«6D061100 – Физика және астрономия» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған Кенжебекова Ақмарал Игілікқызы
«**Ақ ергежейлі жұлдыздардың айналасындағы тозаңды бөлшектердің динамикасы: орбиталды эволюция және атмосферадағы диффузия**»
диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмыс ақ ергежейлі жұлдыздардың атмосферасын сыртқы көздерден ауыр элементтермен байыту мәселесі аясында ақ ергежейлі жұлдыздардың сублимация аймағындағы силикат және графит құрамды тозаңды бөлшектерінің динамикасын модельдеуге арналған.

Тақырыптың өзектілігі

Жұлдыздар айналасындағы Күн жүйесінен тыс планеталық жүйелерді зерттеу қазіргі астрофизикадағы іргелі ғылыми мәселе болып табылады. Мұндай жүйелер экзопланеталық деп аталады және оларды COROT (конвекциялық айналу және планеталық транзит), NASA қауымдастығы (Ұлттық аэронавтика және ғарыш басқармасы) Kepler, WISE (Wide-field infrared survey Explorer), TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite)) және GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) жобалары аясында бақылап, олардың қасиеттерін заманауи спектрометриялық және фотометриялық әдістерді қолдана отырып зерттеу жұмыстары ғылымға үлкен үлес қосады. Қазіргі уақытта экзопланеталық материалдың құрамын зерттеудің тура әдісі ақ ергежейлі жұлдыздардың металлдармен ластануын талдау болып табылады. Себебі, ақ ергежейлілердің төрттен бірінен астамы жұлдыздың күшті тартылыс күші әсерінен тозаңды–түйіршікті материалдарды атмосферасына жинайды. GAIA миссиясының бақылауларына сәйкес, 500-ден астам ақ ергежейлі жұлдыздардың спектрінде сілтілі металдар мен басқа да ауыр элементтердің іздері табылған. Алайда, олардың тек 4% -ға жуық мөлшерінде ғана ақ ергежейлі жұлдыздарда тозаңды бөлшектерінен инфрақызыл (ИК) сәулеленудің артық мөлшері байқалады, бұл жұлдыз айналасында тозаңды дискінің бар екендігін көрсетеді. Сондықтан жұлдыз эволюциясының соңғы кезеңдерінде орбиталар бойымен оның маңайынан шығып кеткен сыртқы материяның жинақталуы мәселесі туындайды. Дегенмен, соңғы уақытта ақ ергежейлілердегі металдардың ластануы және олардың қоршаған планеталық жүйелермен байланысы туралы дәлелдер өсуде.

Эволюция теориясына сәйкес, массасы Күн массасына жуық болып келетін барлық жұлдыздар өз эволюциясын ақ ергежейлілер ретінде аяқтайды. Әрине, бұл жұлдыздардың қатарына біздің Күн де жатады, сондықтан ақ ергежейлілер нақты уақыт кезеңінде Күн жүйесінің эволюциясын зерттеуде негізгі зерттеу объектілері болып табылады. Екінші жағынан, металдармен ластанған ақ ергежейлілерді зерттеу күн жүйесінен тыс планеталық жүйелердің қасиеттері мен химиялық құрамын анықтауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, ақ ергежейлі жұлдыздар айналасындағы тозаңды бөлшектерінің өмір сүру уақыты, тозаңды диск құрылымы мен эволюциясы сияқты кейбір мәселелер әлі де өзекті болып қала береді.

Біздің зерттеу есебіміз - сыртқы тозаңды бөлшектердің жұлдыздың бетіне аккрециялану нәтижесінде жұлдыздың атмосферасын ауыр элементтермен - металдармен байытуға алып келетін тозаңды бөлшектердің динамикасын модельдеу.

Сонымен, жоғарыда айтылғандардың негізінде диссертациялық жұмыс металдармен ластанған ақ ергежейлі жұлдыздар айналасындағы тозаңды бөлшектерінің динамикасын зерттеуге арналған.

