«8D05307 – Физика және астрономия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған диссертациялық жұмысқа (мақалалар сериясы)

АҢДАТПА

Габитова Ильфа Азаматовна

Ве-жұлдыздарындағы жұлдызмаңайлық заттың құрылымы мен эволюциясы

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмысқа (мақалалар сериясы) классикалық Ве-жұлдыздардың жұлдыз маңындағы дискілерінің құрылысы мен эволюциясы Доплер томографиясы арқылы екі қос жұлдыз жүйесі: κ Draconis және HD 698, үлгісінде зерттеледі; бұл жүйелерде, шамасы, серіктес жұлдыздармен өзара әрекеттесудің салдарынан осьтік симметриялы емес дискілер байқалады. κ Draconis — Hα сызығындағы V/R шыңдарының қатынасының фазалық өзгергіштігі бар, жақсы зерттелген қос жүйе; ал HD 698 ұзақ уақыт бойы қара құрдымы бар жүйе кандидаты саналып келді. Алайда, тек жақында ғана, қабығы жұлынған, кеңею сатысындағы серіктес жұлдыздың бары расталды. Екі жүйе де Ве-жұлдыз дискілеріне серіктестердің ықпалын зерттеу үшін бірегей нысандар болып табылады.

Зерттеудің өзектілігі

Классикалық Ве-жұлдыздар – B спектрлік класты жұлдыздар, тез айналатын және кеплер газдық дисктермен қоршалған жұлдыздар. Бұл дисктер бальмердің екі шыңды эмиссиялық сызықтарын тудырады, олар шыңдар қатынасының (V/R) өзгергіштігін көрсетеді. Оқшауланған Ве-жұлдыздарда V/R ұзақ мерзімді циклдері жиі прецессиялайтын бір иінді тығыздық толқынымен түсіндіріледі (Okazaki, 1997). Алайда көптеген Ве-жұлдыздар қос жүйелерде орналасқан, және олардың бірқатары орбиталық периодпен фазалық синхрондалған V/R өзгергіштігін көрсетеді. Мысалдар ретінде 4 Hercules (Koubský et al., 1997), π Aquarii (Bjorkman et al., 2002) және κ Draconis (Saad et al., 2005) келтіруге болады. Бұл жағдайлар Okazaki, 1997 прецессия моделесімен сипатталмайды және серіктің тікелей гравитациялық ықпалын болжайды.

Егер V/R өзгергіштігі орбиталық периодпен синхрондалса, асимметрия, ықтимал, табиғи дискілік құрылымнан гөрі приливтік немесе радиациялық әсерлермен түсіндіріледі. Дәстүрлі спектроскопия бұл өзгерістерді қадағалап, диск кинематикасына шектеулер қоюға мүмкіндік береді, бірақ сәулеленудің негізіндегі геометрияны оқшаулай алмайды. Гидродинамикалық үлгілер құрылымды модельдей алады, алайда есептеу құны жоғары және шешімдері вырожденген. Доплерл томография деректерге негізделген тікелей балама ұсынады.

Марш пен Хорн (1988) ұсынған доплерлік томографиясы, фазалық айырыммен алынған спектрлерді пайдаланып жылдамдықтар кеңістігіндегі сәулеленудің екі өлшемді картасын реконструкциялайды. Ол айналатын санақ жүйесінде сызықтық сәулелену аймақтарын бейнелейді. Әдіс толық спектрлік уақыттық қатарды жылдамдықтар кеңістігіндегі сәулелену таралуы ретінде реконструкциялайды әрі физикалық модельдеудің есептік шығынын талап етпейді. Белгілі орбиталық параметрлерді ескергенде, томография тиімді әрі жүзеге асыруы қарапайым.

Томографияның классикалық Ве-жұлдызға алғашқы қолданылуы π Aquarii (Zharikov et al., 2013) объектісіне қатысты болды, ол 84 күндік орбитасы бар қос жұлдыз. Hα спектрлерінің 40-тан астам орбиталық циклдары негізінде асимметриялық эмиссиялық сақина мен жарық дақ көрсетілген томограмма жасалды. V/R периодтылығы орбиталық периодпен (~84,2 күн) сәйкес келді, бұл асимметрияның орбиталық синхронизациясын дәлелдейді. Бұл тығыздықтың күшеюі еркін прецессияланбай, серікпен бірге айналатынын растады.

