

Т. Комеш^{1,2,3} , А.Б. Манапбаева¹ , Ж. Есімбек² ,

Н.Ш. Алимгазинова¹ , М.Т. Кызгарина^{*1} , Қ. Бағжан¹ 

¹ *ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы*
² *Шыңжаң Астрономиялық Обсерваториясы, Қытай Ғылым Академиясы, ҚХР,*
Үрімжі

³ *Қытай Ғылым Академиясы Университеті, ҚХР, Пекин*

**E-mail: meir83physics@gmail.com*

РАДИОАСТРОНОМИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ФОРМАЛЬДЕГИДТІҢ (H₂CO) ТОЛҚЫН ҰЗЫНДЫҒЫНДА AQUILA МОЛЕКУЛАЛЫҚ БҰЛТЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Астрофизикадағы ең маңызды міндеттердің бірі жұлдыздардың түзілу процестері мен аймақтарын зерттеу. Галактиканың жұлдызаралық ортасының молекулалық бұлттары жұлдыздардың түзілу аймақтарындағы маңызды құрылымдар болғандықтан, олардың құрамын, ішкі құрылымын, шығу тегі мен эволюциясын зерттеу бұл мәселені шешуде айтарлықтай үлес қосады. Молекулалық бұлт - жұлдызаралық бұлттың бір түрі, оның тығыздығы мен мөлшері молекулалар мен әртүрлі күрделі қосылыстарды құруға мүмкіндік береді. Молекулалар олардың күрделі құрылымына байланысты радиодиапазонда көптеген спектрлік сызықтарға ие. Осыған байланысты, осы зерттеуде формальдегид молекуласының (H₂CO) толқын ұзындығында радиоастрономиялық бақылау деректеріне зерттеу жүргізілді. Бұл зерттеудің мақсаты - формальдегид молекуласы (H₂CO) толқын ұзындығында Aquila молекулалық бұлтын зерттеу арқылы эволюцияның ерте кезеңдерінде жұлдыз түзілу аймақтарын іздеу. Бұл зерттеуде Қытай ғылым академиясының Шыңжаң астрономиялық обсерваториясының 26-метрлік Nanshan радиотескопында 2015 жылы ақпанда алынған Aquila молекулалық бұлтының W40 және Serpens South оңтүстік аймақтарындағы формальдегид молекуласының H₂CO алғашқы радиоастрономиялық бақылауларының нәтижелері ұсынылған. Формальдегидтің H₂CO (1₁₀-1₁₁) ($\lambda=6$ см, $\nu_0 = 4829.6594$ МГц) жұтылу сызығы бойынша деректер алынды. Сонымен қатар, Aquila Rift аймағына арналған ¹²CO(2-1) мен ¹³CO(2-1) молекулаларын және 6 см континуумды бақылау кезінде алынған мұрағаттық деректер пайдаланылды. H₂CO жұтылуының интенсивтіліктің интегралданған картасы, H₂CO жұтылуының және ¹³CO (1-0) эмиссияның центроидтық жылдамдығының таралу карталары, H₂CO жұтылуының интеграцияланған контурына қабаттасқан 6 см радио континуумның таралуы, H₂CO сызығының енінің картасы, H₂CO жұтылу сызығында козу температурасының T_{ex} таралуы және Aquila молекулалық бұлтына H₂CO канал жылдамдығы тұрғызылды. Serpens 3 аймағында жаңа жұлдыз түзілу аймағы анықталғаны бойынша H₂CO коздыру температурасы анықталды.

Түйін сөздер: молекулалық бұлт, жұлдыз түзілу.

