«8D05307– Физика және астрономия» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

Омар Аружан Жеңісханқызы

Жұлдызаралық бұлттағы жұлдыз түзуші аймақтарының молекулалық сызықтар бақылаулары

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. О типті жұлдыздар массасының жартысына жуығы, бас тізбекте орналасқаннан кейін де, ультракүлгін (УК) фотондарының көп мөлшерін шығару кезінде акрецияланады. Иондалған сәулеленуге қарамастан, үлкен массалы жұлдыздардың аккрециялануы әлі де толық зерттелмеген. Айналмалы ядроның бұрыштық моментіне ағынның ішке ағылуының бағыты перпендикулярлы орналасқан және алғашқы кезең гиперкомпактілі (ГК) HII аймағы иондалған биконикалық қуыстан, айналмалы жиырылатын молекулалық ядромен қоршалған деген тұжырым бар. Сол себепті біз ГК HII аймақтарын, ыстық айналмалы молекулалық ядролармен қоршалғанын дәлелдеу мақсатында, Чилида орналасқан жоғары жиілікті және жоғары бұрыштық ажыратымдылықпен Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) Band 6 радиотелескоптар комплексімен бақыланған, жоғары массалы жас жұлдыздар объектілері G345.0061+01.7944B, G333.0162+00.7615 және G337.4032-00.4037 нысандарының радиоастрономиялық бақылауларын қарастырдық. Молекулалық газдың құрылымы мен физикасын түсіндіру үшін, 3000 а.б. масштабқа сәйкес айналмалы ядролардың SO2 304,26-303,27, 324,28-323,29 және CH3CN 14-13 жоғары энергетикалық ауысуларының жылдамдық градиенттері анықталды. Жұлдызаралық ортаның физикалық және кинематикалық сипаттамалары үшін H29α радио рекомбинация сызықтарымен тіркелетін иондалған газдың бақылаулары зерттелінді.

Тақырыптың өзектілігі. Жұлдыздардың пайда болуы жұлдызаралық молекулалық бұлттарда жүреді, сол себепті жұлдыз түзу аймақтарының ерте кезеңдерін зерттеу – өте маңызды әрі өзекті. Ол жұлдыз эволюциясының циклін түсінуге, ал ол өз кезегінде ғаламның құрылымы мен динамикасын түсінуге көмектеседі. Күрделі кешенді молекулалар тобына жататын метил цианиді CH_3CN және күкірт диоксиді SO_2 молекулалары жұлдыз түзу аймақтарын зерттеуде, астрохимиямен байланысты зерттеулерде маңызды қызығушылық тудыратын негізгі молекулалар болып табылады. Олар жұлдыздың туылған жері болып табылатын, тығыз молекулалық аймақтардың қайнар көзінде кездеседі. Олар жұлдыз түзілуі белсенді жүретін газ тығыздығы жоғары аймақтарда көп таралғандықтан, осы орталарда болып жатқан химиялық процестер туралы құнды түсініктер береді. Бұл молекулаларды бақылау мен зерттеу – ғарыштағы күрделі органикалық молекулалардың синтезделу жолдарын түсіндіреді. CH_3CN және SO_2 молекулалық сызықтары радиотолқын аралығында байқалатын көптеген айналыс пен тербеліс ауысуларын көрсетеді. Эмиссия сызықтарын

зерттей отырып, астрономдар жұлдыз түзетін аймақтардағы молекулалық газдың параметрлері, химиялық құрамы, кинематикасы мен динамикасын анықтай алады.

Жұмыстың мақсаты. ГК HII аймақтарымен шектелген айналмалы ыстық ядролардың молекулалық газ құрылымын, метил цианиді CH_3CN және күкірт диокисді SO_2 молекулаларының интегралданған қарқындылық пен жылдамдық таралуларымен сипаттау, газ қозғалысының кинематикасы мен динамикасын жылдамдық градиенттерімен түсіндіру. Радио рекомбинация сызығы H29α мен континуум бақылаулары арқылы иондалған газ аймағының эволюциясы мен физикалық параметрлерін анықтау.

