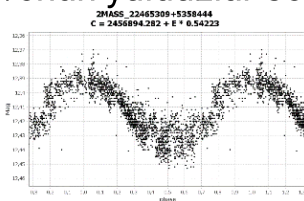
“Yangi o'zgaruvchi yulduzlar” deb nomlangan **uchunchi bobda** markazlari $\alpha = 22^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta = +54^{\circ}00'$, $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$, $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$ bo'lgan maynolar kuzatuvlari natijalari keltirilgan bo'lib, shu maydonlarda aniqlangan yangi o'zgaruvchan yulduzlar va ularning tavsiflari keltirilgan. Ushbu bobni (§3.1) va (§3.2) paragraflarida foydalanilgan barcha kuzatuv ma'lumotlari Rossiya Federatsiyasining Krasnoyarsk shahridagi Akademik M. F. Reshetnev nomidagi Sibir davlat fan va texnologiyalar universiteti rasadxonasida markazi $\alpha = 22^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta = +54^{\circ}00'$ (2000.0) bo'lgan Lacerta yulduz turkumi sohasidagi kuzatilgan. Kuzatuvlar 2012-yil avgust-oktyabr va 2014-yil sentyabr-oktyabr oylarida olib borilgan. Kuzatuvlarda diametri 400 mm va fokus masofasi 915 mm bo'lgan Hamilton tipidagi teleskopidan foydalanilgan bo'lib, teleskop 3K×3K FLI ML-9000 ZAQ kamerasi bilan jihozlangan. ZAQ kameraning pikselning fizik o'lchami 12×12 mkm va yoy sekundlarda 2,7 bo'lgani holda, ko'rish maydoni $2,3 \times 2,3$ daraja teng bo'lgan.

Xususan, 1chi paragrafda Lacerta yulduz turkumi sohasida aniqlangan

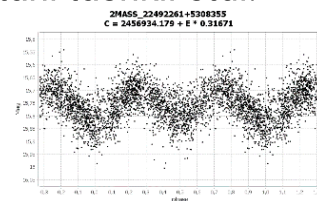
ichki o'zgaruvchan yulduzlarning tavsiflari keltirilgan. Ushbu sohada pulsatsiyalanuvchi RR Lira quyi tipiga (2a rasm), Sefeida tipiga (2b rasm), kichik va katta amplitudali DSCT tipidagi (2c,d rasm), L va LB tipidagi noto'g'ri o'zgaruvchan yulduzlar tipidagi (2e rasm) va SR (yarim to'g'ri) tipiga (2f rasm) mansub o'zgaruvchanlar asoslangan. Lacerta yulduz turkumi sohasida yangi aniqlangan jami ichki o'zgaruvchan yulduzlar soni 51 tani tashkil etdi.



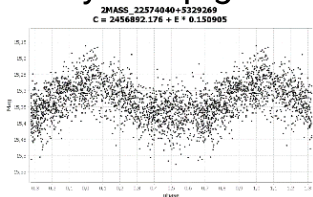
a) RR Lyrae tipiga misol



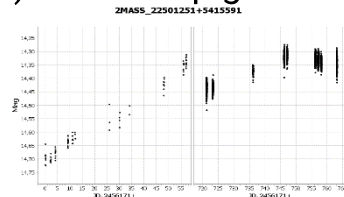
b) Sefeida tipiga misol



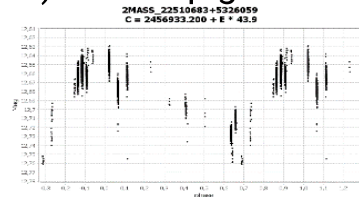
c) DSCT tipiga misol



d) HADS tipiga misol



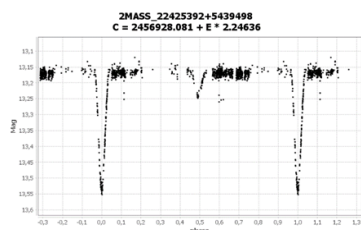
e) L tipiga misol



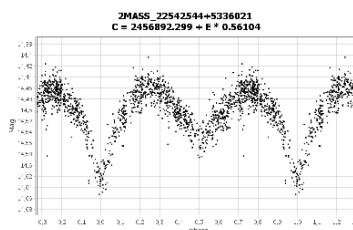
f) SR tipiga misol

2 – rasm. Aniqlangan yangi o'zgaruvchan yulduzlarning faza egri chiziqlariga namunalar. L tipi uchun ravshanlik egri chizig'i berilgan.

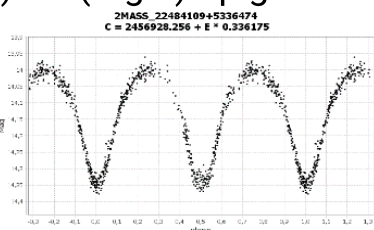
Ushbu bob 2chi paragrafda Lacerta yulduz turkumi sohasida aniqlangan tashqi o'zgaruvchan yulduzlarning tavsiflari keltirilgan. Buda EA (Algol) (3a rasm), EB (β Lira) (3b rasm), EW (W UMa) (3c rasm) va BY Dra (BY Ajdaho) (3d rasm) tiplariga mansub jami 97 ta to'siluvchan qo'shaloq yulduzlar aniqlandi.



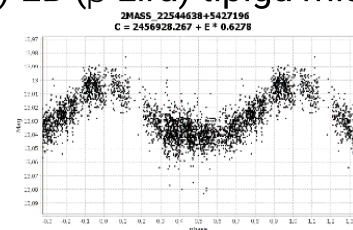
a) EA (Algol) tipiga misol



b) EB (β Lira) tipiga misol



c) EW (W UMa) tipiga misol



d) BY Dra (BY Ajdaho) tipiga misol

3-rasm. Tashqi o'zgaruvchan yulduzlariga misol yulduzlarning faza ravshanlik egri chiziqlari.

Uchinchi bob 3chi va 4chi paragrafda foydalanilgan kuzatuv ma'lumotlari O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining Astronomiya institutining Maydanak observatoriyasi AMT-1 teleskopida olingan. Ushbu teleskop bosh ko'zgusi diametri 0,5 metr bo'lib 4Kx4K o'lchamdagi Apogee

Alta U16M ZAQ kamerasi bilan jihozlangan. ZAQ kameraning pikseli fizik o'lchami 9 mikronni tashkil qiladi. Kuzatuvlar 0,907"/piksel masshtabiga va 30,9'x30,9' ko'rish maydoniga mos keladigan 2x2 binning yordamida amalga oshirildi. Kuzatuvlarda Johnson–Cousins Rc filtridan foydalanildi. Kuzatuvlar vaqtida ZAQ kamerasing ish harorati –15°C darajasida ushlandi.

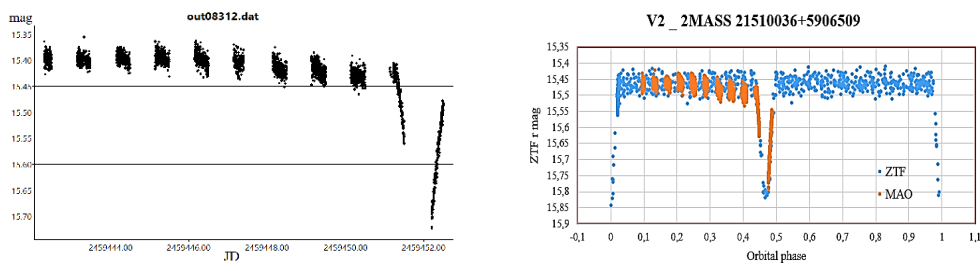
Markazi $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ koordinatalarda bo'lgan maydonda aniqlangan yangi o'zgaruvchi yulduzlarning tavsiflari 3 paragrafda keltirilgan. Ushbu maydon 2021 yil 5 sentyabridan 30 oktyabrigacha 28 tun davomida kuzatilgan bo'lib, jami 2593 ta ZAQ tasvir olingan.

Kuzatuv ma'lumotlarini VaST dasturidagi tahlili asosida jami 6 ta yangi o'zgaruvchan yulduz aniqlandi. Ulardan 5 tasi EA tipidagi to'siluvchan qo'shaloq yulduz va 1 tasi DSCT tipidagi pulsatsiyalanuvchi yulduz sifatida sinflashtirildi. E'tiborli jihati barcha EA tipidagi yulduzlarning davrlari 1 sutkadan katta bo'lib chiqdi. DSCT tipidagi o'zgaruvchan yulduzning davri 0.07823 sutkaga teng ekanligi topildi (1-jadval).

1-jadval. Markazi $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ maydonda aniqlangan yangi o'zgaruvchi yulduzlarning ro'yhati.

	USNO-B1.0 bo'yicha ID	Tipi	Koordinatalari (J2000)		Davri sutka
			RA	Dec	
1	1524-0451378	EA	23 58 19.52	+62 29 00.97	2.730
2	1526-0460830	EA	23 58 46.98	+62 36 51.50	*
3	1528-0467698	EA	23 57 05.42	+62 49 53.84	9.15021
4	1526-0458817	EA	23 56 19.56	+62 36 04.59	5.19423
5	1526-0460762	EA	23 58 41.42	+62 37 14.88	1.5154
6	1528-0470117	Dsct	23 59 57.47	+62 49 49.83	0.07823

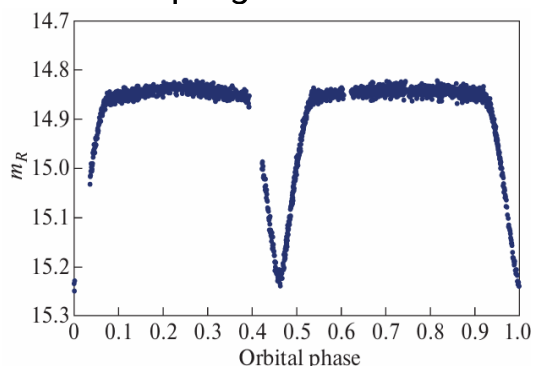
$\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$ koordinatalar atrofidagi aniqlangan yangi to'siluvchan qo'shaloq o'zgaruvchi yulduzlarning tavsiflari 4 paragrafda keltirilgan. Kuzatuvlar 2021 yil 15-26 avgust kunlari (JD 2459442.3 – 2459452.2) amalga oshirilgan. Kuzatuvlar natijasida jami 12 yangi o'zgaruvchan yulduz aniqlanib, ulardan 11 tasi EA va 1 tasi BY Dra tipiga tegishli deb sinflashtirildi. Aniqlangan barcha o'zgaruvchan yulduzlarning o'zgaruvchanlik davrlari 2 sutkada katta deb baxolandi. Ayirim aniqlangan o'zgaruvchan yulduzlarni o'zgaruvchanlik davrlarini aniqlashtirish maqsadida ZTF ma'lumotlari bilan birlashtirib qayta tahlil asosida ularning davrlari topildi. Masalan, EA tipidagi 2MASS 21510036+5906509 yulduzining o'zgaruvchanlik davri shu usulda topildi, yani davri 25,9578445 sutkaga teng bo'lib chiqdi (4-rasm).



4-rasm. 2MASS 21510036+5906509 yulduzining dastlab MAO kuzatuvlari asosida kashf etilgandagi ravshanlik egri chizig'i (o'ngda) va keyinchalik ZTF fotometrik ma'lumotlarini MAO kuzatuvlari natijalari bilan birlashtirish orqali olingan faza ravshanlik egri chizig'i (chapda).

To'rtinchi bob to'laligicha to'siluvchan qo'shaloq tizimlarida apsid chizig'ining aylanishi bo'yicha tadqiqotlar va ularning natijalariga qaratilgan. Bunda EA Algol tipidagi V1059 Cep, V1437 Cas va 2MASS 22425392+5439498 to'siluvchan qo'shaloq yulduzlarining tadqiqot natijalari o'rin olgan.

Ushbu bob birinchi va ikkinchi paragraflarida keltirilgan V1059 Cep to'siluvchan qo'shaloq o'zgaruvchan yulduzi 2021 yilda Maydanak observatoriyasi 0,5 metrli AMT-1 kuzatilib faza ravshanlik egri chizig'i hosil qilindi (5-rasm). Aytib o'tish kerak, V1059 Cep ning o'zgaruvchanlik davri $P_{orb}=2,5568906$ kun bo'lib avval aniqlangan.



5-rasm. V1059 Cep faza ravshanlik egri chizig'i Rc filtridagi 2021-yilgi kuzatuvlar asosida.

V1059 Cep ning faza ravshanlik egri chizig'ida 2chi minimum 0.5 fazadan sezilarli farq chiqqanligi (5-rasm) sababli boshqa mualliflar tomonidan olingan ma'lumotlar asosida qayta tekshirilib bizning natijalar to'g'riligiga ishonch hosil qilindi, yani 2012–2013 yillardagi kuzatuvlar va ZTF ma'lumotlaridan foydalanildi. Bunda, ob'yektining fotometrik parametrlarli va orbital elementlarni aniqlash uchun minimum fazalardagi ravshanlik egri chiziqlari ma'lumotlaridan foydalanildi. Obyektining nazariy ravshanlik egri chizig'ini hisoblashda tizim komponentalari sferik deb qabul qilinadi va ularning chetiga qarab chiziqli ravishda qorayishi hisobga olindi. Natijada minimum fazalardagi ravshanlik egri chizig'lari va nazariy egri chizig'i o'rtasidagi O–C farqlari hisoblab topildi.

Tizimning nazariy ravshanlik egri chizig'ini (tizim model) olish maqsadida limb-darkening koeffitsientlaridan tashqari barcha parametrlarini

erkin qidirish uchun foydalanilgan yechimlar 2-jadvalda keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, barcha 4 ta mustaqil yechimlar tizimning ekscentriklik qiymatlari bir-biriga yaqin va yulduzlarning nisbiy radiuslari yig'indisi ham mos keladi.

2-jadval. V1059 Cep yulduzining turli yillardagi ravshanlik egri chiziqlariga asoslanib olingan parametrlari va orbital elementlari.

Параметр	"a"	"b"	"c"	"d"
r_1	0.240 ± 0.003	0.226 ± 0.003	0.222 ± 0.005	0.252 ± 0.005
r_2	0.240 ± 0.003	0.254 ± 0.003	0.263 ± 0.005	0.233 ± 0.005
$i, ^\circ$	86.3 ± 0.4	86.9 ± 0.3	85.7 ± 0.6	84.9 ± 0.6
e	0.0613 ± 0.0003	0.0605 ± 0.0002	0.613 ± 0.0004	0.0595 ± 0.0004
$\omega, ^\circ$	192.2 ± 0.5	187.6 ± 0.5	188.9 ± 0.8	196.6 ± 0.8
L_1	0.354 ± 0.005	0.313 ± 0.005	0.359 ± 0.007	0.464 ± 0.007
L_2	0.346 ± 0.005	0.382 ± 0.005	0.487 ± 0.007	0.386 ± 0.007
L_3	0.300 ± 0.010	0.305 ± 0.010	0.154 ± 0.010	0.150 ± 0.010
J_1/J_2	1.02 ± 0.02	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.02
σ	0.0076	0.0076	0.0138	0.0137

Izoh. u_1, u_2 – limb darkening koeffitsientlari barcha variantlarda 0,30 ga teng o'zgarmas deb olingan. "a" va "b" variantlari 2021 yilgi ravshanlik egri chiziqlariga to'g'ri keladi; kuzatuvlar Maydanak observatoriyasida olib borilgan; "c" va "d" variantlari – 2018–2019 yillardagi yorug'lik egri chiziqlari uchun; kuzatuvlar ZTF surishtiruv tomonidan olib borilgan. J_1/J_2 – birlamchi (J_1) va ikkilamchi (J_2) komponentlarning sirt yorqinlik nisbatidir.