Осы жұмыста әдіс басқа қос Ве-жүйелерге таратылды. κ Draconis (P = 61,55 тәулік) жүйесінде томографиямыз дисктегі заттың тығыздығы артқан аймаққа сәйкес келетін эмиссия аймағын айқындады, ол V/R тербелістерін туындатады. Он жылдық мониторинг V/R тербелістері диск диссипацияланып, іс жүзінде жоғалғаннан кейін де орбиталық периодпен фазалық синхрондалған күйде сақталғанын көрсетті. Біздің талдауымыз (Gabitova et al., 2024) диссипация кезінде диск кескіндерін де реконструкциялады, бұл томографияның уақыт өте келе диск құрылымының өзгерістерін қалай қадағалай алатынын көрсетеді.

HD 698 (V742 Cassiopeia), 56 тәуліктік қос Ве-жүйе, бұрын қара құрдым бар деп болжанған. Интерферометриялық өлшемдер (Rivinius et al., 2025) мұнда қабығы сыпырылған, кеңею сатысындағы серіктің бар болуы мүмкін екенін көрсетті. Бұл диссертациялық жұмыста дисктегі серіктен туындаған мүмкін бұзылуларды зерттеу үшін томография әдісі қолданылды. Нәтижелер серіктің жылдамдықтарымен байланыса қозғалатын бірегей қосымша эмиссия көзінің барын, ал оны алып тастағаннан кейін орбиталық периодпен де қозғалатын, болжамды екі иінді құрылымды көрсетеді.

Доплерлік томография қос Ве-жұлдыздардағы диск асимметриясын модельден тәуелсіз түрде анықтауға және сипаттауға мүмкіндік береді. Теориялық үлгілерден айырмашылығы, ол эмиссиялық құрылымдарды тек спектрлік деректердің өзінен, диск тығыздығы немесе қозу модалары туралы жорамалдарсыз реконструкциялайды. Томография нәтижелері табиғаты жағынан бақылауларға қайшы келе алмайды және есептеулердің ең аз көлемін қажет етеді.

Бұл әдіс тиімді: оған интерферометрия, рентгендік сәулелену немесе модельдеу қажет емес. Орбиталық параметрлері белгілі және спектрлердің уақыттық қатары бар кез келген қос Ве-жұлдыз талдана алады..

Томография сәулелену аймақтарын тиімді локализациялауға және орбиталық периодпен қозғалатын құрылымдарды айқындауға мүмкіндік

береді. π Aquarii жүйесінде (Zharikov et al., 2013) томограмма диск түзілуіндегі серіктің рөлін растады. κ Draconis және HD 698 жүйелерінде біздің карталар серіктер туындатқан бұзылыстардың айқын белгілерін көрсетеді.

Бұл нәтижелер қос Ве-жүйелерінде диск құрылымын қалыптастыруда серіктердің әсері маңызды рөл атқара алатынын қуаттайды. Дисктер серікпен болған өткен және ағымдағы өзара әрекеттесулердің ізі сақталатыны көрсетілді. Томография теория мен бақылауды тоғыстырып, дискілік құрылымдардың қалай эволюцияланатынын және қос жұлдыздар динамикасына қалай жауап беретінін айқындайды.

Қорытындылай келе, Доплерлік томография қос Ве-жұлдыздардағы жұлдыз маңы дисктерін карталауға арналған пайдалы құрал болып табылады. Ол өзге әдістерді толықтырады және жүйелер арасында статистикалық салыстырулар жүргізуге мүмкіндік береді. Қос жұлдыздардың көбірек зерттелуі арқылы, әсіресе қос Ве-жұлдыздарының эволюциясы контекстінде, дисктердің мінез-құлқын түсіну тереңдей түседі.

Жұмыстың мақсаты Ве-жұлдыздардағы серік пен диск арасындағы өзара байланысты анықтау: V/R фазалық синхрондалуын тексеру, орбиталық/геометриялық параметрлерді нақтылау және зат құрылымын жылдамдықтар кеңістігінде визуализациялау.