Зерттеу міндеттері:

1 CH_3CN және SO_2 толқын ұзындығындағы ыстық ядроларды зерттеу үшін жоғары жиілікті, бұрыштық ажыратылымдығы жоғары ALMA радиотелескоптар кешенінің бақылау мәліметтерін бірінші ретті өңдеу мен калибрлеу;

2 Бақылаудың спектрлік терезелерінен әр молекулалық ядро үшін CDMS, JPL астро-спектроскопиялық каталогтарға негізделген, Splatologue мәліметтер базасы арқылы молекулалық сызық түрлерін анықтау, сәулелену сызықтарын зерттеу;

3 G345.0061+01.7944B, G333.0162+00.7615 және G337.4032-00.4037 молекулалық ядроларының интегралданған қарқындылығы мен жылдамдығының карталарын тұрғызу;

4 G345.0061+01.7944B, G333.0162+00.7615 және G337.4032-00.4037 молекулалық ядроларының айналмалы диаграмма әдісі бойынша физикалық параметрлерін анықтау;

5 H29α радиорекомбинациялық сызығының бақылауларын талдау арқылы G345.0061+01.7944B және G337.4032-00.4037 ыстық молекулалық ядролардың маңындағы ГК HII аймағының физикалық параметрлерін анықтау.

Зерттеу объектілері: Жоғары массалы жас жұлдыздар : G345.0061+01.7944B, G333.0162+00.7615 және G337.4032-00.4037 нысандары.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық зерттеуде радиоастрономиялық молекулалық сызықтар мен сутегі рекомбинация сызықтарын континуммен бақылауларының зерттеу әдістері қолданылды. Бұл бақылаулардың мәліметтерін өңдеу мен калибрлеу Common Astronomy and Software Applications (CASA) астрономиялық және бағдарламалық қосымшалардың көмегімен жүзеге асырылып, континуумды CASA uvcontsub көмегімен көрінетін еркін сызықты арналарды таңдаумен шегеріліп, tclean қосымшасында таза континуум суретін алу үшін жасалды. Негізгі өңдеулерді жүзеге асыру үшін, бірегей радиоастрономиялық зерттеулерді өңдеуге арналған Gildas (Class), MAdrid Data CUBe Analysis (MADCUBA), CARTA, бағдарламары пайдаланылды. Соңғы нәтижелерді кескіндеу мен суреттеу Pyhton бағдарламалық тілінде алынды. Спектроскопиялық мәліметтер базасы ретінде Splatalogue, JPL, CDMS каталогтары қолданылады.

Қорғауға ұсынылатын негізгі тұжырымдамалар

1 G345.0061+01.794B ГК HII аймағының радиорекомбинация бақылау нәтижелері орталық жұлдыздың: иондалған газ массасы $(3,6 \pm 0,3)\times10^{-3}$ $M_{\odot}$, электрон температурасы 8094 ± 1534 K, эмиссия өлшемі $(4,6 \pm 0,9)\times10^{8}$ пс $см^{-6}$ және электрон тығыздығы $(2,1 \pm 0,2)\times 10^{5}$ $см^{-3}$ болатын O5.5 типтегі нөлдік жастағы бас тізбек жұлдызына жататынын анықтады.

2 CH_3CN және SO_2 молекула эмиссия сызықтарының бақылаулары G345.0061+01.794B ГК HII аймағының айналмалы қозғалыстағы және массасы 172,8±8,8 $M_{\odot}$ болатын орталық жұлдызға қарай құлап жатқан өте тығыз газбен қоршалғанын көрсетті.

3 Шаң континуумі, молекулалық сызық эмиссиясы және радио рекомбинация сызық эмиссиясы бақылаулары G333.0162+00.7615 аймағында температуралары 300 K айналасында болатын жоғары массалық жұлдыз түзілу аймағының ең ерте кезеңіне жататын екі жаңа ыстық ядроны анықтады.

Жұмыстың **ғылыми жаңалығы**:

1 CH_3CN және SO_2 толқын ұзындығындағы ыстық ядроларды зерттеу үшін алғаш рет жоғары жиілікті, бұрыштық ажыратылымдығы жоғары ALMA радиотелескоптар кешенінің бақылау мәліметтері қолданылды.