V1059 Cep apsid chizig'ining aylanish tezligi yuqoriligini asoslashda va tizim parametrlarini hisoblashda 2012–2013 va 2021 yillardagi kuzatuvlarga qo'shimcha ravishda ZTF natijalaridan ham foydalanildi. Olingan barcha qiymatlarga asoslangan apsid chizig'ining aylanish tezligining o'rtachasi:

$$d\omega/dt = 7.1^\circ \pm 0.4^\circ/\text{yil}$$

bundan esa $U=50,7 \pm 2,8$ yil apsidal davrini berdi.

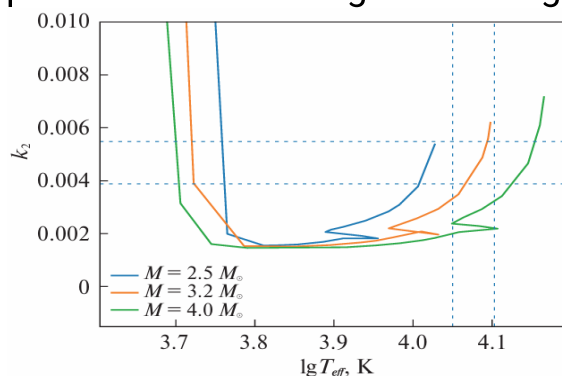
V1059 Cep yulduzining birlamchi va ikkilamchi komponentlari o'rtasidagi harorat farqi ularning yuza yorqinliklariga nisbatidan $J_1/J_2 = (L_1 r_2^2)/(L_2 r_1^2)$ ifoda orqali baholandi. 2018–2019 va 2021 yillardagi ravshanlik egri chiziqlari bo'yicha yechimlar J_1/J_2 nisbatining 1-yechimdan 3% dan oshmasligini ko'rsatdi. Tadqiq qilinayotgan ikki komponentli tizim tarkibidagi yulduzlar o'xshash fizik xususiyatlarga ega ekanligi aniqlandi. Plank tenglamasiga ko'ra

$\frac{J_1}{J_2} = \exp \left(\frac{c}{\lambda(1/T_{2\text{eff}} - 1/T_{1\text{eff}})} \right)$ komponentalar o'rtasidagi harorat farqi 200 K dan oshmasligi va massalari bir-biridan 5% dan ortiq farq qilmasligi ko'rsatildi.

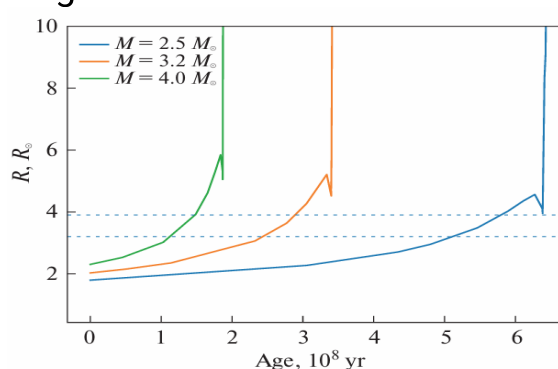
Quyosh kimyoviy tarkibiga ega yulduzlarning evolyutsion yo'llari ($X = 0,7$, $Z = 0,02$) (6-rasm) $k_2(T_{\text{eff}})$ ga bog'liqligini namoyish etdi. 6-rasm ko'rsatilganidek, k_2 qiymatlari va taxmin qilingan samarali harorat $T_{\text{eff}} = 11100-12680$ K diapazoni massalari $3M_\odot$ dan $3,7 M_\odot$ gacha bo'lgan B8V–B7V spektral sinf yulduzlarga mos keldi. Keplerning uchinchi qonuniga ko'ra tizim orbitasining katta o'qi $a=(14.8 \pm 0.5)R_\odot$ va absolyut radiuslari $R_1^{\text{obs}}=(3.4 \pm 0.2)R_\odot$, $R_2^{\text{obs}}=(3.6 \pm 0.2)R_\odot$ teng ekanligi hisoblandi. Yulduzning yorqinligi, radiusi va haroratini bog'lash madsadida biz Stefan–Boltzmann formulasidan foydalandik:

$$\log\left(\frac{R}{R_{\odot}}\right) = \frac{1}{2}\log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) - 2\log\left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_{\odot}}\right) \quad (4)$$

Yulduzning yoshiga qarab radiusning o'zgarishi 7-rasmda ko'rsatilgan. 8-rasmda k_2 parametrining yoshga bog'liqligi keltirilgan. Faqat massasi $M=(3.4\pm0.3)M_{\odot}$ massaga ega bo'lgan yulduzlar, spektral sinfi B7V–B7.5V bo'lgan yulduzlarning umri $t = (1.8 \pm 0.3)\times10^8$ yil (3-jadval) bo'lib, ularning parametrlari ko'rsatilgan barcha grafiklarga mos keladi.



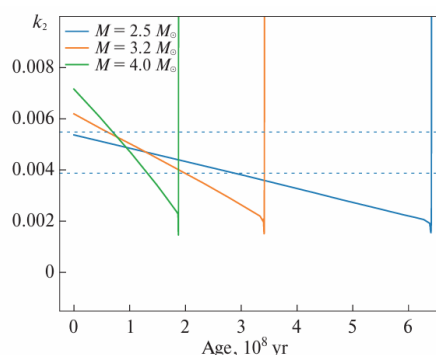
6-rasm. Koeffitsient k_2 ning yulduz harorati bo'yicha qaramligi. Nazariy evolyutsion yo'llar massa qiymatlari $2.5M_{\odot}$, $3.2M_{\odot}$, $4M_{\odot}$ bo'lgan yulduzlar uchun ko'rsatilgan. Nuqtali chiziqlar kuzatuvlarimizdan olingan k_2 parametrining chegaralarini hamda kataloglardagi yulduzlarning T_{eff} samarali haroratlarini ko'rsatadi.



7-rasm. Yulduzning radiusining uning yoshiga bog'liqligi. $2.5M_{\odot}$, $3.2M_{\odot}$, $4M_{\odot}$ massali yulduzlar uchun nazariy evolyutsion yo'llar (4) formula yordamida hisoblangan. Radiuslarni hisoblashda ishlatilgan parametrlar boshqa manbasidan olingan. Nuqtali chiziqlar yulduzlarning nisbiy radiuslari va Keplerning uchinchi qonuni bo'yicha hisoblangan yarim katta o'q chegaralarini ko'rsatadi.

3-Jadval. V1059 Cep tizimdagi yulduzlarning fizik xususiyatlari, apsidal chiziqning nazariy va kuzatilgan aylanish tezligining tengligi taxminiga binoan hisoblangan qiymatlari.

parametr	Asosiy komponent	Ikkinchi komponent
spektr	B6.5V–B7V	B6.5V–B7V
T_{eff} K	11900–12600	11900–12600
$M M_{\odot}$	3.3 ± 0.2	3.3 ± 0.2
$R R_{\odot}$	3.4 ± 0.2	3.6 ± 0.2
k_2	0.0047 ± 0.008	0.0047 ± 0.008
yoshi, 10^8 yil	1.8 ± 0.3	1.8 ± 0.3
$\log g$, cm/c^2	3.75 ± 0.25	3.75 ± 0.25



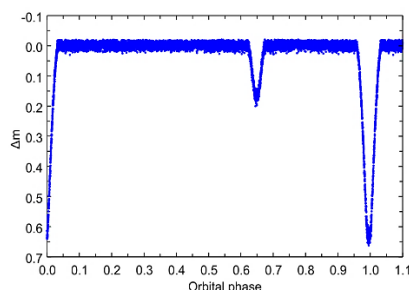
8-rasm. k_2 koeffitsientining yulduzning yoshiga bog'liqligi. Nazariy evolyutsion yo'llar massalari $2.5M_{\odot}$, $3.2M_{\odot}$ va $4M_{\odot}$ bo'lgan yulduzlar uchun ko'rsatilgan. Nuqtali chiziqlar kuzatuvlarimiz asosida aniqlangan k_2 parametrining chegaralarini bildiradi.

Ichki tuzilish parametri ($k_2 = 0,0047 \pm 0,0008$) yulduzlarning o'qi va orbital aylanishlari sinxronlashtirilgan deb taxmin qilingan holda hisoblandi. Har bir komponent tezliklari uchun sinxronlashtirish vaqti formulasidan foydalanib hisoblanishi mumkin:

$$t_{\text{sync}} = \frac{1}{52^{5/3}} \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{1/2} \times \left(\frac{I}{MR^2} \right) \frac{1}{q^2} \frac{1}{(1+q)^{5/6}} \frac{1}{E_2} \left(\frac{a}{R} \right)^{17/2}, \quad (5)$$

bu yerda R va M yulduzning radius va massasi absolyut qiymatlarda, $q = M_{\text{another}}/M$, M_{another} - qo'shaloq tizimdagi ikkinchi yulduzning massasi, G — gravitatsiya doimiysi, I -yulduzning inertsia momenti, E_2 yulduzdagi to'lqin mexanizmi koeffitsienti bo'lib, aylanish sinxronizatsiyasiga olib keladi. $(R_{\text{core}}/R)^8$ ga teng. R_{core} bu yerda yulduzning nol yoshga to'g'ri keladigan konvektiv yadrosining radiusi; E_2 koeffitsientlari turli yulduz massalari uchun hisoblangan $E_2 = 4.72 \times 10^{-8}$ va hisob-kitoblarda $3M_{\odot}$ massali yulduz uchun qiymat ishlatilgan. (5) tenglamadan foydalangan holda o'tkazilgan hisob-kitoblar yulduz tezliklarini tizimda sinxronlashtirish uchun $\leq 10^6$ yil vaqt ketishini ko'rsatdi, bu esa tizimning taxminiy umridan (3-jadval) ikki tartib darajasi qisqaroqligi ko'rsatildi.

Shu bob 3-paragrafida V1437 Cas to'siluvchan qo'shaloq tizimining apsid chizig'ining aylanish tezligi va orbital parametrlari ZTF hamda TESS ning 4 ta sektoridagi kuzatuv fotometrik natijalarinig bo'yicha hisoblab chiqildi. V1437 Cas (TIC 314039042, NSV 14400) tadqiqot obyekti orital davri $P=3.34363$ kun va shu davrga mos faza ravshanlik egri chizig'i chizildi (9-rasm).



9-rasm. 2019-yildagi TESS sun'iy yo'ldosh ma'lumotlariga asoslangan V1437 Cas tizimi uchun tozalangan ravshanlik egri chizig'ining misoli.

Bizning yechimimizda asosiy komponent uchun olingan limb darkening

koefitsientining qiymati (4-jadval) samarali temperatura $T_{\text{eff}} = 8500 \text{ K}$ bo'lgan yulduz uchun nazariy qiymatga yaqin va Pickles katalogida berilgan harorat bilan mos keladi. Agar bu harorat asosiy yulduzning harorati deb olinsa, ikkinchi komponentning harorati Stefan–Boltzmann qonuni va ikkala yulduzning sirt yorqinliklar nisbati (4-jadval) yordamida aniqlanishi mumkin.

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{L_1 r_2^2}{L_2 r_1^2} \quad (6)$$

bu yerda J_1 va J_2 birlamchi va ikkilamchi yulduzlarning sirt yorqinliklari, L_1 va L_2 ularning yoritilganliklari, r_1 va r_2 esa ularning radiuslari.

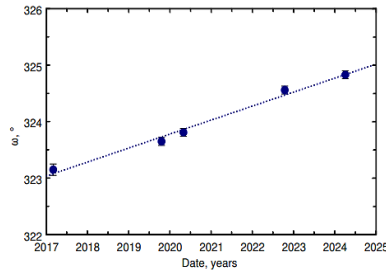
4-jadval. 2019, 2020, 2022 va 2024 yillar uchun TESS yorug'lik egri chiziqlaridan olingan tizim komponenti parametrlari va orbital elementlari.

Parameter	2019	2020	2022	2024
r_1	0.1251 ± 0.0025	0.1247 ± 0.0025	0.1226 ± 0.0025	0.1231 ± 0.0030
r_2	0.0855 ± 0.0030	0.0858 ± 0.003	0.0849 ± 0.004	0.0868 ± 0.0040
$i, ^\circ$	88.4 ± 0.4	88.5 ± 0.3	88.8 ± 0.3	89.6 ± 0.3
e	0.2932 ± 0.0015	0.2943 ± 0.0015	0.2970 ± 0.0040	0.2898 ± 0.0040
$\omega, ^\circ$	323.65 ± 0.04	323.47 ± 0.04	323.33 ± 0.03	326.10 ± 0.03
L_1	0.857 ± 0.005	0.855 ± 0.005	0.857 ± 0.007	0.835 ± 0.007
L_2	0.139 ± 0.005	0.144 ± 0.005	0.143 ± 0.007	0.143 ± 0.007
L_3	0.004 ± 0.003	0.001 ± 0.002	0.000 ± 0.020	0.02 ± 0.010
u_1	0.36 ± 0.02	0.38 ± 0.02	$0.37(\text{fixed})$	$0.37(\text{fixed})$
u_2	$0.47(\text{fixed})$	$0.47(\text{fixed})$	$0.47(\text{fixed})$	$0.47(\text{fixed})$
J_1/J_2	2.88 ± 0.02	2.84 ± 0.02	2.87 ± 0.02	2.90 ± 0.02
σ	0.005	0.005	0.011	0.014

Parametrlarni hisoblashda yulduzlarning radiuslari va yorqinliklari, shuningdek orbital og'maligi TESS natijalari uchun o'zgarmas deb qabul qilindi. Ushbu taxmin turli davrlar uchun peritsentr uzunligini aniqlashga va shu hisob-kitoblar asosida apsid harakati tezligini aniqlashga imkon berdi. 5-jadvalda E_0 tegishli kuzatuv to'plamlaridagi ω qiymatlariga mos keladigan o'rtacha epoxani bildiradi.

5-jadval. 2019, 2020, 2022 va 2024 yillar uchun TESS ravshanlik egri chiziqlaridan hamda 2019 yil ma'lumotlari bo'yicha yechimga mos keluvchi doimiy parametrlar yordamida hisoblangan ZTF ravshanlik egri chizig'idan aniqlangan periastr uzunlamasi.