Диссертацияның басқа ғылыми жобалармен және әзірлемелермен байланысы. Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің ғылыми-зерттеу жобалары жоспарларына сүйене отырып, келесі басымдықтар бойынша жүзеге асырылды: Гранттық қаржыландыру тақырыбы бойынша жаратылыстану ғылымдары саласындағы ғылыми зерттеулер: ИРН AP08956243 «Шағын денелердің апатты термиялық жойылу теориясына негізделген экзопланетарлық жүйелерге арналған FEB сценарийі», орындалу уақыты 2020 – 2021жж., мемлекеттік тіркеу №0120РК00267. Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2018-2020 жылдарға арналған BR05236322 мақсатты қаржыландыру бағдарламасы бойынша және Қазақстан Республикасы Қорғаныс және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігі Аэроғарыш комитетінің 2018-2020 жылдарға арналған BR05336383 нысаналы ғылыми-техникалық бағдарламасы бойынша жасалған бұрынғы әзірлемелермен байланысты; ИРН BR18574080 – «Қазіргі заманғы энергетика мәселелерін шешу және жаңа функционалдық материалдар алу мақсатында плазма физикасының, плазма тәрізді орталардың іргелі және қолданбалы мәселелерін зерттеу» 2018-2020 жж.

Жұмыстың мақсаты – сыртқы тозаңды бұлтындағы бөлшектердің жұлдыздың бетіне жиналу процесі кезіндегі олардың орбиталық қозғалысын модельдеу арқылы буланатын тозаңды бөлшектерінің динамикасын зерттеу.

Есепті шешу үшін сыртқы заттардың белгілері бар екі жұлдыз таңдалды:

1) беттік температурасы шамамен 11600 К ақ ергежейлі жұлдыз G29-38, инфрақызыл артық сәулелену бар;

2) суық ергежейлі жұлдыз WDJ1644–0449 – температурасы 3800 К, онда литий және басқа сілтілі металдардың спектрлік сызықтары анықталған, бірақ инфрақызыл артық сәулеленуі жоқ.

Диссертацияның мақсатына жету үшін келесі зерттеу міндеттері шешіледі:

1. 0.01 мкм-ден 100 мкм-ге дейінгі өлшем диапазонындағы силикатты және графит құрамдағы тозаңды бөлшектер үшін сәуле шығару толқын ұзындығына, материал мен бөлшек радиусына байланысты Ми теориясын қолданып, жұтылу мен радиациялық қысым коэффициенттерін есептеуді орындау.

2. Тозаңды бөлшектерінің жылу балансының есептеулеріне сүйене отырып, олардың радиусына, материалына және жұлдызға дейінгі қашықтыққа және басқа да байланысты параметрлерге байланысты бөлшектердің қызу температураларын анықтау. Тозаңды бөлшектердің жылулық тепе-теңдігін есептеу кезінде жұлдыздың сәулеленуінің және тозаңды бөлшектердің жылулық сәулеленуінің моделі ретінде Планктың сәулелену теориялық функциясы қолданылады.

3. Ми теориясы бойынша есептеу нәтижелері бойынша алынған орташа радиациялық қысым коэффициентінің мәліметтерін қолданып, жұлдыздың радиациялық қысымының тозаңды бөлшектерге әсерін және әр жұлдызға қатысты радиациялық қысым күшінің гравитациялық күшке қатынасының тозаңды бөлшектің радиусы мен материалына әсерін зерттеу.

4. Бөлшектердің динамикалық эволюциясына талдау жасау. Ол үшін тозаңды бөлшектің қозғалысының дифференциалдық теңдеулер жүйесі және бөлшектің булану теңдеуі өзара шешіледі және экзопланеталық жүйедегі тозаңды бөлшектің қозғалыс траекториясы әрбір жұлдыздың массасы, радиусы және беттік температурасына сәйкес есептеледі.