2 Бақылаудың спектрлік терезелерінен әр молекулалық ядро үшін CDMS, JPL астро-спектроскопиялық каталогтарға негізделген, Splatologue мәліметтер базасы арқылы молекулалық сызық түрлері анықталды, сәулелену сызықтары зерттелді.

3 G345.0061+01.7944B, G333.0162+00.7615 және G337.4032-00.4037 молекулалық ядроларының интегралданған қарқындылығы мен жылдамдығының карталары тұрғызылды.

4 G345.0061+01.7944B, G333.0162+00.7615 және G337.4032-00.4037 молекулалық ядроларының айналмалы диаграмма әдісі бойынша физикалық параметрлері анықталды.

5 H29α радиорекомбинациялық сызығының бақылауларын талдау арқылы G345.0061+01.7944B және G337.4032-00.4037 ыстық молекулалық ядролардың маңындағы ГК HII аймағының физикалық параметрлері анықталды.

6 Үлкен массалы жас жұлдызды объектілердің қалыптасуы мен кезеңдерін зерттеудің алгоритмі мен әдістері құрылды.

7 Мәліметтерді өңдеу барысында бірегей радиоастрономиялық бағдарламалар қолданылып, бағдарламалық кодтары құрылды.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы. Молекулалық бұлттардағы жұлдыз түзілу аймақтарының радио бақылауларынан алынған нәтижелер, астрономия мен астрофизиканы зерттеудің теориялық және практикалық аспектілерінде қолданылуы мүмкін:

Теориялық модельдерді әзірлеу: жұлдызаралық бұлттағы жұлдыз түзуші аймақтардан пайда болатын жұлдыздардың дамуы мен қалыптасуы туралы тұжырымдарды жетілдіріп, жаңа концепциялардың дамуына ықпал ете алады. Жұлдыздардың пайда болу процестерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Жоғары массалы жұлдыздардың эволюциясын дәлірек анықтауға көмектеседі.

Бақылау бағдарламаларын ұйымдастыру: жұмыстың нәтижелері – молекулалық бұлттардағы жұлдыздардың пайда болуын зерттеуге бағытталған,

бақылау бағдарламаларын ұйымдастыруға негіз болады. Бұл астрономиялық ресурстарды пайдалануды оңтайландыруға және бақылаулардың тиімділігін арттыруға көмектеседі.

Зерттеудің тиімділігі мен дәлдігін арттыру: зерттеу нәтижелерін практикада қолдану – жұлдыздардың пайда болуы мен эволюциясын нақты болжаудың дәлдігін арттырады. Бұл өз кезегінде жұлдыздардың қалыптасу туралы тиімді зерттеулерді қалыптастырады.

Технологиялық дамудың әлеуеті: жұмыс нәтижелері – астрономиялық бақылаулардың технологиялары мен әдістерін дамытуға да ықпал етеді. Бұл жаңа құралдар мен технологияларды әзірлеуді, бағдарламалық орталарда мәліметтер мен деректерді өңдеу әдістерін жетілдіреді.

Автордың жеке үлесі.

Диссертация авторы жұлдыз түзу аймақтарының әдебиеттеріне шолу жасап, жоғары жиілікті ALMA Band 6 жүргізілген бақылау деректерінің мәліметтерін өңдеді. Өңдеу жұмыстары барысында, Gildas, CASA, Madcuba, Carta, DS9 бірегей радиоастрономиялық қолданбалы бағдарламарын меңгеріп, нәтижеледі соңғы суреттеу мен кескіндеу жұмыстары мен HII аймақтарының физикалық параметрлерін есептеу жұмыстарын Python бағдарламалық тілімен орындады. Өңделген мәліметтердің теориялық тұрғыда талдап, құбылыстардың физикасын түсіндірді. Жүргізілген зерттеу бойынша міндеттер мен қорытындыларды, ғылыми кеңесшілерімен бірлесіп орындады.

Нәтижелердің сенімділігі. Жұмыстың ғылыми тұжырымдарының сенімділігі басқа авторлар алған, ұқсас объектілердің табиғаты туралы теориялық үлгілер мен қорытындыларға сәйкестігімен расталады.