Зерттеу міндеттері

1. Тиісті спектрлік сызықтар үшін V/R қатынасын өлшеп, оның орбиталық қозғалыспен байланысын анықтау.

2. Радиалдық жылдамдық қисықтары мен сызық профильдерін модельдеу арқылы зерттелетін жүйелердің іргелі параметрлерін айқындау.

3. Серік жұлдыздың ықпалындағы дискілік құрылымдарды анықтау және сипаттау үшін Доплерлік томограммаларды құрастыру және талдау.

Зерттеу нысандары: κ Draconis және HD 698 Ве-жұлдыздары

Зерттеу әдістері:

1. IRAF пакетін және Python скрипттерін (жалпыға қолжетімді және өздігінен жазылған) пайдаланып, эшелл спектрлерін өңдеу.

2. Жұтылу сызықтарының спектрлік сипаттамаларын таңдалған аймақтарды үлгілермен айқыш-корреляциялау арқылы өлшеу; белгісіздіктерді корреляция шыңының ені бойынша Tonry–Davis R-статистикасымен бағалау.

3. Шығару сызықтарының спектрлік сипаттамаларын қос гаусс «қанаттары» әдісімен немесе биссектриса әдісімен өлшеу.

4. RV және V/R қатарларындағы периодтылықты Ломб–Скаргл және фазалық дисперсия әдістерімен іздеу, сондай-ақ орбиталық фазалар бойынша бүктеу.

5. Орбиталық параметрлерді анықтау үшін RV қисықтарын модельдеу.

6. Негізгі сызық профилін бөліп көрсету мақсатында доплерлік ығысуы бар гаусс функциялары түріндегі сызық компоненттерін модельдеу және шегеру.

7. Доплер томограммаларды энтропияны максимизациялау әдісімен реконструкциялау (dopmap бағдарламасы).

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар:

1. κ Draconis нысанында Hα желісінің шыңының қатынасының (V/R) орбиталық кезеңмен фазалық синхронизациясы, дисктің максималды сәулеленуінен толық жоғалуына дейінгі барлық таралу кезеңінде, серіктес жұлдыздың жұлдызаралық дискке әсер етуінен болады.

2. Допплерлік томография нәтижелері бойынша, бұл фазалық синхрондалған шың қатынасы сыртқы дисктегі, әрқашан серіктес жұлдызға бағытталған жарқын сәуле шығаратын аймақтан туындайды. Бұл аймақ серіктес жұлдыздың тасқындық немесе радиациялық әсері нәтижесінде пайда болып, диск радиусы ~64 $R_{\odot}$-ден ~30 $R_{\odot}$-ге дейін қысқарған кездегі, дисктің таралуының тіпті кеш сатыларында да жоғалып кетпейді.

3. HD 698 нысанында, Hα желісінің профиліндегі сәулеленудің орталық шыңы жұлдызаралық дискке емес, динамикалық массасы 1.1±0.2 $M_{\odot}$ болатын серіктес жұлдыздың жылдамдығына жақын жылдамдықпен қозғалатын қосымша сәулелену көзіне байланысты.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

1. Алғаш рет доплер томограммалар арқылы κ Draconis Be-жұлдызы дискісінің толық диссипация оқиғасы зерттелді.

2. Алғаш рет HD 698 жүйесінде серікпен бірге қозғалатын Hα эмиссиясының тар компоненті идентификацияланып, кинематикалық тұрғыдан сипатталды.

3. HD 698 жүйесіндегі серіктің массасына (RV, томография) қатысты алғашқы тікелей, өзара-сәйкес шектеулер алынды; бұлар осы жүйе үшін бұрын ұсынылған қара құрдым сценарийін терістеп, орнына қабығы сыпырылған, кеңіген серік гипотезасын растайды.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Нәтижелер Be-жұлдыздардың серіктері жұлдыз маңы дисктерінің осьсимметриялы емес құрылымының қозғаушы күші бола алатынын көрсетеді. V/R өзгергіштігінің орбита фазасымен байланысы орнатылды және серікке қараған диск бөлігі Доплерлік томография көмегімен карталанды, осылайша Кеплерлік модель шеңберінде дискіні қырқу сценарийлеріне, құрылымның өзгерісіне және ағын ықпалына шектеулер қоюға мүмкіндік берілді. Іс жүзінде жұмыс стандартталған сызық өлшемдерін, периодтық сигналдарды талдауды, фаза-айырымды томографияны және, қажет болғанда, қосымша сәулеленіске қатысты сызық компоненттерін мақсатты түрде шегеруді қамтитын, параметрлері толық құжатталған және өзге қос Be-жұлдыздарға да қолдануға болатын қайта өндірілетін әдістемені ұсынады.