5. Металлмен ластанған ақ ергежейлі жұлдыздар атмосферасындағы диффузия коэффициентін Чепман-Энског әдісін қолданып, есептеу.

Зерттеу объектісі. Ақ ергежейлі G29-38, салқын ергежейлі WD J1644–0449 астрофизикалық объектілердің жанында орналасқан тозаңды бөлшектер.

Зерттеу пәні. Зерттелетін жұлдыздардың жанындағы сублимация аймағындағы тозаңды бөлшектердің орбиталық эволюциясы және жұлдыз атмосферасындағы диффузия.

Зерттеу әдістері. Осы мақсатқа жету үшін қажетті есептерді шешу кезінде ақ ергежейлілердің сублимация аймағындағы базальт және графит тозаңды бөлшектерінің температуралық балансы мен орбиталық эволюциясына есептеулер жүргізілді. Сфералық тозаңды бөлшектердің сәулеленумен әрекеттесуін сипаттайтын параметрлер графит пен базальт бойынша тәжірибелерден алынған комплексті сыну көрсеткіштері негізінде Ми теориясы бойынша есептелді. Диффузия коэффициентін есептеуде Чепман-Энског әдісі мен бөлшектердің өзара әсерлесу моделі қолданылды.

Жұмыстың жаңашылығы. Осы диссертация аясында G29-38 және WDJ1644–0449 ақ ергежейлі жұлдыздар маңайындағы тозаңды бөлшектері үшін алғаш рет келесі нәтижелер алынды:

- базальт және графит бөлшектерінің бөлшектің радиусы мен жұлдызға дейінгі қашықтыққа байланысты температуралық таралуы алынды;

- бөлшектердің динамикалық эволюциясының есептеулері тозаңды бөлшектердің қозғалыстың дифференциалдық теңдеулер жүйесін және булану теңдеулерін шешу негізінде орындалды. 0.01 мкм-ден 100 мкм-ге дейінгі радиус диапазонындағы тозаңды бөлшектерінің траекториясын есептеу сублимация процесі кезінде бөлшектердің толық буланууына қол жеткізгенге дейін екі экзопланетарлық жүйеде орындалды. Дөңгелек және параболалық орбиталар үшін есептеулер жүргізілді;

- әрбір жұлдыз үшін базальт және графит бөлшектерінің толық булану аймақтарының шекаралары алынды.

- параболалық орбиталарда қозғалатын микрондық өлшемдегі тозаңды бөлшектер суық ергежейлі WD J1644-0449 бетіне толық буланууға жетпей тікелей түсуі мүмкін.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы. Алынған нәтижелер ақ карликтердің атмосферасын сыртқы көздерден ауыр элементтермен байыту мәселесін шешуге елеулі үлес қосады және экзопланетарлық жүйелерді зерттеуде, сондай-ақ ақ және қоңыр ергежейлі жұлдыздар мен алып планеталардың, нейтрондық жұлдыздардың және т.б. астрофизикалық объектілердің эволюциясын түсіну үшін пайдаланылуы мүмкін. Ақ ергежейлілердің атмосферасындағы диффузияны зерттеу ақ ергежейлілердегі ыстық тығыз материяның динамикалық және тасымал қасиеттерін анықтауға мүмкіндік береді.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

1. Параметрлері GAIA Data Release 2 алынған G29-38, WDJ1644-0449 ақ ергежейлілердің айналасында дөңгелек орбиталармен қозғалатын $0.1 \div 100$ микрон өлшемді тозаңды бөлшектері өлшемі келесідей тозаңсыз аймақтар түзіледі: графит бөлшектері үшін - G29-38 жұлдызынан $0.16 R_{\odot}$ және WDJ1644-0449 жұлдызынан $0.0195 R_{\odot}$, базальт бөлшектері үшін - G29-38 $0.52 - 0.65 R_{\odot}$ және WDJ1644-0449 жанынан $0.039 R_{\odot}$.