Жұмысты апробациялау. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері баяндалды және талқыланды. Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 7 баспа жұмысы жарияланды:

Thomson Reuters дерекқоры бойынша немесе Scopus халықаралық ғылыми дерекқорына кіретін басылымдардағы мақалалар:

1. Komesh T., Garay G., Henkel C.**, Omar A.,** Estalella R., Assembay Z., Li D., et al., Infall Motions in the Hot Core Associated with Hypercompact HII Region G345.0061+01.794 B //The Astrophysical Journal. - 2024.-Т.967.-№.1.-С.15.DOI: 10.3847/1538-4357/ad3e7b [Scopus: 81%, WoS: 82.1%, Q1]

2. Komesh T., **Omar A.,** Garay G., Assembay Z., Alimgazinova N., Zhumabay N., Kyzgarina, M. ALMA observations of the environments of G333. 0162+ 00.7615 //IAU Symposium. – 2023. – Т. 373. – С. 35-38 [Scopus: 1%, Q4].

3. Assembay Z., Komesh T., Garay G., **Omar A**., Esimbek J., Alimgazinova N. ALMA observations of the environments of G301. 1364-00.2249 A //IAU Symposium. – 2024. – Т. 380. – С. 204-206 [[Scopus: 1%, Q4].

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім министрлігі Ғылым комитеті ұсынған басылымдардағы мақалалар:

1. **Омар А.Ж.,** Манапбаева А.Б., Комеш Т., Кызгарина М.Т., Алимгазинова Н.Ш. Aquila молекулалық бұлтының аймақтарын CO таңдамалы диссоциациясы әдісімен зерттеу // Доклады Национальной Академии наук Республики Казахстан. Сер. Физ-мат. – 2023. - Т. 345(1), - С. 180–191.

2. Manapbayeva A. B., **Omar A.Zh.,** Alimgazinova N.Sh., Komesh T., Kyzgarina M.T., Esimbek J., Assembay Zh.. Determination of physical parameters of the W40 HII region using observations of H110α radio recombination line // Recent Contributions to Physics, 2023. - №3– С.4-11.

Тезистер баяндамалар жинағында жарияланымдар:

1. **Омар А.Ж.,** Мухан А., Гиперкомпактілі HII аймақтарымен шектелетін айналмалы ыстық ядролар//Материалы международной научной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». – Алматы. – 2021. – С.213.

2. **Омар А.Ж.**, Гиперкомпактілі HII аймағымен шектелетін айналмалы ыстық ядроның молекулалық сызықтар бақылаулары//Материалы международной научной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». – Алматы. – 2022.– С.210.

Диссертацияның нәтижелері шет елдік ғалымдармен ғылыми семинарларында талқыланды:

2023 жылы ҚХР, Үрімші қаласы, Xinjiang Астрономиялық обсерваториясының профессорлары: **Esimbek Jarken, Christian Henkel** ;

2023 жылы Түркия қаласы, Қайсері қаласында өтілген “The IAU/IHOW Radio Astronomy 2023” **George Bendo, Aida Ahmadi**;

2023 жылы 10 қазанында, Чили Университетенің профессоры **Guido Garay** (ZOOM платформасында);

2024 жылы Назарбаев Университеті, Энергетикалық Ғарыш Зертханасында, Урал Федералды Унивверситетінің профессоры **Соболев А.М**.;

2024 жылдың 20-24 мамыр аралығында Назарбаев Университетінде, Энергетикалық Ғарыш Зертханасында «Exploring the frontiers of dynamical astronomy with high performance computing, artificial intelligence and leading-edge observational techniques» Қазақстан-Қытай-Корея ұйымдастырылған 12-ші семинарына, 2024 жылдың 8-16 маусым аралығында Ұлыбритания, Манчестер қаласында өткен «European ALMA School» халықаралық семинарларына қатысты.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім министрлігі Ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес «AP13067768 - Молекулалық бұлттардағы ыстық ядроларды радиоастрономиялық зерттеу және массивтік жұлдыздардың жұлдыз түзілу аймақтарын зерттеу» тақырыбы бойынша жүргізілді.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертация: кіріспе, 4 бөлімдер, қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс жалпы 118 беттен, оның ішінде баспа мәтінінің 107 бетінде көрсетілген, 83 суреттен, 17 формуладан, 10 кестеден, 110 атауы бар пайдаланылған әдебиеттер тұрады.