Т. Комеш^{1,2,3}, А.Б. Манапбаева¹, Ж. Эсимбека²,
 Н. Ш. Алимгазинова¹, М.Т. Кызгарина^{*1}, К. Багжан¹

¹ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы*
² *Синьцзянская астрономическая обсерватория Китайской академии наук, КНР,*
Урумчи

³ *Университет Китайской академии наук, КНР, Пекин*

**E-mail: meir83physics@gmail.com*

Исследование молекулярного облака AQUILA на длинах волн формальдегида (H₂CO) по данным радионаблюдений

Аннотация. Одной из важнейших задач астрофизики является исследование областей и процессов образования звезд. Так как молекулярные облака межзвездной среды Галактики

являются важнейшими структурами в областях звездообразования, то изучение их состава, внутреннего строения, происхождения и эволюции позволит внести существенный вклад в решение данной проблемы. Молекулярное облако - тип межзвёздного облака, чья плотность и размер позволяют в нём образовываться молекулам и различным сложным соединениям. Молекулы же из-за сложной их структуры имеют очень много спектральных линий в радиодиапазоне. В связи с этим, в данном исследовании было проведено изучение данных радиоастрономических наблюдений на длине волны молекулы формальдегида (H_2CO). Целью данного исследования является поиск областей звездообразования на ранних стадиях эволюции путем изучения молекулярного облака Aquila на длине волны молекулы формальдегида (H_2CO). В настоящем исследовании представлены результаты первых радиоастрономических наблюдений молекулы формальдегида H_2CO на южных районах W40 и Serpens South молекулярного облака Aquila, полученные в течение февраля 2015 года на 26 м радиотелескопе Nanshan Синьцзянской астрономической обсерватории Китайской академии наук. Были получены данные по линии поглощения формальдегида H_2CO ($1_{10-1_{11}}$) ($\lambda=6$ см, $\nu_0 = 4829.6594$ МГц). Также в исследовании были использованы архивные данные, полученные при наблюдениях молекул $^{12}\text{CO}(2-1)$ и $^{13}\text{CO}(2-1)$ и 6 см континуума для региона Aquila Rift. Были построены карты интегральной интенсивности поглощения H_2CO , карты распределения центроидной скорости поглощения H_2CO и излучения ^{13}CO ($1-0$), распределения 6 см радио-континуума, наложенные на интегрированные контуры поглощения H_2CO , карта ширины линии H_2CO , распределение температуры возбуждения T_{ex} линий поглощения H_2CO и скорости канала H_2CO к молекулярному облаку Aquila. Была определена температура возбуждения H_2CO , по которой была обнаружена новая область звездообразования в регионе Serpens 3.

Ключевые слова: молекулярное облако, звездообразование.

T. Komesh^{1,2,3}, A.B. Manapbayeva¹, J. Esimbek²,

N.Sh. Alimgazinova¹, M.T. Kyzgarina¹, K. Bagzhan¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

² Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, China, Urumqi

³ University of the Chinese Academy of Sciences, China, Beijing

*E-mail: meir83physics@gmail.com

Research of AQUILA molecular cloud on formaldehyde (H_2CO) wave length based on radioastronomic observations

Abstract. One of the most important tasks of astrophysics is to study areas and processes of star formation. Since the molecular clouds of the interstellar medium of the Galaxy are the most important structures in the regions of star formation, the study of their composition, internal structure, origin and evolution will make a significant contribution to solving this problem.

A molecular cloud is a type of interstellar cloud whose density and size allow molecules and various complex compounds to form in it. Because of their complex structure, molecules have a lot of spectral lines in the radio range. In this regard, in this study, we studied the data of radio astronomy observations at the wavelength of a formaldehyde molecule (H_2CO).

The aim of this study is to search for star formation regions in the early stages of evolution by studying the Aquila molecular cloud at the wavelength of a formaldehyde molecule (H_2CO). This study presents the results of the first radio astronomical observations of the H_2CO formaldehyde molecule in the southern regions of W40 and Serpens South of the Aquila molecular cloud, obtained during February 2015 at the 26m Nanshan radio telescope of the Xinjiang Astronomical Observatory of the Chinese Academy of Sciences. Data were obtained on the absorption line of formaldehyde H_2CO ($1_{10-1_{11}}$) ($\lambda=6$ см, $\nu_0 = 4829.6594$ MHz). The study also used archival data obtained by observing $^{12}\text{CO}(2-1)$ and $^{13}\text{CO}(2-1)$ and 6 cm continuum molecules for the Aquila Rift region.