Parameter	2019	2020	2022	2024	ZTF
$\omega, ^\circ$	323.65 ± 0.0	$323. \pm 0.04$	324.56 ± 0.0	324.83 ± 0.0	323.15 ± 0.1
$E_0 \text{ JD}$	2458776.01	2458970.6	2459867.60	2460404.71	2457816.0
	4	6	7	4	2



10-rasm. Periastr uzunlamasini vaqt bo'yicha o'zgarishi. Birinchi ma'lumot nuqtasi (2017) ZTF ravshanlik egri chiziqlaridan olingan natijalarga to'g'ri keladi, qolgan nuqtalar esa TESS ravshanlik egri chiziqlariga asoslangan.

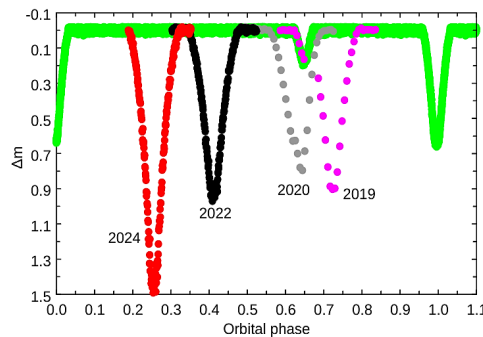
10-rasmda 2019, 2020, 2022 va 2024 yillarda olingan TESS ravshanlik egri chiziqlariga (5-jadval) mos keluvchi yechimlar hamda ZTF kuzatuvlari uchun periastr uzunlamasini vaqt bo'yicha qanday o'zgarishi ko'rsatilgan. Bu esa chiziqli bog'liqlikni ko'rsatdi. Kichik kvadratlar usulini qo'llash taxminan 10% aniqlikka ega yechim berdi.

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.252^\circ \pm 0.025^\circ \text{ yil}^{-1}$$

$$U_{\text{aps}} = (1430 \pm 140) \text{ yil.}$$

bu yerda $d\omega/dt$ apsid harakatining tezligi, U_{aps} esa apsid harakatining davriylik.

V1437 Cas ning TESS yordamida olingan ravshanlik egri chiziqlarida (2019, 2020, 2022 va 2024) orbital fazalarning turli vaqtlarida yuzaga keladigan bitta nihoyatda chuqur minimum mavjudligi aniqlandi. Ushbu juda chuqur minimumlar birlamchi minimumdan 0,25 magnitudadan ortiq chuqurroq bo'lib, ularning kengligi taxminan 1,5 barobar katta (6-jadval va 11-rasmga qarang). Ushbu tizimning orbital fazalari 11-rasmda ko'rsatilgan. 2019, 2022 va 2024 yillarda kuzatilgan nihoyatda chuqur minimumlarning shakli deyarli simmetrik. Aksincha, 2020 yildagi minimum asimmetrik shaklga ega bo'lib, uning ravshanlik egri chizig'idagi pozitsiyasi tizimning ikkinchi minimumi bilan to'g'ri kelgan. 2019, 2022 va 2024 yillardagi minimumlarning davri $27,255 \pm 0,001$ kun deb baholangan. Bunday davr bilan 2020 yildagi chuqur minimum kuzatilganidan 8 soat keyin sodir bo'lishi kerak edi. Ushbu hodisa uchun mumkin bo'lgan izoh shuki, ikkala yulduz ham vaqti-vaqti bilan qo'shimcha qorong'i jism (masalan, sayyoraning diski yoki jigarrang kichik yulduz va hokazo) tomonidan tutiladi.

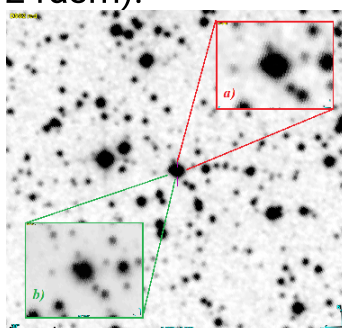


11-rasm. V1437 Cas ravshanlik egri chizig'i, nihoyatda chuqur minimumlarni ko'rsatadi.

6-Jadval. V1437 Cas yulduzi uchun TESS kuzatuvlari asosida aniqlangan minimal yorqinlik vaqtlar.

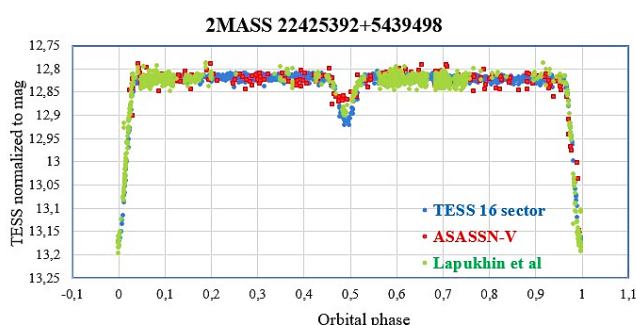
Time of minimum BJD	Year	Depth mag	Duration days
2458767.081±0.015	2019	0.90±0.01	0.439±0.012
2458957.405±0.020	2020	0.80±0.01	0.451±0.015
2459856.080±0.015	2022	0.92±0.01	0.447±0.012
2460400.583±0.015	2024	1.45±0.01	0.450±0.012

So'ngi paragrafda (§4.4) 2MASS 22425392+5439498 ekscentrik orbitaga ega qo'shaloq tizimni ilk bor TESS, ASASSN va ORI-40 teleskopi orqali kuzatuv fotometrik natijalar orqali orbital va fizik parametrlari JKTEBOP dasturi yordamida aniqlandi. 2MASS 22425392+5439498 obyekti ikkita yaqin qo'shni yulduzga ega: a) (RA=22:42:54.2121310, Dec=+54:39:56.202791) va b) (RA=22:42:54.4090487, Dec=+54:39:50.678584), uchinchi tartibli nur mavjudligi tufayli obyektning o'lchangan ravshanligiga ta'siri aperturali fotometriyada hisobga olindi (12-rasm).



12-rasm. 2MASS 22425392+5439498 xaritasi. Maydonning markaziy qismi DSS2 Qizil (F+R) tasvirida ko'rsatilgan. Qo'shni yulduzlarning kattalashtirilgan tasvirlari panellarda ko'rsatilgan: (a) DSS2 Qizil (F+R) va (b) ZTF DR7 r-bandida.

Mavjud barcha fotometrik natijalar asosida ravshanlik egri chizig'i chizildi. Ikkinchi minimum orasidagi farqlar va chuqurliklar qiymati baholandi (13-rasm). Qolaversa, ravshanlik egri chiziqlariga mos holda hisoblangan model yaratildi.



13-rasm. Lapukhin, ASASSN-V va TESS kuzatuv ma'lumotlarini birlashtirish orqali olingan yulduzning faza ravshanlik egri chiziqlari ustma-ust ko'rsatilgan.

Har bir fotometrik natijalar asosida alohida hisoblab topilgan model parametrlari va orasidagi farq 7-jadvalda ko'rsatilgan.

7-Jadval. Lapukhin, TESS va ASAS-SN ma'lumotlariga asoslangan holda

2MASS 22425392+5439498 ravshan egri chiziqlariga eng yaxshi JKTEBOP moslashuvining model parametrlari.

<i>Parameter / Value</i>	2MASS 22425392+5439498 By Lapukhin et al.	TIC 388963111 By TESS Sector 16	ASASSN-V J224253.95+543949.7 By ASASSN-V
Time of primary eclipse (HJD)	2456928.082095±0.000117	2458740.922180±0.000959	2457938.957655±0.000516
Orbital period (day)	2.246365±0.000001	2.246319±0.000158	2.2463868377±0.0000018552
Orbital inclination (degree)	81.8678678360±1.3903706167	84.7971689477±2.1379595691	81.7948492778±0.1865250548
Sum of the fractional radii	0.2269909605±0.0086123718	0.2644425046±0.0302275894	0.3841814458±0.0033422970
Ratio of the radii	0.500009986±0.000021	0.5000007264±0.000013	0.5000002547±0.000019
$e \cos \omega$	- 0.0132910535±0.0007149391	- 0.0122597505±0.0015296649	- 0.0082670290±0.0006480103
$e \sin \omega$	- 0.0750100238±0.0274007569	- 0.1385824446±0.1118050306	- 0.6342334800±0.0292170440
Central surface brightness ratio	0.0766423852±0.0726279984	0.0735945847±0.1116791480	0.3341193984±24.3369589484
Third light (L)	- 0.3158619205±0.3004644773	- 1.4845296768±1.5566255384	- 1.5457838085±3.6115440124
LD (A) coefficient c	0.9351162149±0.125385242	1.1567494561±0.6636868824	0.3596682797±0.2356265952
LD (B) coefficient α	11.1385671399±6.3323707256	12.2222803021±0.724785434	18.2019734973±7.3425419621
Derived parameters:			
Fractional radius of star A	0.15132 ± 0.0000731	0.17629 ± 0.00005003	0.256120 ± 0.00000964
Fractional radius of star B	0.07566 ± 0.0000366	0.088147 ± 0.0000501	0.128060 ± 0.00000482
Eccentricity	0.1361784469 ± 0.00013	0.1391236696 ± 0.00025	0.1342873568 ± 0.00062
Argument of periastron (°)	263.1520304467 ± 0.021	264.1444673174 ± 0.047	263.7467897313 ± 0.011
Light ratio ℓ_B/ℓ_A	0.0531591084 ± 0.0038	0.0564587687 ± 0.0043	0.0525466149 ± 0.0016

Ushbu tadqiqotda aniqlangan orbital davr $P = 2,2455913$ kun, xatolik chegarasi doirasida, barcha ishlatilgan ma'lumot to'plamlaridan olingan qiymatlarga mos keladi. TESS ma'lumotlaridan olingan orbitasi og'maligi ($84,80 \pm 2,14^\circ$) bilan Lapuxin va ASAS-SN ma'lumotlaridan olingan qiymatlar o'rtasidagi farq, ehtimol, fotometrik kuzatuvlar zichligi va kuzatuv davrlaridagi farqlarga bog'liq. Bizning tahlilimiz shuni ham ko'rsatadiki, tutilish chuqurliklari antifazada o'zgarmaydi va tizimning apsid harakatining taxmin qilingan davri nihoyatda uzoq. Shuning uchun apsid harakati tutilish chuqurliklariga sezilarli ta'sir ko'rsatmagan.

DISSERTATSIYA ISHIDA OLINGAN ASOSIY NATIJALAR VA XULOSALAR

Falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun yozilgan "Yangi o'zgaruvchan yulduzlarni izlash va tanlangan to'siluvchan qo'shaloq tizimlarda apsidal harakat tadqiqoti" dissertatasiya ishi tadqiqotlaridan quyidagi asosiy natijalar olingan:

1. Maqsadli kuzatilgan $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^\circ00'$, $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^\circ37'$ va $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^\circ00'$ maydonlarda 164 ta, yangi o'zgaruvchan yulduzlar kashf qilindi.

Bulardan ichki o'zgaruvchilar yulduzlar 52 ta, tashqi o'zgaruvchilar yulduzlar

112 ta obyektlarning kuzatuvlar orqali ravshanlik egri chiziqlari qayd qilinib bazi fizik parametrlari aniqlandi.

2. EA tipdagi V1059 Cep qo'shaloq yulduzi birinchi marta eksentrik orbitaga ega ekanligi va tizimda apsidal harakat mavjudligi aniqlandi. Tizimdagi apsidal harakatning tezligi $d\omega/dt=7.1^\circ \pm 0.4^\circ/\text{yil}$ ga teng deb baholanidi va buning natijasida apsidal harakat davri $U_{\text{aps}}=50.7 \pm 2.8$ yil ekanligi aniqlandi. Bundan tashqari qo'shaloq tizimga tegishli bir qancha orbital va fizik parametrlar aniqlandi

3. V1437 Cas ushbu obyekt (EA) Algol tipidagi eksentrik orbitaga ega qo'shaloq tizim sifatida kataloglarda qayd etilgan bo'lib ilk marotaba orbitasini eksentrikligini $e \approx 0.29$, apsidal harakat tezligi $d\omega/dt=0.252^\circ \pm 0.025^\circ/\text{yil}$, apsidal harakat davri esa $U_{\text{aps}}=(1430 \pm 140)$ yilga teng ekanligi hisoblandi. V1437 Cas obyektning muhim ilmiy yangiligi shundan iboratki qo'shaloq tizimning to'silish minimumlariga qo'shimcha uchinchi tabiati nomalum bo'lgan yulduzning ham to'silish minimumi qayd etilib ikkilik qo'shaloq emas triple yani uchlik to'siluvchan tizim ekanligi kashf etildi. Kashf etilgan uchinchi yulduz qo'shaloq tizimning atrofida $27,255 \pm 0,00127$ sutka davr bilan aylanishi isbotlandi. Bundan tashqari V1437 Cas obyektning qo'shimcha bir qancha orbital va fizik parametrlar aniqlandi.

4. 2MASS 22425392+5439498 obyekt dastlab kashf qilinganda fazadagi ikkinchi minimumning siljishi etborsiz qoldirilgan. O'tkazilgan qo'shimcha tadqiqot natijalarini taqqoslanganda orbitasini eksentrisiteti $e \approx 0.136$ ekanligi ilk marotaba hisoblab topildi.

5. Besh yildan keyingi fotometrik tadqiqot natijalar o'rtasidagi o'zgarish quyidagicha orbitasini o'rtacha og'maligi $i_0=2.93^\circ$ ga, apsid chizig'i yani pereastr argumentini o'zgarishi $\omega \approx 0.99^\circ$ ga teng ekanligi baholandi. Tadqiqodning yana bir yangiligi 2MASS 22425392+5439498 qo'shaloq tizim atrofida uchinchi jisim mavjudligi aniqlanib qo'shaloq tizimga tasiri $L_3 \approx 17\%$ ga teng ekanligi isbotlandi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН РУЗ

ХАМРАКУЛОВ ФАРХОДЖОН БАХРОНКУЛ УГЛИ

ПОИСК НОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД И ИССЛЕДОВАНИЕ
АПСИДАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ИЗБРАННЫХ ЗАТМЕННО-ДВОЙНЫХ
СИСТЕМАХ

01.03.01 – Астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.2.PhD/FM1320.

Диссертация выполнена в Астрономическом институте АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (русском, узбекском и короткая аннотация на английском) размещён на веб-странице Научного совета (www.astrin.uz) и Информационного-образовательного портала "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Бурхонов Отабек Анваржонович,**
Кандидат физико-математических наук, АИ АН
РУз

Официальные оппоненты: **Тошматов Бобир Абдуманонович,**
Доктор физико-математических наук АИ АН
РУз

Кусакин Анатолий Васильевич,
Кандидат физико-математических наук,
Астрофизический Институт им. В. Г. Фесенкова
(Казахстана)

Ведущая организации: **Национальный университет Узбекистана
имени Мирзо Улугбека**

Защита диссертации состоится "____" _____ 2026 года в ____ часов на заседании Научного совета PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 при Астрономическом институте (Адрес: Астрономическая, 33, 100052, г. Ташкент. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Астрономического института (регистрационный номер _____) по адресу: 100052, г. Ташкент. Астрономическая, 33, Астрономический институт, тел.: (+99871) 235-81-02).