Автордың жеке үлесі

Зерттеу нәтижелері тікелей ізденушінің өзімен алынды. Мақсаттар мен міндеттерді қою, сондай-ақ зерттеуді жүргізу ғылыми жетекшілердің қадағалауымен жүзеге асырылды. Жарияланымдарға қосқан үлес әр мақала соңындағы «Авторлардың үлесі» бөлімінде көрсетілген.

Нәтижелердің дұрыстылығы

Нәтижелердің сенімділігі келесімен қамтамасыз етіледі: калибрленген орталық толқын ұзындықтары бойынша әр түрлі күндері әр түрлі аспаптарда орындалған спектроскопия; RV және V/R өлшемдерінің қайталанғыштығы; RV және V/R қатарларында бірдей орбиталық периодтың табылуы; алдыңғы зерттеулермен үйлесетін бірізді нәтижелер; бейнеленген құрылымдардың геометриялық және кинематикалық сәйкестігі қос жұлдыздар динамикасымен; параметрлер ауқымына сәйкестігін және балама сценарийлерді тексеру сынақтары; эфемеридтерді, өлшеу терезелерін және Доплерлік реконструкция баптауларын толық құжаттау, бұл алынған графиктерді дәл қайта өндіруге мүмкіндік береді.

Жарияланымдар

Негізгі нәтижелер 3 ғылыми мақалада жарияланды, соның ішінде:

Thomson Reuters дерекқоры бойынша жоғары импакт-факторлы немесе халықаралық Scopus ғылыми дерекқорына кіретін басылымдардағы мақалалар:

1. **Gabitova I. A.**, Zharikov S. V., Miroshnichenko A. S., Carciofi A., Khokhlov A. A., Agishev A., and Prendergast P. Doppler Tomography of the Be Star HD 698 //Galaxies. – 2025. – Vol. 13. – № 4. DOI: 10.3390/galaxies13040080. (**Journal Impact Factor – 3.8, WoS – Q2, Scopus – 74**)

2. **Gabitova I. A.**, Miroshnichenko A. S., Zharikov S. V., Amantayeva A., and Khokhlov S. A. Doppler Tomography of the Circumstellar Disk of the Be Star κ Draconis //Galaxies. – 2024. – Vol.12. – №3. DOI: 10.3390/galaxies12030023. (**Journal Impact Factor – 3.8, WoS – Q2, Scopus – 74**)

3. Miroshnichenko A. S., Chari R., Danford S., Prendergast P., Aarnio A. N., Andronov I. L., Chinarova L. L., Lytle A., Amantayeva A., **Gabitova I. A.**, Vaidman N. L., Baktybayev S. S., and Khokhlov S. A. Searching for Phase-Locked Variations of the Emission-Line Profiles in Binary Be Stars //Galaxies. – 2023. – Vol.11. – №4. DOI: 10.3390/galaxies11040083. (**Journal Impact Factor – 3.2, WoS – Q2, Scopus – 66**)

Жұмыстың апробациясы

Осы жұмыста алынған нәтижелер баяндалды және талқыланды:

– халықаралық ғылыми конференция «Hot Stars: Life with Circumstellar Matter» (2024 ж., Алматы, Қазақстан);

– 23-ші Гамов халықаралық астрономия конференциясы «Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Astroparticle Physics, Radioastronomy, Astrobiology and Genetics» (2023 ж., Одесса, Украина).

Зерттеу тақырыбының ғылыми-зерттеу жоспарларымен байланысы

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» бойынша іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарларына сәйкес мына тақырып аясында орындалды: «AP23484898 – Галактикалық ыстық аса алыптардың іргелі параметрлерін анықтаудың заманауи әдісін дамыту».