2. Параболалық орбиталармен қозғалатын бастапқы радиусы 300 мкм-ден асатын базальт материалының тозаңды бөлшектері және радиусы 0.3 мкм-ден үлкен графитті тозаңды бөлшектер толық буланбай, тікелей суық ергежейлі WD J1644-0449 бетіне түседі.

3. Ақ ергежейлі жұлдыздар атмосферасындағы идеалды емес параметрі $\Gamma < 1$ аймақта көміртекті материал диффузиясы кремний диффузиясына қарағанда 10 есе жылдамырақ жүреді.

Автордың жеке үлесі – Автор ғылыми кеңесшілермен бірлесе отырып, зерттеу мәселесін тұжырымдауға, сандық есептеулер жүргізуге, салыстырулар жасап, алынған нәтижелерді талдауға, қорытындылар дайындауға, нәтижелерін халықаралық конференцияларға ұсынуға, жұмыс нәтижелерін баспаға дайындауға тікелей қатысты.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі.

Диссертациялық жұмыста белгілі физикалық модельдер мен дәлелденген математикалық әдістер қолданылды. Сондай-ақ, алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі шет елдердің импакт-факторлары бар журналдарында және ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда және жақын және алыс шет елдердің халықаралық ғылыми конференцияларының еңбектерінде жарияланған жарияланымдармен расталады.

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер талқыланды:

– «Иондалған газдардағы құбылыстар бойынша XXXIV халықаралық конференция» халықаралық конференциясында (2019 ж., Саппоро, Жапония);

– «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясында (2019, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы);

– «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясында (2020, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы);

Халықаралық ынтымақтастық аясында профессор С.А. Майоров (Ресей), жетекші ғылыми қызметкер Серебрянский А.В. (Қазақстан, В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты) тағылымдама бағдарламасы аясында талқыланды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс материалдары негізінде 6 баспа жұмысы жарияланды: PhD ғылыми дәрежесін алу үшін диссертациялардың негізгі нәтижелерін жариялау үшін ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 5 мақала және 1 мақала Web of Science (Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурстарына кіретін импакт-факторы жоғары журналдар бойынша – 1 мақала және халықаралық ғылыми конференциялар жинақтарында – 5 тезис бар.

Clarivate Analytics және Scopus халықаралық ғылыми ақпараттық ресурстарына кіретін импакт-факторы жоғары журналдар бойынша:

1. Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Kenzhebekova A.I. On the survival of dust grains in the sublimation zone of cold white dwarfs // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2022. – Vol.514(1). – P.997-1005.

ҚР ҒжЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдар бойынша:

1. Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Kenzhebekova A.I. Dynamics of dust grain in the sublimation zone of cold white dwarfs // Reports of the NAS of the republic of Kazakhstan - 2022. - Vol.1 (341). – P. 130-136.
2. Шестакова Л.И., Кенжебекова А.И. Сублимация пылевых частиц вблизи белого карлика G29-38 // Известия НАН РК, серия физико-математическая. - 2021. - №3 (337). – С. 156 – 166.
3. Kenzhebekova A.I.,Bastykova N.K, Kodanova S.K., Ramazanov T.S., Maiorov S.A., Moldabekov Z.A. Destruction of a dust particle in the white dwarf atmosphere // The Japan Society of Applied Physics- 2020. – Vol. 59(4). - SHHA04.
4. Skvortsova N. N., Maiorov S. A., Malakhov D. V., Stepakhin V. D., Obraztsova E. A., Kenzhebekova A.I. Shishilov O. N. On the dust structures and chain reactions induced over the regolith by gyrotron radiation // JETP Letters. – 2019. –Vol.109. (7). – P. 441-448.
5. Кенжебекова А.И., Коданова С.К. О левитации пыли над поверхностью Луны // Вестник КазНУ, серия физическая. - 2019. - №2(69). – С. 47-52.

Диссертациялық жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан және 163 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады, негізгі компьютерлік мәтіннің 90 бетін, оның ішінде 37 сурет пен 5 кестені қамтиды.