Автореферат диссертации разослан "____" _____ 2026 г.
(Реестр протокола рассылки № _____ от "____" _____ 2026 г.)

Ш.А. Эгамбердиев
Председатель Научного совета
по присуждению ученых
степеней, д.ф.-м.н., академик

К.Э. Эргашев
Ученый секретарь Научного
совета по присуждению ученых
степеней, к.ф.-м.н.

А.Б. Абдукамалов
Председатель научного
семинара при Научном совете

по присуждению ученых
степеней, д.ф-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире проводится множество научных исследований, направленных на поиск и изучение переменных звезд. Необходимо отметить, что переменные звезды — это широкая область исследований, включающая множество групп, классов и типов. Вторая по величине группа среди них является внешние переменные звезды, точнее переменность звезды меняется из-за сил/событий вне самой звезды, например из-за взаимных затмений. Внешние переменные звезды в основном состоят их двойных систем, которых можно изучать с помощью оптических наблюдений. Результаты наблюдений можно использовать для решения многих задач, связанных со звездной физикой. Двойные звезды являются лучшим инструментом для оценки/определения массы звезд в системе. Кроме того, точное время минимумов затмений, зафиксированное в наблюдениях, позволяет определить орбитальный период, оценить скорость изменения орбитального периода и определить наличие неизвестных объектов (планет) в системе или дополнительных звездных партнеров двойной системы изучение подобных явлений имеет важное научное и практическое значение.

В ведущих мировых исследовательских центрах исследования по поиску переменных звезд и их классификации проводятся астрономами со всего мира, в том числе ведутся и узбекскими астрономами. В настоящее время доступны Международный каталог переменных звезд AAVSO⁹ (Американской ассоциации наблюдателей переменных звезд (VSX)) и «Общий каталог переменных звезд» (ОКПЗ¹⁰). По данным на начало 2026 года, эти источники содержат список из более чем 10,2 миллионов переменных звезд и постоянно пополняются. Изучение переменных звезд влечет за собой расширение фундаментальных знаний в области звездной физики, освоение практических навыков и реализации реальных проектов на практике. В этом отношении изменения яркости компонентов, наблюдаемые при затмениях в результате изучения движения линии апсид в двойных системах с эксцентрическими или эллиптическими орбитами в недавно выявленном списке переменных звезд, важны для изучения вторичных эффектов в системе, т.е. наличия третьего тела, гравитационного затемнения, звездных пятен и является одной из актуальных научных проблем.

В нашей республике в настоящее время, в частности, в Астрономическом институте Академии наук проводится ряд работ, направленных на идентификацию переменных звезд и изучение их типов, главным образом посредством оптических наблюдений,

⁹ <https://www.aavso.org/>

¹⁰ <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>

проводимых на Майданакской астрономической обсерватории, и достигаются определенные положительные результаты. В соответствии с Указом Президента Республики Узбекистан № ПФ-6097 от 29.10.2020 года, реализация «Концепции развития науки до 2030 года» рассматривается как государственная программа, и поставлены важные задачи по ускорению научных исследований в области астрономии в перспективных и новых направлениях науки. При выполнении этих задач установлены тесное сотрудничество с зарубежными научно-исследовательскими институтами и астрономическими обсерваториями.

Научное направление данное диссертационной работы в определенной степени послужит выполнению задач, поставленных в Указе Президента Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана в 2022-2026 годах», а также в Указе Президента Республики Узбекистан № ПП-5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования и развитию научных исследований в области физики», а также в других нормативно-правовых актах, принятых в этой области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная научно-исследовательская работа соответствует положениям Указа №УП-6097 от 29.10.2020 года Президента Республики Узбекистан: «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года», пункты, приведенные в главе 3 "Приоритетные направления развития науки": - «в-третьих, Подготовка высококвалифицированных научных и инженерных кадров и их ориентация на научную деятельность» и «пятое, Формирование современной информационной среды, способствующей развитию науки».

Степень изученности проблемы. Сегодня в мире, исследования в этой области проводятся крупными космическими миссиями NASA, такими как GAIA¹¹ (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), TESS¹² (Transiting Exoplanet Survey Satellite). Помимо многочисленных международных космических миссий, большое значение также придается организации крупномасштабных оптических наблюдений на основе наземных наблюдений для поиска и изучения переменных звезд. В этом отношении одним из крупнейших проектов является ASAS-SN¹³ (All-Sky Automated Survey for Supernovae). В настоящее время многие зарубежные ученые проводят активные научные исследования в области поиска новых переменных звезд и изучения движения линии апсид в двойных системах, а также различные теоретические и прикладные исследования в области переменных звезд. К примеру, ОКПЗ был создан Институтом астрономии Российской академии наук и

¹¹ https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia_overview

¹² <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/>

¹³ <https://www.astronomy.ohio-state.edu/asassn/>

Институтом астрономии им. П.К. Штернберга и в настоящее время разрабатывается профессором N. N. Samus и его научной группой (N.A. Gorynya, A.M. Zubareva, E.V. Kazarovets, E.A. Karitskaya, A.V. Xruslov, N.N. Kireeva). William Patrick Clarke и его научная группа из Австралийского национального университета активно занимаются открытием и классификацией переменных звезд, а Jonas Debosscher и его группа активно занимаются автоматизированной классификацией переменных звезд. A.M. Cherepashchuk, A.S. Rastorguev, E.G. Lapukhin, A. Samokhvalov, A.V. Serebryanskiy, Moises Castillo, SaiKiran Varma Sirigiri занимаются изучением новых переменных звезд. Эффекты апсидального движения систем с эксцентрическими орбитами переменных звезд типа EA-Алголь изучаются Kh.F. Khaliullin, I. M. Volkov, V. S. Kozyreva, A. I. Bogomazov, I. Bulut, P. Zasche, J. Southworth, M. Wolf, D. Sürgit, O. Özdarcan, A.V. Kusakin, Prsa Andrej, Sophie Rosu и ряд других известных ученых.

В нашей республике, в настоящее время Узбекские ученые, в Институте астрономии Академии наук такие известные учёные, как О.А.Бурхонов, Р.Г.Каримов, А.В.Халикова проводят научные исследования по поиску и изучению переменных звезд, и достигнуты определенные положительные результаты. Следует отметить, что данная работа является одной из первых специализированных работ в нашей стране в области поиска новых переменных звезд и изучения движения линии апсид в отобранных системах.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Данная диссертационная работа выполнена в Астрономическом институте АН РУз и на кафедре ядерной физики и астрономии Института инженерной физики Самаркандского государственного университета им. Шарофа Рашидова. Научно-исследовательские работы выполнение в рамках данной диссертации соответствуют плану лаборатории «Галактическая астрономия» Астрономического института Академии наук Республики Узбекистан и частично в рамках проекта IL-5421101855 «Поиск, наблюдение и изучение источников космических гамма-всплесков».

Целью исследования. Целью является обнаружение новых неидентифицированных переменных звезд в наблюдаемых областях, а также анализ апсидального движения в выбранных затменных двойных звездах типа EA.

Задачи исследования:

- Проведение фотометрических мониторинговых наблюдений избранных полей небосвода;
- Поиск новых переменных звезд в наблюдаемых полях;
- Классификация обнаруженных переменных звёзд по классам и типам переменности на основе анализа их кривых блеска;

- Выявление и анализ особенностей переменности как у новых, так и у ранее известных звёзд, зарегистрированных в каталогах;
- Определение параметров движения линии апсид в двойных системах с эксцентрическими орбитами;
- Проверка наличия третьего тела в затменно-двойных системах типа EA с эксцентрическими орбитами;
- Исследование движения линии апсид в избранных двойных системах типа EA.

Объектом исследования в рамках данной диссертационной работы являются новые переменные звезды и избранные затменно-двойные системы с эллиптическими орбитами типа EA.

Предметом исследования являются кривые блеска наблюдаемых звезд в избранных звездных полях и звезд типа EA-Algol, и их периодические составляющие компоненты, происходящие при их изменении во времени.

Методы исследования. Общепризнанные методы наблюдений, стандартные методы обработки ПЗС изображений, астрометрические и фотометрические методы измерений, признанные методы математического анализа и статистические методы определения геометрических и физических составляющих в фотометрических временных рядах.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

В избранных полях с центром координат $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$, $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ и $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$ впервые были обнаружены 164 новых переменных звёзд различных типов, для которых были рассчитаны периоды и начальные параметры.

Впервые для звезды типа EA V1059 Ser, V1437 Cas и 2MASS 22425392+5439498 типа EA, как имеющие эксцентричные орбиты и апсидальное движение, а также определены орбитальные и физические параметры этих систем и их компонентов.

Вокруг системы V1437 Cas обнаружено третье небесное тело, и на основе наблюдений его орбитальный период был рассчитан как $27,255 \pm 0,00127$ суток.

Предварительные фотометрические результаты для объекта 2MASS 22425392+5439498, Результаты фотометрических измерений TESS и ASASSN-V были проанализированы отдельно, и с помощью программы JKTEBOP к кривым блеска была подобрана модель, которая выявила изменения орбитальных параметров системы.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Создан каталог из 164 новых переменных звезд, для которых проведена классификация;

Рассчитаны параметры избранных двойных звезд на основе

наблюдений и по созданным моделям;

Обнаружено наличие апсидального движение в двойных системах EA V1059 Ser и V1437 Cas;

По результатам анализа, установлено, что в системе 2MASS 22425392+5439498 имеется третий объект.

Достоверность результатов исследования обусловлено выбором основанных на использовании современных проверенных методов и программ для обработки наблюдательных данных и результатов, анализа изменчивости и ее классификации по конкретным типам, а также сравнением наших фотометрических результатов с фотометрическими результатами других наблюдений избранных двойных систем с эксцентрическими орбитами типа Алголя. Методы исследования выбранных объектов с эксцентрическими орбитами типа Алголя проводились с использованием современных программ, применяемых ведущими и известными исследователями.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Практическая значимость заключается:

Для новых переменных звёзд, не зарегистрированных в каталогах переменных звёзд ранее, определены их классы и типы переменности, а информация внесена в Общий каталог переменных звёзд (ОКПЗ);

Обнаруженные новые переменные звезды помимо дополнения статистических данных по переменным звёздам, могут быть использованы при уточнении пространственного распределения переменных звёзд на небосводе.

Полученные результаты дополняют существующие данные об апсидальном движении в двойных системах типа Алголь и могут быть использованы при изучении их эволюции, поиске дополнительных компонентов и исследовании физических процессов в тесных двойных системах;

Кроме того, научная и практическая значимость диссертации обусловлена полученными результатами наблюдений, представляющими интерес для дальнейшего изучения исследованных и аналогичных объектов.

Методы и результаты данной работы также могут быть включены в специальные курсы для бакалавров и магистров астрономических отделений университетов Республики.

Внедрение результатов исследования.

На основе научных результатов, полученных в ходе “Поиск новых переменных звезд и исследование апсидального движения в избранных затменно-двойных системах” с препятствиями:

в результате анализа результатов наблюдений в “Общий каталог переменных звезд” были включены 49 вновь идентифицированных звезд (Справка Института астрономии им. П.К. Штернберга Российской академии наук от 30 января 2026 г.). В результате увеличилось количество объектов в базе данных общего каталога переменных

звезд, возросла научная ценность каталога и создана научная база для развития фундаментальных и прикладных исследований;

по результатам исследований новых переменных звёзд, обнаруженных на выбранных наблюдательных полях, на статьи "Variable Stars Discovered at the Maidanak Observatory, Discovery of Six New Variables и New Variable Stars in Lacerta. Part III", опубликованные в журнале Переменные звёзды в 2022–2023 годах, было получено по одной цитате, всего 3 цитирования;

по результатам исследований новых переменных звёзд, обнаруженных на целевых наблюдательных полях, на статьи "New Variable Stars in Lacerta Part I, II", опубликованные в журнале Переменные звёзды в 2020–2021 годах, было получено по одной цитате, всего 2 цитирования;

по результатам исследования, посвящённого апсидальному движению двойной системы с эксцентрической орбитой, на статью "The Apsidal Motion in the Eclipsing Binary V1437 Cas", опубликованную в журнале Переменные звёзды в 2024 году, было получено 2 цитирования.

Апробация научных исследований.

Результаты исследований обсуждались на семинарах в Институте астрономии Академии наук Республики Узбекистан, Институте инженерной физики и ядерных технологий Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова, а также на более чем 10 международных и национальных конференциях.

Опубликованность результатов исследований.

В рамках темы диссертации опубликовано в общей сложности 24 научных работ. Из них 4 статьи опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов, а 10 статей опубликованы в научных журналах с высокими рейтингами и импакт-факторами, индексируемых в базах данных WoS и Scopus и 10 тезисов докладов на республиканских и международных научных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации сформулированы цели и задачи работы, обоснована актуальность темы работы, новизна и достоверность результатов, отмечается научная и практическая значимость результатов исследования.

В первая глава состоит из четырех параграф, в первом из которых кратко описывается история открытия и изучения переменных звезд, а также текущее состояние исследований в этой области во всем мире. В

частности, в нем представлена краткая история исследований переменных звезд, начиная с первой переменной звезды Мира, обнаруженной в 1596 году, и заканчивая современными наземными и космическими миссиями. Одновременно с этим растет число подтвержденных вращающихся звезд, и появляются свидетельства того, что сегодня их количество превышает 10 миллионов. Второй параграф посвящен классификации переменных звезд, предоставляя информацию о типах и классификации переменных звезд в соответствии с их характеристиками. Сегодня переменные звезды делятся на две основные категории в зависимости от их свойств: внутренние и внешние переменные звезды. Следует отметить, что яркость собственных переменных звезд изменяется из-за физических процессов, происходящих внутри или на их поверхности. К этой категории звезд относятся пульсирующие, извергающиеся и катаклизмические переменные звезды, которые, в свою очередь, классифицируются и делятся на группы и типы. Изменения яркости звезд, классифицируемых как внешние переменные звезды, вызваны внешними событиями, которые не оказывают прямого влияния на свойства звезды. К этой категории относятся две основные группы: вращающиеся и затменные звезды. Следует отметить, что существует множество типов переменных звезд, заслоняющих небо, например, переменные звезды типа EA Algol. В третьем параграфе описываются некоторые эффекты, наблюдаемые в двойных звездах с заслоненными звездами, такие как асимметрия, наблюдаемая в кривых яркости таких переменных звезд — эффект О'Коннелла. Одновременно излагаются и основные положения эффекта движения аписид. В главе 1, параграфе 4 разъясняется текущее состояние проблемы.

Во второй главе представлена подробная информация о наблюдениях переменных звезд в рамках диссертационного исследования, обработке данных оптических наблюдений, методах обнаружения периодических сигналов на кривых яркости, а также о программе VaST, используемой для обнаружения и поиска переменных звезд.