Maps of the integral absorption intensity of H_2CO , maps of the distribution of the centroid rate of absorption of H_2CO and ^{13}CO radiation ($1-0$), distributions of the 6 cm radio continuum superimposed on integrated H_2CO absorption contours, a map of the H_2CO line width, the distribution of the excitation temperature T_{ex} of the H_2CO absorption lines, and H_2CO channel velocity to the Aquila molecular cloud. The H_2CO excitation was determined by which a new star formation region was detected in the Serpens 3 region.

Keywords: molecular cloud, star formation.

Кіріспе

Заманауи ұғымдарға сәйкес, Галактиканың жұлдызаралық ортасының молекулалық бұлттары жұлдыз түзілу аймақтарындағы ең маңызды құрылымдар болып табылады [1]. Жұлдызаралық ортадағы молекулалардың болуы ХХ ғасырдың бірінші жартысында-ақ анықталған болатын, бірқатар жұлдыздардың оптикалық спектрлерінде салыстырмалы көптігі $\sim 10^{-8}$ болған жұлдызаралық CN, CH және CN+ радикалдарының арқасында жұтылудың тар сызықтары анықталған. Кейінірек, радиоастрономия әдістерінің дамуы арқылы алғаш рет полиатомдық молекулаларды - су (H_2O), аммиак (NH_3) және формальдегидті (H_2CO) анықтау мүмкін болды. Жұлдызаралық ортадағы молекулалық газдың жалпы саны атомнан кем емес екендігі анықталды. Галактикадағы жұлдызды қалыптастыру үдерісінде шешуші рөл атқаратын, өлшемі $\sim 10^{20}$, массасы 10^5-10^6 Күн массасына тең гигантты молекулалық бұлт табылған [2].

Төмен және жоғарғы массалы жұлдыздар Галактиканың әртүрлі аймақтарында орналасқан молекулалық бұлттарда қалыптасады [3]. Мысалы, W3/4/5, Perseus және Aquila тәрізді бұлттар, жұлдыздардың тығыз ядроларында қалыптасатын төмен массалық жұлдыз түзілу орындарын құрайды [4,5]. Екінші жағынан, жоғары массалы жұлдыздар массалардың кең диапазонын қамтитын жұлдыздардың шоғырлануынан құрылады [6, 7]. Жоғары массалы жұлдыз түзілу аймақтарының мысалы Orion және W3 комплекстері болып табылады [8, 9].

Бірқатар жұмыстарда [10-12] молекулалық бұлт күрделі молекулалармен қаныққан: спектрден су сызығы, көміртегі тотығы мен күкірттің еселенген тотығы, сондай-ақ органикалық қосылыстарды - формальдегид, метанол, диметил эфир, көгертікші қышқыл және олардың изотоптық аналогтары оңай анықталады. [10] жұмыста соңғы типті

молекулалардың (мысалы, NH_3) белсенді жұлдыз түзілу аймақтарында жоғары құрамды екендігі көрсетілді. Қазіргі уақытта молекулалық бұлттардағы фольмадегид көрсеткішінің динамикасы және құрамы іс жүзінде зерттелмеген, сондықтан мұндай күрделі органикалық қосылыстарды зерттеу қызығушылық тудырып отыр.

Бұл зерттеу H_2CO молекуласының физикалық қасиеттерін зерттеу, радиокарталарды тұрғызу арқылы алынған спектрлерді талдау жолымен жұлдыз түзілу аймақтары мен олардың эволюция сатыларын анықтау мақсатында формальдегид молекуласының (H_2CO) толқын ұзындығымен Aquila молекулалық бұлтты зерттеуге арналған.