В первом параграфе этой главы представлена информация о точках проведения наблюдений, об использованных телескопах и ПЗС камерах (Прибор с зарядовой связью). Стоит отметить, что основные наблюдения проводились на 0,4-метровом телескопе обсерватории Сибирского государственного университета науки и техники им. академика М. Ф. Решетнева в Красноярске, Российская Федерация, поле 1 и на 0,5-метровом телескопе АМТ-1 Майданакской обсерватории Института астрономии Академии наук Узбекистана были проведены наблюдения в двух полях. Поскольку в наблюдениях использовалась камера ПЗС, для расчета проникающей способности телескопа, учитывающей время экспозиции, применялась следующая формула:

$$m = 4.5 + 4.4 \lg(D) + 1.25 \lg(t) \quad (1)$$

где D — диаметр главного зеркала телескопа в мм, а t — время экспозиции.

Ещё одним фактором, влияющим на результаты наблюдений, является отношение сигнал/шум (SNR). Дело в том, что отношение сигнал/шум играет важную роль в оценке предела точности (ошибок) фотометрических измерений. Поэтому мы использовали отношение сигнал/шум (SNR) по следующей формуле:

$$\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}} \right) \approx \frac{1}{\text{SNR}}$$

Влияние отношения сигнал/шум можно увидеть на следующих примерах:

Если, $\text{SNR} = 10$, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1 + 0.1) = -2.5 \lg (1.1) \approx 0.1$

Если, $\text{SNR} = 50$, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1 + 0.02) = -2.5 \lg (1.02) \approx 0.02$

Если, $\text{SNR} = 100$, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1 + 0.01) = -2.5 \lg (1.01) \approx 0.01$

Если, $\text{SNR} = 200$, $\sigma_{\text{mag}} = -2.5 \lg (1 + 0.005) = -2.5 \lg (1.005) \approx 0.005$.

Во втором параграфе главы II содержится подробная информация об обработке данных оптических наблюдений. В настоящее время доступно множество гибких программных пакетов, включая IRAF, MIDAS, AIPS, IDL, Astropy и другие. Эти пакеты удовлетворяют практически всем требованиям, необходимым для обработки изображений ПЗС. В данном исследовании использовался программный пакет IRAF, представляющий собой наиболее полную коллекцию астрономического программного обеспечения. Первичная обработка астрономических изображений ПЗС, полученных в ходе наблюдений, включает в себя следующие стандартные этапы: учет смещения нулевого уровня (bias), коррекция плоского поля (flat) и учет уровня темнового тока (dark). Для проведения фотометрических измерений использовалась апертурная фотометрия. Все этапы первичной обработки рабочих изображений выполнялись в пакете CCDRED программного обеспечения IRAF. Для проведения фотометрических измерений на предварительно обработанных изображениях ПЗС использовались пакеты IRAF, DAOPHOT и APHOT. В данном случае для получения инструментальной звездных величин использовалась следующая формула, учитывающая фон изображения:

$$m_{\text{ins}} = -2.5 * \lg \left(I_{\text{S+B}} - I_{\text{B}} * \left(\frac{N_{\text{S+B}}}{N_{\text{B}}} \right) \right) \quad (2)$$

где m_{ins} - звездная величина, определяемая прибором, $I_{\text{S+B}}$ - суммарная яркость звезды и фона, I_{B} - яркость фона, $N_{\text{S+B}}$ - количество пикселей в заданной апертуре, N_{B} - количество пикселей, используемых для оценки яркости фона.

В третьем параграфе главы II рассматриваются методы обнаружения периодических сигналов на кривых блеска, а также приводится описание быстрого метода вычисления периодограммы

Lomb-Scargl, который широко используется в астрономии и считающейся наиболее эффективной. Дело в том, что в астрономии получить равномерные временные ряды практически невозможно, поэтому мы обычно работаем с неравномерными временными рядами. Исходя из вышеизложенного, наиболее популярными методами обнаружения периодических сигналов в астрономии являются: частотный анализ (LS, SP) и дисперсионный анализ (PDM, AoV). Используемая нами периодограмма Lomb-Scargl — это метод основанный на частотного анализа, работающий с временными рядами следующего вида:

$$x_j = x(t_j) + \sigma(t_j) \quad (3)$$

где t_j - звездная величина $x(t_j)$ в момент наблюдения, а погрешность измерения $\sigma(t_j) = m_{\text{errj}}$. j - количество точек во временном ряду.

В последнем параграфе второй главы (§2.4) представлен анализ методов поиска переменных звезд, краткое описание некоторых методов поиска переменных звезд в наблюдаемых областях, использованных в данной диссертации, а также информация о программе VaST. В частности, для определения наличия изменчивости в кривых яркости, полученных на основе наблюдений, мы использовали критерий χ^2 , метод стандартного отклонения (σ_w) и метод абсолютного медианного отклонения. Кроме того, была предоставлена информация о других известных методах определения изменчивости по кривым блескам.

Для идентификации новых переменных звезд в целевых полях наблюдения мы использовали программу Variability Search Toolkit (VaST), о котором предоставлена достаточная информация на основе конкретных примеров. Следует отметить, что программа VaST использует код Astrometry.net для астрометрических измерений и программу SoExtractor для фотометрии источников (звезд) на ПЗС изображениях. Программа создает диаграмму звездной величины и стандартного отклонения на основе кривых блеска всех звезд, обнаруженных на всех ПЗС изображениях (рис. 1, слева). На этой диаграмме звезды, окрашенные не в белый цвет (в нашем случае, отмеченные синим), обозначены как переменные звезды. Щелкнув по выбранной переменной звезде, можно просмотреть ее кривую блеска (Рисунок 1, справа).

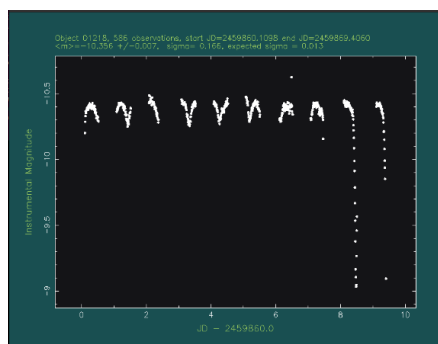
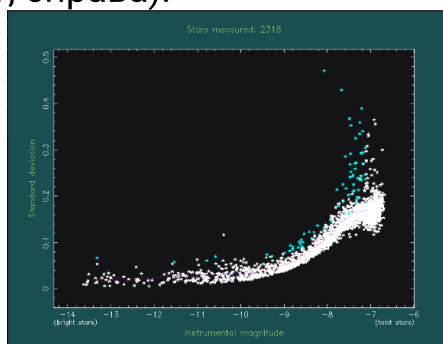


Рисунок 1. Диаграмма инструментальной звездной величины и стандартного отклонения (слева) (с центром в точке RA=00 31 Dec=+64 00), построенная программой VaST, и кривая блеска одной звезды справа.

Все обнаруженные переменные звезды в наблюдаемых полях были проверены на наличие предыдущих обнаружений и присутствие в каталогах. Переменные звезды считались отсутствующими, если они не были обнаружены ранее и не были включены в соответствующие каталоги.

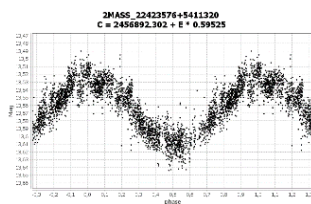
Периодичность обнаруженных переменных звезд оценивается/определяется на основе ее кривой блеска. Для преобразования инструментальных звёздных величин всех известных и предполагаемых переменных звёзд в базовую каталожную звёздную величину использовалась следующая формула:

$$m_{\text{obj}} = m_{\text{obj_ins}} + (m_{\text{ref_cat}} - m_{\text{ref_ins}})$$

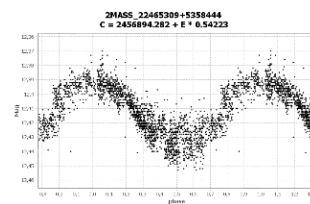
где m_{obj} — базовая каталожная звездная величина переменной звезды, $m_{\text{obj_ins}}$ — инструментальная звездная величина переменной звезды, $m_{\text{ref_ins}}$ — инструментальная звездная величина опорной звезды, а $m_{\text{ref_cat}}$ — стандартная звездная величина опорной звезды, полученная из базового каталога в соответствующем фильтре.

В третьей главе, озаглавленной “новые переменные звезды”, представлены результаты наблюдений поля с центрами $\alpha = 22^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta = +54^{\circ}00'$, $\alpha = 23^{\text{h}}58^{\text{m}}$, $\delta = +62^{\circ}37'$, $\alpha = 21^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta = +59^{\circ}00'$, в этих полях обнаружены новые переменные звезды, и приведены их описания. Все данные наблюдений, использованные в параграфах (§3.1) и (§3.2) настоящей главы, были получены в обсерватории Сибирского государственного университета науки и техники имени академика М.Ф. Решетнева в Красноярске, Российская Федерация, в области созвездия Ящерица, с центром в точке $\alpha = 22^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta = +54^{\circ}00'$ (2000.0). Наблюдения проводились в августе-октябре 2012 года и сентябре-октябре 2014 года. Наблюдения проводились с использованием телескопа типа «Гамильтон» диаметром 400 мм и фокусным расстоянием 915 мм, оснащенного камерой FLI ML-9000 ПЗС с разрешением 3К×3К. Камера ПЗС имела физический размер пикселя 12 × 12 мкм и разрешение 2,7 угловых секунд, что обеспечивало поле зрения 2,3 × 2,3 градуса.

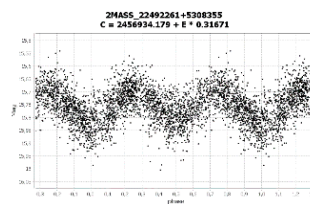
В частности, в параграфе 1 (§3.1) приводится описание внутренних переменных звезд, обнаруженных в поле созвездия Ящерицы. В этой области встречаются пульсирующие подтипы RR Lyra (рис. 2a), цефеиды (рис. 2b), DSCT малой и большой амплитуды (рис. 2c, d), нерегулярные переменные типы L и LB (рис. 2e) и полурегулярные типы SR (рис. 2f). Общее число вновь обнаруженных внутренних переменных звезд в области созвездия Ящерица составляет 51.



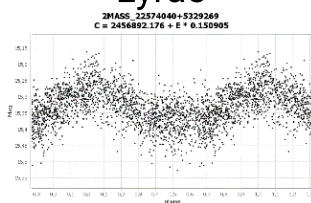
а) Пример типа RR Lyrae



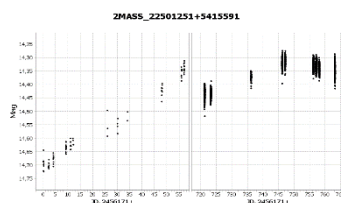
б) Пример цефеиды



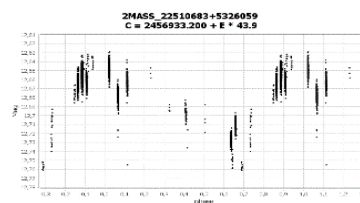
с) Пример типа DSCT



д) Пример типа HADS



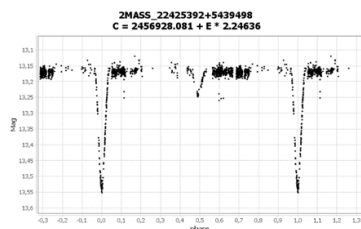
е) Пример типа L



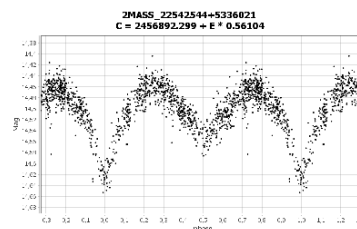
ф) Пример типа SR

Рисунок 2. Примеры фазовых кривых блеска вновь обнаруженных переменных звезд. Для звезд типа L приведена кривая блеска.

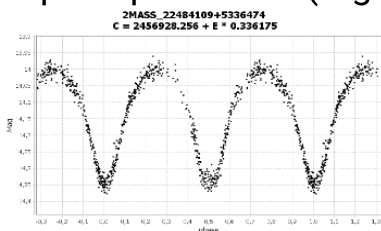
Во втором параграфе этой главы (III), представлены описания внешних переменных звезд, вновь обнаруженных в области созвездия Ящерицы. В общей сложности было идентифицировано 97 затменных двойных звезд, принадлежащих к типам EA (Algol) (рис. 3а), EB (β Lyra) (рис. 3б), EW (W UMa) (рис. 3с) и BY Dra (BY Draco) (рис. 3д).



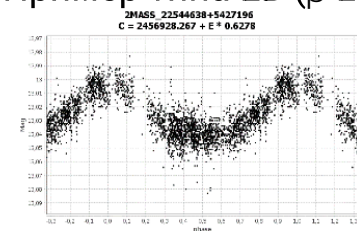
а) Пример типа EA (Algol)



б) Пример типа EB (β Lyra)



с) Пример типа EW (W UMa)



д) Пример типа BY Dra (BY Дракон)

Рисунок 3. Примеры фазовых кривых блеска внешних переменных звезд.

Наблюдательные данные, использованные в параграфе (§3.3) и (§3.4) третьей главы, были получены на телескопе АМТ-1 Майданакской обсерватории Института астрономии Академии наук Республики Узбекистан. Диаметр главного зеркала этого телескопа составляет 0,5 метра и оснащен ПЗС камерой 4K×4K Apogee Alta U16M ПЗС. Размер пикселя камеры ПЗС составляет 9 микрон. Наблюдения проводились с использованием binning 2×2, что соответствует масштабу 0,907"/пиксель и полю зрения 30,9×30,9'. В ходе наблюдений

использовался фильтр Johnson–Cousins R_c. Рабочая температура камеры ПЗС поддерживалась на уровне -15°C во время наблюдений.

Описание новых переменных звезд, обнаруженных в области с центром в точке $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$, представлено в параграфе (§3.3). Наблюдение за этой поле проводилось в течение 28 ночей, с 5 сентября по 30 октября 2021 года, и в общей сложности было получено 2593 ПЗС изображения.

На основе анализа наблюдательных данных в рамках программы VaST было выявлено в общей сложности 6 новых переменных звезд. Из них 5 были классифицированы как затмение двойной звезды типа EA, а 1 - пульсирующая звезда типа DSCT. Примечательно, что периоды всех звезд типа EA превышают 1 день. Период переменной звезды типа DSCT составляет 0,07823 суток (таблица 1).

Таблица 1. Список новых переменных звезд с центром в поле $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$.

	USNO-B1.0 bo'yicha ID	тип	Koordinatalari (J2000)		Период день
			RA	Dec	
1	1524-0451378	EA	23 58 19.52	+62 29 00.97	2.730
2	1526-0460830	EA	23 58 46.98	+62 36 51.50	*
3	1528-0467698	EA	23 57 05.42	+62 49 53.84	9.15021
4	1526-0458817	EA	23 56 19.56	+62 36 04.59	5.19423
5	1526-0460762	EA	23 58 41.42	+62 37 14.88	1.5154
6	1528-0470117	Dsct	23 59 57.47	+62 49 49.83	0.07823

Описания новых затменных двойных переменных звезд, обнаруженных вокруг координат $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$, приведены в параграфе (§3.4). Наблюдения проводились с 15 по 26 августа 2021 года (JD 2459442.3 – 2459452.2). В результате наблюдений было обнаружено в общей сложности 12 новых переменных звезд, 11 из которых были классифицированы как относящиеся к типу EA, а одна – к типу BY Dra. Периоды переменности всех обнаруженных переменных звезд оценивались более чем в 2 дня. Периоды некоторых идентифицированных переменных звезд были определены путем повторного анализа данных ZTF с целью уточнения периодов их переменности. Например, таким методом был определен период переменности звезды типа EA 2MASS 21510036+5906509, который оказался равным 25,9578445 суток (рис. 4).

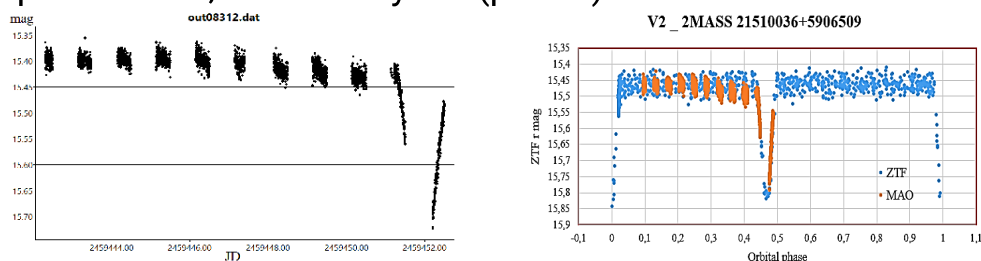


Рисунок 4. Кривая блеск звезды 2MASS 21510036+5906509, первоначально обнаруженной на основе наблюдений MAO (справа), и

фазовая кривая блеска, полученная позже путем объединения фотометрических данных ZTF с результатами наблюдений МАО (слева).

Четвертая глава полностью посвящена исследованиям вращения апсид в затменно двойных системах и их результатам, касающимся вращения линии апсиды в затменных двойных системах. Эти результаты включают в себя исследования затменно двойных звезд типа Алголь (EA Algol): V1059 Cep, V1437 Cas и 2MASS 22425392+5439498.

Фазовая кривая блеска затменной двойной переменной звезды V1059 Cep, упомянутой в первом и втором абзацах этой главы, была получена в 2021 году с помощью 0,5-метрового телескопа АМТ-1 в обсерватории Майданак (рисунок 5). Следует отметить, что период изменчивости V1059 Cep ранее был определен как $P_{orb} = 2,5568906$ дня.

Приведенная на первом и втором параграфах данной главы затменно двойная звезда V1059 Cep наблюдалась в 2021 году с помощью 0,5-метрового телескопа АМТ-1 в обсерватории Майданак (рисунок 5) и на их основе полученная ее кривая и далее фазовая блеска. Следует отметить, что период переменности V1059 Cep ранее был определен как $P_{orb} = 2,5568906$ дня.

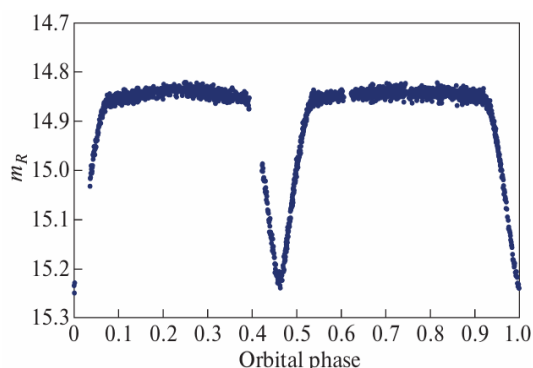


Рисунок 5. Фазовая кривая блеска V1059 Cep на основе наблюдений 2021 года на фильтре R_c .

В связи со значительным отличием второго минимума от фазы 0,5 на фазовом кривом блеске V1059 Cep (рисунок 5), мы перепроверили наши результаты на основе данных, полученных другими авторами, чтобы убедиться в их точности, то есть, были использованы данные наблюдений и данные ZTF за 2012–2013 годы. В данном исследовании для определения фотометрических параметров и орбитальных элементов объекта использовались данные кривых блеска в фазах минимума. При расчете теоретической кривой блеска объекта предполагалось, что компоненты системы имеют сферическую форму, и учитывалось их линейное затемнение по направлению к краю. В результате были рассчитаны различия O–C между кривыми блеска и теоретической кривой в минимальных фазах. Решения, использованные для свободного поиска всех параметров системы, за исключением коэффициентов потемнения к краю диска, с целью

получения теоретической кривой блеск системы (модели системы), приведены в таблице 2. Как видно из таблицы, все 4 независимых решения имеют схожие значения эксцентриситета для системы, и сумма относительных радиусов звезд также согласуется.

Таблица 2. Параметры и орбитальные элементы звезды V1059 Сер, полученные из кривых яркости за разные годы.

Параметр	"a"	"b"	"c"	"d"
r_1	0.240 ± 0.003	0.226 ± 0.003	0.222 ± 0.005	0.252 ± 0.005
r_2	0.240 ± 0.003	0.254 ± 0.003	0.263 ± 0.005	0.233 ± 0.005
$i, ^\circ$	86.3 ± 0.4	86.9 ± 0.3	85.7 ± 0.6	84.9 ± 0.6
E	0.0613 ± 0.0003	0.0605 ± 0.0002	0.613 ± 0.0004	0.0595 ± 0.0004
$\omega, ^\circ$	192.2 ± 0.5	187.6 ± 0.5	188.9 ± 0.8	196.6 ± 0.8
L_1	0.354 ± 0.005	0.313 ± 0.005	0.359 ± 0.007	0.464 ± 0.007
L_2	0.346 ± 0.005	0.382 ± 0.005	0.487 ± 0.007	0.386 ± 0.007
L_3	0.300 ± 0.010	0.305 ± 0.010	0.154 ± 0.010	0.150 ± 0.010
J_1/J_2	1.02 ± 0.02	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.02
Σ	0.0076	0.0076	0.0138	0.0137

Примечание. коэффициенты u_1, u_2 - limb darking были получены как постоянными, равные 0,30 во всех вариантах. варианты "A" и "B" соответствуют кривым блеска 2021 года; наблюдения проводились в обсерватории Майданак; варианты "c" и "d" — для кривых блеска 2018-2019 годов; наблюдения проводились исследованием ZTF. J_1/J_2 — отношение яркостей поверхности первичных (J_1) и вторичных (J_2) компонентов.

Помимо наблюдений 2012–2013 и 2021 годов, результаты ZTF также использовались для обоснования высокой скорости вращения линии апсид V1059 Сер и расчета параметров системы. Среднее значение скорости вращения линии апсиды, рассчитанное на основе всех полученных данных, составляет:

$$d\omega/dt = 7.1^\circ \pm 0.4^\circ/\text{год}$$

Это дало апсидальный период $U = 50,7 \pm 2,8$ лет.

Разница температур между первичным и вторичным компонентами звезды V1059 Сер была оценена по отношению их поверхностной яркости с использованием следующего выражения $J_1/J_2 = (L_1 r_2^2)/(L_2 r_1^2)$. Результаты расчетов кривых блеска за 2018–2019 и 2021 годы показали, что отношение J_1/J_2 от значения решения 1 не превышает 3%. Было установлено, что звезды в исследуемой двойной системе обладают схожими физическими свойствами. Согласно

уравнению Планка $\frac{J_1}{J_2} = \exp\left(\frac{c}{\lambda(1/T_{2\text{eff}} - 1/T_{1\text{eff}})}\right)$, было показано, что разница температур между компонентами не превышает 200 K, а их массы отличаются друг от друга не более чем на 5%. Эволюционные пути звезд с солнечным химическим составом ($X = 0,7, Z = 0,02$) (рис. 6) продемонстрировали зависимость от $k_2(T_{\text{eff}})$. Как показано на рисунке 6, значения k_2 и оценочная эффективная температура $T_{\text{eff}} = 11100-12680$ K соответствуют звездам спектрального класса B8V–B7V с массами от $3M_\odot$ до $3,7 M_\odot$. Согласно третьему закону Кеплера, большая полуось орбиты системы получена равной как $a = (14.8 \pm 0.5)R_\odot$ и абсолютные

радиусы равны $R_1^{\text{obs}} = (3.4 \pm 0.2) R_{\odot}$, $R_2^{\text{obs}} = (3.6 \pm 0.2) R_{\odot}$. Чтобы связать яркость, радиус и температуру звезды, мы использовали формулу Стефана–Больцмана:

$$\log \left(\frac{R}{R_{\odot}} \right) = \frac{1}{2} \log \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right) - 2 \log \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_{\odot}} \right) \quad (4)$$

Изменение радиуса в зависимости от возраста звезды показано на рисунке 7. На рисунке 8 представлена зависимость параметра k_2 от возраста. Только звёзды с массой $M = (3.4 \pm 0.3) M_{\odot}$, относящиеся к спектральному классу B7V–B7,5V, имеют время жизни $t = (1.8 \pm 0.3) \times 10^8$ лет (таблица 3), и их параметры соответствуют всем представленным графикам.

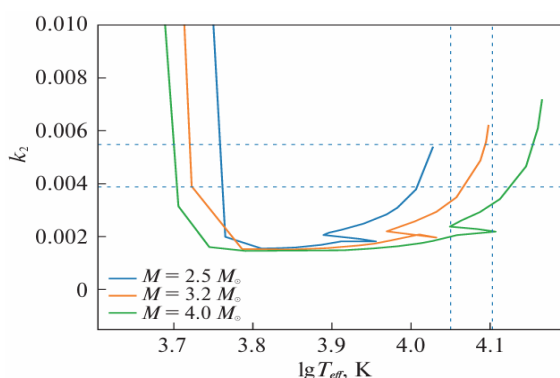


Рисунок 6. Зависимость коэффициента k_2 от температуры звезды. Показаны теоретические пути эволюции для звезд с массами $2.5 M_{\odot}$, $3.2 M_{\odot}$, $4 M_{\odot}$. Пунктирными линиями показаны пределы параметра k_2 , полученные из наших наблюдений, и эффективные температуры T_{eff} звезд в каталогах.

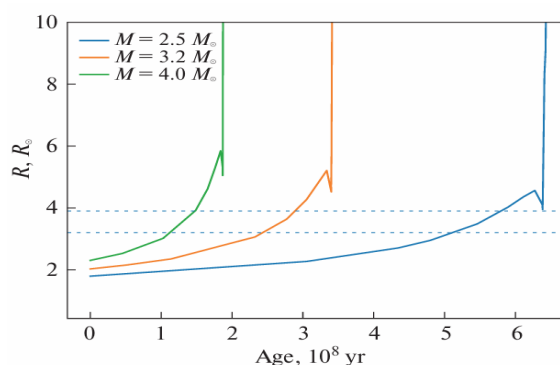


Рисунок 7. Зависимость радиуса звезды от ее возраста. Теоретические эволюционные пути для звезд с массами $2.5 M_{\odot}$, $3.2 M_{\odot}$, $4 M_{\odot}$ были рассчитаны с использованием формулы (4). Параметры, использованные при расчете радиусов, взяты из другого источника. Пунктирными линиями показаны относительные радиусы звезд и пределы большой полуоси, рассчитанные согласно третьему закону Кеплера.

Таблица 3. Физические свойства звезд в системе V1059 Сер, расчетные значения апсидальной линии при условии равенства теоретической и наблюдаемой скоростей вращения.

параметр	Основной компонент	Второй компонент
спектр	B6.5V–B7V	B6.5V–B7V
T_{eff} K	11900–12600	11900–12600
$M M_{\odot}$	3.3 ± 0.2	3.3 ± 0.2
$R R_{\odot}$	3.4 ± 0.2	3.6 ± 0.2
k_2	0.0047 ± 0.008	0.0047 ± 0.008
возраст, 10^8 год	1.8 ± 0.3	1.8 ± 0.3
$\log g$, см/с ²	3.75 ± 0.25	3.75 ± 0.25

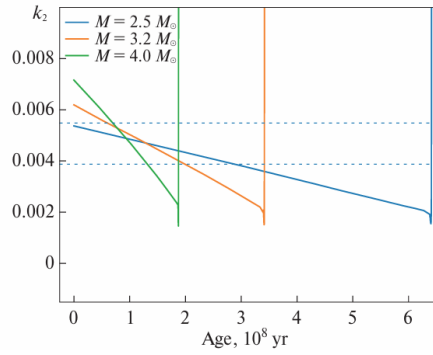


Рисунок 8. Зависимость коэффициента k_2 от возраста звезды. Показаны теоретические пути эволюции для звезд с массами $2.5M_{\odot}$, $3.2M_{\odot}$, $4M_{\odot}$. Пунктирные линии указывают пределы параметра k_2 , определенные на основе наших наблюдений.

Параметр внутренней структуры ($k_2=0,0047\pm0,0008$) был рассчитан, исходя из предположения о синхронизации осевого и орбитального вращения звезд. Время синхронизации для каждой компоненты скорости можно рассчитать по формуле:

$$t_{\text{sync}} = \frac{1}{52^{5/3}} \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{1/2} \times \left(\frac{I}{MR^2} \right) \frac{1}{q^2} \frac{1}{(1+q)^{5/6}} \frac{1}{E_2} \left(\frac{a}{R} \right)^{17/2}, \quad (5)$$

где R и M — радиус и масса звезды в абсолютных значениях, $q = M_{\text{another}}/M$, M_{another} — это масса второй звезды в двойной системе, G — гравитационная постоянная, I — момент инерции звезды, E_2 — это коэффициент волнового механизма в звезде, приводящий к синхронизации вращения. Это равно $(R_{\text{core}}/R)^8$. R_{core} — это радиус конвективного ядра звезды в нулевом возрасте; Коэффициенты E_2 были рассчитаны для различных звездных масс как $E_2 = 4,72 \times 10^{-8}$, и в расчетах использовалось значение для звезды с массой $3M_{\odot}$. Расчеты с использованием уравнения (5) показали, что для синхронизации скоростей звезд в системе потребуется $\leq 10^6$ лет, что на два порядка короче расчетного времени жизни системы (таблица 3).

В параграфе (§4.3) этой главы рассчитываются скорость вращения линии апсид и орбитальные параметры затменной двойной системы V1437 Cas на основе результатов фотометрических наблюдений в 4 секторах TESS и ZTF. Исследуемый объект V1437 Cas (TIC 314039042, NSV 14400) имеет орбитальный период $P=3,34363$ дня, и для этого периода была построена фазовая кривая блеска (рисунок 9).

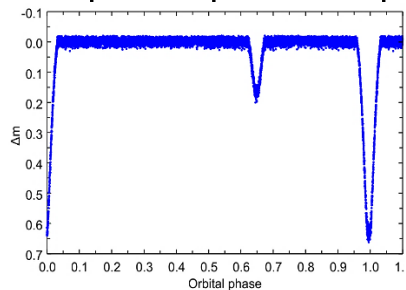


Рисунок 9. Уточненная фазовая кривая блеска системы V1437 Cas,

построенной на основе данных спутника TESS за 2019 год.

Значение коэффициента потемнения к краю, полученное для главного компонента нашего решения (табл. 4), близко к теоретическому значению для звезды с эффективной температурой $T_{eff}=8500$ K и согласуется с температурой, приведенной в каталоге Pickles. Если принять эту температуру за температуру главной звезды, то температуру второго компонента можно определить, используя закон Stefan–Boltzmann и отношение поверхностных яркостей двух звезд (таблица 4).

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{L_1 r_2^2}{L_2 r_1^2} \quad (6)$$

где J_1 и J_2 — поверхностные яркости первичной и вторичной звёзд, L_1 и L_2 — их светимости, а r_1 и r_2 — их радиусы.

Таблица 4. Параметры компонентов системы и орбитальные элементы, полученные из кривых блеска TESS за 2019, 2020, 2022 и 2024 годы.

Parameter	2019	2020	2022	2024
r_1	0.1251 ± 0.0025	0.1247 ± 0.0025	0.1226 ± 0.0025	0.1231 ± 0.0030
r_2	0.0855 ± 0.0030	0.0858 ± 0.003	0.0849 ± 0.004	0.0868 ± 0.0040
$i, ^\circ$	88.4 ± 0.4	88.5 ± 0.3	88.8 ± 0.3	89.6 ± 0.3
e	0.2932 ± 0.0015	0.2943 ± 0.0015	0.2970 ± 0.0040	0.2898 ± 0.0040
$\omega, ^\circ$	323.65 ± 0.04	323.47 ± 0.04	323.33 ± 0.03	326.10 ± 0.03
L_1	0.857 ± 0.005	0.855 ± 0.005	0.857 ± 0.007	0.835 ± 0.007
L_2	0.139 ± 0.005	0.144 ± 0.005	0.143 ± 0.007	0.143 ± 0.007
L_3	0.004 ± 0.003	0.001 ± 0.002	0.000 ± 0.020	0.02 ± 0.010
u_1	0.36 ± 0.02	0.38 ± 0.02	$0.37(\text{fixed})$	$0.37(\text{fixed})$
u_2	$0.47(\text{fixed})$	$0.47(\text{fixed})$	$0.47(\text{fixed})$	$0.47(\text{fixed})$
J_1/J_2	2.88 ± 0.02	2.84 ± 0.02	2.87 ± 0.02	2.90 ± 0.02
σ	0.005	0.005	0.011	0.014

При расчете параметров радиусы и светимости звезд, а также наклон орбиты принимались постоянными для результатов TESS. Это предположение позволило определить перицентрические длины для разных периодов и, на основе этих расчетов, определить скорость движения апсид. В таблице 5 E_0 обозначает среднюю эпоху, соответствующую значениям ω в соответствующих наборах наблюдений.

Таблица 5. Долгота периастра, определенная по кривым блеска TESS за 2019, 2020, 2022 и 2024 годы, а также по кривой блеск ZTF,

рассчитанной с использованием постоянных параметров, соответствующих решению для данных 2019 года.

Parameter	2019	2020	2022	2024	ZTF
$\omega, ^\circ$	323.65±0.0 4	323.±0.04	324.56±0.0 7	324.83±0.0 4	323.15±0. 1
E_0 JD	2458776.0 1	2458970.6 6	2459867.6 0	2460404.7 1	2457816.0 2

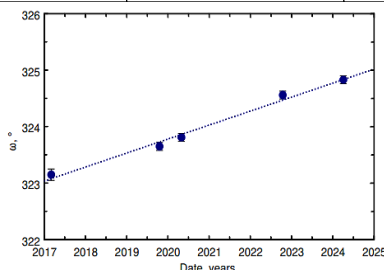


Рисунок 10. Изменения долготы периастр с течением времени. Первая точка данных (2017 г.) соответствует результатам, полученным на основе кривых блеск ZTF, а остальные точки основаны на кривых блеск TESS.

На рисунке 10 показаны решения, соответствующие кривым яркости TESS, полученным в 2019, 2020, 2022 и 2024 годах (таблица 5), а также показано, как долгота периастр изменяется со временем для наблюдений ZTF. Это показало линейную зависимость. Применение метода наименьших квадратов дало решение с точностью около 10%.

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.252^\circ \pm 0.025^\circ \text{ год}^{-1}$$

$$U_{\text{aps}} = (1430 \pm 140) \text{ лет.}$$

где $d\omega/dt$ — скорость движения апсид, а U_{aps} — период движения апсид.

Кривые блеск V1437 Cas, полученные с помощью TESS (2019, 2020, 2022 и 2024 гг.), показали единичные чрезвычайно глубокий минимумы, возникающий в разные моменты времени на разных орбитальных фазах. Эти очень глубокие минимумы более чем на 0,25 звездной величины глубже, чем основной минимум, а их ширина примерно в 1,5 раза больше (см. Таблицу 6 и Рис. 11). Орбитальные фазы этой системы показаны на рисунке 11. Форма чрезвычайно глубоких минимумов, наблюдавшихся в 2019, 2022 и 2024 годах, практически симметрична. Напротив, минимум 2020 года имел асимметричную форму, и его положение на кривой яркости совпадало со вторым минимумом системы. Продолжительность периодов глубоких минимумов в 2019, 2022 и 2024 годах оценивается в $27,255 \pm 0,001$ дня. При таком значении периода глубокий минимум в 2020 году должен был наступить через 8 часов после наблюдения. Возможное объяснение этого явления заключается в том, что обе звезды периодически затмеваются дополнительным темным объектом (например, диском планеты или небольшим коричневым карликом и т. д.).

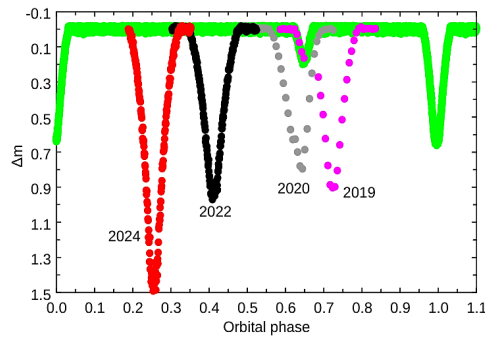


Рисунок 11. Фазовая кривая блеска V1437 Cas, демонстрирующая чрезвычайно глубокие минимумы.

Таблица 6. Минимальные значения яркости, определенные на основе наблюдений TESS для звезды V1437 Cas.

Time of minimum BJD	Year	Depth mag	Duration days
2458767.081±0.015	2019	0.90±0.01	0.439±0.012
2458957.405±0.020	2020	0.80±0.01	0.451±0.015
2459856.080±0.015	2022	0.92±0.01	0.447±0.012
2460400.583±0.015	2024	1.45±0.01	0.450±0.012

В последнем абзаце (§4.4) впервые с помощью программы ЖКТЕВОР были определены орбитальные и физические параметры двойной системы 2MASS 22425392+5439498 с эксцентрической орбитой на основе фотометрических результатов наблюдений телескопами TESS, ASASSN и ORI-40. Объект 2MASS 22425392+5439498 имеет две близко расположенные соседние звезды: а) (RA=22:42:54.2121310, Dec=+54:39:56.202791) и б) (RA=22:42:54.4090487, Dec=+54:39:50.678584), влияние которых на измеренную яркость объекта из-за наличия света третьего порядка было учтено в апертурной фотометрии (рис. 12).

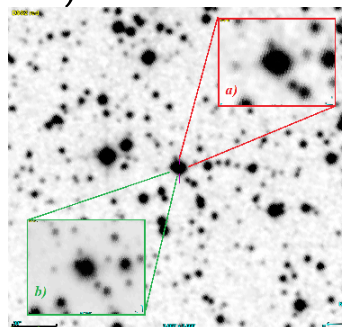


Рисунок 12. Карта 2MASS 22425392+5439498. Центральная часть поля показана красным на изображении DSS2 (F+R). Увеличенные изображения соседних звезд показаны на панелях: (a) DSS2 Red (F+R) и (b) ZTF DR7 в g-диапазоне.

На основе всех доступных фотометрических данных была построена кривая блеска. Были оценены различия между вторым минимумом и значениями глубин (рисунок 13). Кроме того, была создана модель данной системы, которая соответствует кривым блеска.

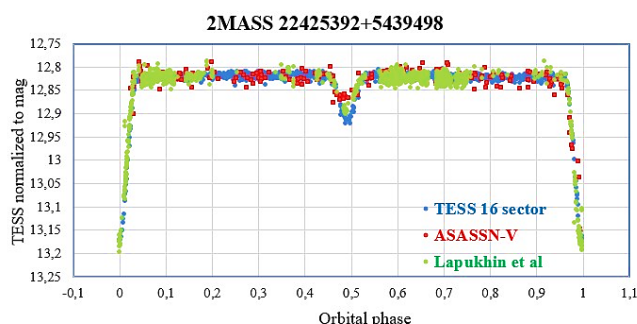


Рисунок 13. Наложены фазового кривые блеска звезды, полученные в результате объединения данных наблюдений Лапухина, ASASSN-V и TESS.

Различия между параметрами модели, рассчитанными отдельно на основе каждого фотометрического результата, показаны в таблице 7.

Таблица 7. Параметры модели наилучшего соответствия ЖКТЕВОР видимым кривым 2MASS 22425392+5439498 на основе данных Лапухина, TESS и ASAS-SN.

<i>Parameter / Value</i>	2MASS 22425392+5439498 By Lapukhin et al.	TIC 388963111 By TESS Sector 16	ASASSN-V J224253.95+543949.7 By ASASSN-V
Time of primary eclipse (HJD)	2456928.082095±0.000117	2458740.922180±0.000959	2457938.957655±0.000516
Orbital period (day)	2.246365±0.000001	2.246319±0.000158	2.2463868377±0.0000018552
Orbital inclination (degree)	81.8678678360±1.3903706167	84.7971689477±2.1379595691	81.7948492778±0.1865250548
Sum of the fractional radii	0.2269909605±0.0086123718	0.2644425046±0.0302275894	0.3841814458±0.0033422970
Ratio of the radii	0.500009986±0.000021	0.5000007264±0.000013	0.5000002547±0.000019
e cos ω	-0.0132910535±0.0007149391	-0.0122597505±0.0015296649	-0.0082670290±0.0006480103
e sin ω	-0.0750100238±0.0274007569	-0.1385824446±0.1118050306	0.6342334800±0.0292170440
Central surface brightness ratio	0.0766423852±0.0726279984	0.0735945847±0.1116791480	0.3341193984±24.3369589484
Third light (L)	-0.3158619205±0.3004644773	-1.4845296768±1.5566255384	-1.5457838085±3.6115440124
LD (A) coefficient <i>c</i>	0.9351162149±0.125385242	1.1567494561±0.6636868824	0.3596682797±0.2356265952
LD (B) coefficient <i>a</i>	11.1385671399±6.3323707256	12.2222803021±0.724785434	18.2019734973±7.3425419621
Derived parameters:			
Fractional radius of star A	0.15132 ± 0.0000731	0.17629 ± 0.00005003	0.256120 ± 0.00000964
Fractional radius of star B	0.07566 ± 0.0000366	0.088147 ± 0.0000501	0.128060 ± 0.00000482
Eccentricity	0.1361784469 ± 0.00013	0.1391236696 ± 0.00025	0.1342873568 ± 0.00062
Argument of periastron (°)	263.1520304467 ± 0.021	264.1444673174 ± 0.047	263.7467897313 ± 0.011
Light ratio ℓ_B/ℓ_A	0.0531591084 ± 0.0038	0.0564587687 ± 0.0043	0.0525466149 ± 0.0016

Определенный в данном исследовании орбитальный период $P=2,2455913$ дня согласуется, в пределах погрешности, со значениями, полученными из всех использованных наборов данных. Разница между наклон орбиты ($84,80 \pm 2,14^\circ$), полученным из данных TESS, и

значениями, полученными из данных Лапухина и ASAS-SN, вероятно, обусловлена различиями в плотности фотометрических наблюдений и периодах наблюдений. Наш анализ также показывает, что глубина затмения не изменяется в противофазе, а расчетный период движения апсид системы чрезвычайно велик. Следовательно, движение апсид не оказало существенного влияния на глубину затмения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

На основе исследований, проведенных в диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) «Поиск новых переменных звезд и исследование апсидального движения в избранных затменно-двойных системах», получены следующие основные результаты:

1. В целевых полях наблюдения $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$, $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ и $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$ обнаружено 164 новых переменных звезды.

Из них 52 являются внутренними переменными звездами, а 112 оказались внешними переменными звездами.

2. Впервые обнаружено, что двойная звезда типа EA V1059 Ser имеет эксцентрическую орбиту и апсидальное движение в системе. Скорость движения апсид в системе оценено как $d\omega/dt=7.1^{\circ} \pm 0.4^{\circ}/\text{год}$, и как следствие, период движения апсид был определен как $U_{\text{aps}} = 50.7 \pm 2.8$ лет.

3. V1437 Cas — это двойная система с эксцентричной орбитой типа Алголя (EA), эксцентриситет орбиты которой, как было впервые установлено, составляет $e \approx 0,29$, Скорость движения апсид была рассчитана как $d\omega/dt = 0.252^{\circ} \pm 0.025^{\circ} / \text{год}$, а период движения апсид был рассчитан как $U_{\text{aps}} = (1430 \pm 140)$ лет. Важной научной новинкой объекта V1437 Cas является то, что, помимо минимумов затменной двойной системы, был также зафиксирован минимумы затмений для третьей звезды неизвестной природы, что указывает на то, что это не двойная система, а тройная (triple), то есть тройная компонента затменной двойной системы. Доказано, что открытая третья звезда обращается вокруг двойной системы с периодом $27,255 \pm 0,00127$ суток. Кроме того, были определены несколько дополнительных орбитальных и физических параметров объекта V1437 Cas.

4. Когда объект 2MASS 22425392+5439498 был впервые обнаружен, смещение второго минимума по фазе было проигнорировано. При проведении дополнительных исследований эксцентриситет его орбиты был впервые рассчитан как $e \approx 0,136$.

5. По результатам фотометрических наблюдений за пять лет изменения в системе было оценено следующим образом: среднее отклонение орбиты составило $i=2,930$, а изменение линии апсиды, т.е.

аргумента периастр, составило $\omega \approx 0,990$. Еще одной новинкой исследования стало открытие третьего объекта вокруг двойной системы 2MASS 22425392+5439498, и было доказано, что его влияние на двойную систему составляет $L_3 \approx 17\%$.

SCIENTIFIC COUNCIL PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREE AT THE ASTRONOMICAL INSTITUTE

ASTRONOMICAL INSTITUTE

KHAMRAKULOV FARKHODJON BAXRONKUL O'G'LI

**SEARCH NEW VARIABLE STARS AND INVESTIGATION OF APSIDAL
MOTION IN SELECTED ECLIPSING BINARIES**

01.03.01 – Astronomy

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON PHYSICAL AND
MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2026

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission at the ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under B2025.2.PhD/FM1320.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Astronomical Institute.

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

Scientific Supervisor:

Burkhonov Otabek Anvarjonovich

Candidate of physical and mathematical sciences,
Ulugh Beg Astronomical Institute (UBAI).

Official Opponents:

Toshmatov Bobir Abdumanonovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Ulugh Beg Astronomical Institute (UBAI)

Kusakin Anatoliy Vasilevich

Candidate of physical and mathematical sciences,
Fesenkov Astrophysical Institute

Leading Organization:

National University of Uzbekistan

The defence of the dissertation will be held on "____" _____ 2026, at the meeting of the Scientific Council No. PhD.05/2025.27.12.FM.08.01 at the Astronomical Institute (Address: UBAI, 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through in the Information Resource Center of Astronomical Institute (registered under No.____). (Address: 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67).

The abstract of dissertation was distributed on "____" _____ 2026.
(Registry record No.____ dated "____" _____ 2026).

Sh.A. Egamberdiyev

Chairman of the Academic Council
authorized to award scientific
degrees, Doctor of Physical and
Mathematical Sciences, akademik

K.E. Ergashev

Scientific Secretary of the Academic
Council authorized to award
scientific degrees, PhD.

A.B. Abdikamalov

Chairman of the Scientific Seminar at
the Scientific Council on award of
Scientific Degrees. Doctor of
Physical and Mathematical Sciences

INTRODUCTION (abstract PhD dissertation)

The aim of the research. Search and study of variable stars, and

analysis of apsidal motion in selected EA-type obstructed binary stars.

The object of the research. This dissertation focuses on the search for new candidates of variable stars and EA-Algol type eclipsing binary systems with eccentric orbits.

The scientific novelty of the research consists of the following:

Selected $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$, In the fields $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ and $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$, 164 new variable stars of various types were detected for the first time, and their periods and initial parameters were determined.

For the first time, the EA-type V1059 Cep, The binary systems V1437 Cas and 2MASS 22425392+5439498 were found to have eccentric orbits and apsidal motion, and their orbital and component physical parameters were determined.

A third body was detected in the V1437 Cas system, and its orbital period of 27.255 ± 0.00127 days was calculated from the observations.

Initial photometric results for the 2MASS 22425392+5439498 object, The TESS and ASASSN-V photometric results were analyzed separately, and using the JKTEBOP program, a model was fitted to the light curves, revealing changes in the system's orbital parameters.

Implementation of the research results.

A "Variable Stars" database was created for 164 new variable stars and they were classified by variability type;

The parameters of the selected binary stars were calculated based on observations and models were created;

Apsidal motion was detected in the V1059 Cep and V1437 Cas eclipsing binary EA systems;

Based on the analysis of the results of photometric observations, a third object was detected in the objects V1437 Cas and 2MASS 22425392+5439498.

Scientific and practical significance of the research results.

The scientific significance of the research results is that, The scientific significance of the research results is that the variability classes and types of new variable stars not previously listed in variable star catalogs are determined, and the newly obtained data have made it possible to enrich the general catalogs of variable stars.

In addition to supplementing statistical data on variable stars, newly discovered variable stars are also used to clarify the spatial distribution of variable stars in the sky.

The results obtained supplement the existing data on apsidal motion in Algol-type eccentric orbital binary systems and are used in studying their evolution, used in the search for additional components and in the study of physical processes in dense binary systems.

Furthermore, the scientific and practical significance of the dissertation is determined by the observational results obtained, which serve as a natural laboratory for the in-depth study of the objects under investigation and similar ones.

The results and methods in this work will also be included in special courses for undergraduate and master's students in the astronomy program at universities in our country.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The main body of the dissertation, excluding the appendices, comprises 117 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Bingyao Zhou, Chunhua Zhu, Guoliang Lü, Sufen Guo, Helei Liu, and **Farkhodjon Khamrakulov**, Evolution of cataclysmic variables under different magnetic braking prescriptions // *Astronomy & Astrophysics*, (A&A,) 707, A76 (2026) <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202556958> (WoS, Scopus).
2. Xiang-dong Shi; Sheng-bang Qian; Li-ying Zhu; Lin-jia Li; Er-gang Zhao; David Mkrtichian; **Farkhodjon Khamrakulov**; Wen-xu Lin, Observational Properties of β Cephei Stars: 88 New Samples Discovered Based on TESS and Gaia Data // *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 281, Number 1, <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ae101e> (WoS, Scopus).
3. **F.B. Khamrakulov**; O.A. Burkhonov; E.G. Lapukhin; S.Sh. Ergashev, First detailed study of the eccentric binary 2MASS 22425392+5439498 using multi-survey data // *Astronomical and Astrophysical Transactions* (AApTr), 2025, Vol. 35, Issue 3, pp. 291–300, ISSN 1055-6796, <https://doi.org/10.17184/eac.9791> (WoS, Scopus).
4. V. S. Kozyreva, A. I. Bogomazov, **F. B. Khamrakulov** The Apsidal Motion in the Eclipsing Binary V1437 Cas // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie*, vol.23, no. 1. 2023. DOI: 10.24411/2221-0474-2024-44-131-138, <https://images.astronet.ru/pubd/2024/12/03/0001946039/pz-44-011.pdf> (WoS, Scopus).
5. V. S. Kozyreva; **F. B. Khamrakulov**; O. A. Burkhonov; A. I. Bogomazov; B. L. Satovskiy. Rotation of the Apsidal Line in the Eclipsing System V1059 Cep // *ASTRONOMY REPORTS* ISSN 1063-7729, *Astronomy Reports*, 2024, Vol. 68, No. 1, pp. 48–59. © Pleiades Publishing, Ltd., 2024. <https://doi.org/10.1134/S1063772924700148> (WoS, Scopus).
6. **Khamrakulov, F.**; Lapukhin, E. G.; Burkhonov, O.; Satovskiy, B.; Zubareva, A. M.; Karimov, R.; Khafizov, B. Variable Stars Discovered at the Maidanak Observatory: Field Center $\alpha=21^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=+59^{\circ}00'$ (2000.0) // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie*, vol.23, no. 1. 2023. <http://doi.org/10.24412/2221-0474-2023-1-1> (WoS, Scopus).
7. O. Burkhonov; S. Egamberdiev; B. Satovskiy; **F. Khamrakulov**; R. Karimov; R. Gaysin; B. Khafizov, Discovery of Six New Variables: Center $\alpha=23^{\text{h}}58^{\text{m}}$ $\delta=+62^{\circ}37'$ // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie*, vol.22, no. 3. 2022. <http://doi.org/10.24412/2221-0474-2022-3> (WoS, Scopus).
8. E. G. Lapukhin; A. M. Zubareva; E. Kryukova; **F. Khamrakulov**, New variable stars in Lacerta: area of $2^{\circ}.3 \times 2^{\circ}.3$, center $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$. Part III // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie*, vol.22, no. 2. 2022. <http://doi.org/10.24412/2221-0474-2022-2> (WoS, Scopus).
9. E. G. Lapukhin; A. M. Zubareva; E. Kryukova; **F. Khamrakulov**, New

Variable Stars in Lacerta: Area of $2^{\circ}.3 \times 2^{\circ}.3$, Center $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$ (2000.0). Part II // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie*, vol.21, no. 3. 2021. <http://doi.org/10.24412/2221-0474-2021-3> (WoS, Scopus).

10. E. G. Lapukhin; A. M. Zubareva; E. Kryukova; **F. Khamrakulov**, Variable stars in Lacerta: area of $2^{\circ}.3 \times 2^{\circ}.3$, center $\alpha=22^{\text{h}}50^{\text{m}}$ $\delta=54^{\circ}00'$ (2000.0). Part I // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie*, vol.20, no. 2. 2020. <http://doi.org/10.24411/2221-0474-2020-10013> (WoS, Scopus).

11. **F.B.Khamrakulov**, O.A.Burxonov, R.G.Karimov "ASASSN-V J230945.10+605349.3 OBYEKTINING APSIDAL VA ORBITAL PARAMETRLAR TADQIQOTI" // *Samarqand Davlat universiteti ilmiy Axborotnomasi*, ISSN 2181-1296, 2024-yil, 3/1 (145) pp.-126-133, <https://zenodo.org/records/21282662>

12. **F. Xamrakulov**, B. Jurayev, T. Alimov, S. Ergashev "V*V669 Cyg To'siluvchan zich qo'shaloq yulduzining fotometrik tadqiqi" // *Samarqand Davlat universiteti ilmiy Axborotnomasi*, ISSN2091-5446, 2020-yil, 3-son (121) стр.-116, <https://zenodo.org/records/21282689>

13. **F. Xamrakulov**, E. Lapukhin, T. Alimov, A. Kulmuradov "Qisqa davrli pulsatsiyalanuvchi 2MASS_22472590+5407249 va 2MASS_22431277+5439408 o'zgaruvchan yulduzlarini fotometrik tadqiqi" // *Samarqand Davlat universiteti ilmiy Axborotnomasi*, ISSN2091-5446, 2020-yil, 1-son (119) стр.-116, <https://zenodo.org/records/21282709>

14. Jurayev B. Sh., Ajabov A. Q., Turniyazov R. K., Kurbaniyazov S. X., **Hamraqulov F. B.**, Egamberdiyev Sh., Axunov T. "V839 Oph o'zgaruvchan yulduzi fotometrik tahlili" // *Samarqand Davlat universiteti ilmiy Axborotnomasi*, ISSN2091-5446, 2019-yil, 1-son (113) стр.-72, <https://zenodo.org/records/21282720>

II bo'lim (II часть; part II)

1. **F.B. Khamrakulov**, O.A. Burkhonov, A.V. Farhodov "INVESTIGATION OF OVERLOOKED ECCENTRIC ECLIPSING BINARY WITH RAPID APSIDAL MOTION BASED ON TESS DATA" Proceedings of International Conference FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN PHYSICS May 16-17, 2025, <https://zenodo.org/records/21282016>

2. **F.B. Khamrakulov***, A.V. Farhodov "RAPID VARIATIONS IN THE O'CONNELL EFFECT FOR GSC 03984-00503: A COMPARISON WITH TESS DATA" Proceedings of International Conference FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN PHYSICS May 16-17, 2025, <https://zenodo.org/records/21282100>

3. **F.B. Khamrakulov**, O.A. Burkhonov, B.M. Xafizov "DETERMINATION NEW ORBITAL PERIODS OF EA-TYPE ECCENTRIC ECLIPSING BINARIES IN CEPHEUS USING ZTF LIGHT CURVES" FIZIKA FANINING RIVOJIDA ISTE'DODLI YOSHLARNING O'RNI RIAK-XVIII - 2025 Respublika ilmiy amaliy konferensiyasi to'plami Toshkent, O'zMU, 4-5 aprel, 2025 yil, <https://zenodo.org/records/21282157>

4. **F.B. Khamrakulov**, O.A. Burkhonov, A.M. Shaymanov "REFINING THE ORBITAL PERIODS OF THE ECCENTRIC ECLIPSING BINARIES USNO-B1.0 1526-0458817 AND USNO-B1.0 1528-0467698 USING ZTF PHOTOMETRIC DATA" FIZIKA FANINING RIVOJIDA ISTE'DODLI YOSHLARNING O'RNII RIAX - XVIII - 2025 Respublika ilmiy amaliy konferensiyasi to'plami Toshkent, O'zMU, 4-5 aprel, 2025 yil. <https://zenodo.org/records/21282180>
5. **Khamrakulov F.B.**, Burkhonov O.A., Satovsky B.L., Lapukhin E.G. "PRELIMINARY RESULTS OF ANALYSIS OF ECCENTRIC BINARY SYSTEMS ZTF J200519.89+321314.3" //THE THIRD INTERNATIONAL FORUM PHYSICS – 2024 April 23-25, 2024, Samarkand, Uzbekistan BOOK OF ABSTRACTS Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of Uzbekistan, Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of Sciences, 2024. Pages 35. <https://zenodo.org/records/21282213>
6. **Khamrakulov F.B.**, Burkhonov O.A., Satovsky B.L., Lapukhin E.G. "INVESTIGATION OF THE ECCENTRIC BINARY SYSTEM ZTFJ200601.96+315223.3" // THE THIRD INTERNATIONAL FORUM PHYSICS – 2024 April 23-25, 2024, Samarkand, Uzbekistan BOOK OF ABSTRACTS Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of Uzbekistan, Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of Sciences, 2024. Pages 36. <https://zenodo.org/records/21282232>
7. **F.B. Xamrakulov**, O.A. Burxonov, R.G.Karimov. Ekssentrik binarlarning apsidal harakati // Материалы международной недели инновационных инсайтов под лозунгом "Формируя будущее науки и техники" в рамках молодёжной конференции на тему "Роль молодежи в развитии науки и образования Нового Узбекистана" (1-3 ноября 2023 г.). O'zR FA, Birlashgan kasaba uyushma qo'mitasi, Yosh olimlar kengashi. –Toshkent: O'zR FA, 2023, стр.-149. <https://zenodo.org/records/21282268>
8. **Khamrakulov F.**, Burxonov O., Karimov R. Ekssentrik orbital qo'shaloq tizimlarning apsidal o'qining harakati tahlili: ZTFJ200601.96+315223.3 va ZTFJ200519.89+321314.3 // Улугбековские чтения-5, Ташкент-2023, стр.-152. <https://zenodo.org/records/21282297>
9. М.Т.Парманова, О.А.Бурхонов, **Ф.Б.Хамракулов**. ТЎСИЛУВЧАН ҚЎШАЛОҚ ЗТФ235803 ЮЛДУЗИ КУЗАТУВЛАРИНИНГ ДАСТЛАБКИ НАТИЖАЛАРИ // «Фан, таълим ва ишлаб чиқаришни ривожланишида ёш олимларнинг ўрни» Республика илмий ва илмий-назарий анжуман материаллари (2022 йил 30 сентябрь) = Труды республиканской научной и научно-теоретической конференции «Роль молодежи в развитии науки, образования и производства» ЎзР ФА, Бирлашган касаба уюшма қўмитаси Ёш олимлар кенгаши. –Тошкент: ЎзР ФА, 2022. стр.-313 <https://zenodo.org/records/21280614>
10. **F.B. Xamrakulov**, X. Rashidov, T.A. Alimov "δ SCUTI TIPIDAGI V1821 CYG YULDUZINING FOTOMETRIK TAHLILI" // ФИЗИКА ФАНИНИНГ РИВОЖИДА ИСТЕЪДОДЛИ ЁШЛАРНИНГ ЎРНИ (РИАК-XIV-2021) Республика илмий анжуман материаллари тўплами. Ўзбекистон Миллий университети, 2021. стр.-152.

<https://zenodo.org/records/21282349>

Avtoreferat “Iqtisod va moliya” nashriyotida tahrirdan o‘tkazildi.

Bosishga ruxsat etildi: 16.06.2026.
Bichimi: 60x84 1/8 «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,5. Adadi: 100. Buyurtma: № 118.