CO және H_1 бақылауларының көрсетуі бойынша Aquila молекулалық бұлты (АМБ) немесе Aquila Rift кешені галактикалық жазықтығының бойында орналасқан [13,14], бойлық бойынша 20° -тан 40° -ке дейін және ендік бойынша -1° -дан 10° аралығына дейін созылады. Aquila Rift батыс бөлігі бірнеше белсенді жұлдыз түзілу аймақтарын қамтиды: Serpens Main, Serpens South, W40 және MWC297. Біз мұнда Aquila Rift кешеніндегі жұлдыз түзілудің екі танымал орындары орналасқан бөлігіне назар аударамыз: Serpens South батыс аймағы, жас ендірілген кластер болып табылады [15] және W40 шығысы иондалған сутегі H_{II} аймағымен байланысты кластер болып табылады [16]. Spitzer ғарыштық телескопының инфрақызыл диапазондағы бақылауларынан W40 және Serpens South кластерлері жақын орналасқандықтан Serpens South W40 аймағының бір бөлігі болып көрінеді [17]. [18] жұмыста Serpens South пен W40-қа дейінгі ара қашықтық анықталған болатын, бұл шамамен 436 пк болды, онда Serpens South-қа дейінгі қашықтық та осы шамаға жуық болуы мүмкін, себебі аталған бұлттардың жылдамдығы өте ұқсас. Сонымен қатар, зерттеулерін ұсынған ғалымдар тобы [19], Serpens South аймақ W40-тегі H_{II} кеңейтілген қабығымен өзара әрекеттескен болуы мүмкін деп болжайды, бұл жерде

Serpens South және W40 аймақтары шамамен бірдей қашықтықта орналасады. Алайда, $^{12}\text{CO}(2-1)$ және $^{13}\text{CO}(2-1)$ эмиссияларының Aquila Rift бағытындағы масштабты бақылаулары екі жылдамдықпен созылған Serpens South және W40 компоненттерін әр түрлі жылдамдықта екенін көрсетеді, бұл доғаның және үлкен масштабты bubble және/немесе ағындардың жылдамдық өрісіне әсер ететіні, осы бұлттардың түзілуі мен эволюциясын қалыптастыруда орыны бар екенін ұсынды [20].

Бұл зерттеуде Aquila Rift молекулалық бұлттыңда 4,830 ГГц жиілікте H_2CO жұтылуы қарастырылады. Галактикадағы H_2CO формальдегид молекуласының жұтылуын зерттелген. [21-23] жұмыстарында 262 галактикалық радио көздері үшін H_2CO жұтылуы H_{II} аймақтарына көбірек байланысты екендігін көрсетеді. H_2CO фондық континуумде тек жұтылу спектрінен ғана көрінетіндіктен, H_{II} аймағының тек алдыңғы жағындағы физикалық жағдайлар көрінеді, ал басқа миллиметрлік және субмиллиметрлік спектрлік сызықтары радиотолқын көзінің алдыңғы және артқы жағынан да байқалады. ^{13}CO эмиссиясының таралуы мен H_2CO жұтылуының арасындағы корреляция өте күшті болып саналады, себебі екі компонент те ұқсас аймақтарда туындайды [24]. Бұл зерттеуде W40 және Serpens South аймақтарындағы формальдегид молекуласының H_2CO алғашқы радиоастрономиялық бақылауларының нәтижелері ұсынылған.

Бақылаулар мен деректер базасының мұрағаты

H₂CO бақылау. Aquila молекулалық бұлт бағытындағы H_2CO ($1_{10}-1_{11}$) жұтылу сызығы ($\lambda = 6$ см, $\nu_0 = 4829,6594$ МГц) 2015 жылдың ақпан айы бойы Қытай ғылым академиясының Шыңжаң астрономиялық обсерваториясының 26-метрлік Nanshan радиотелескопы көмегімен бақыланды. H_2CO толқын ұзындығында радиотелескоп жартылай

қуат режимінде антеннаның бағытталу диаграммасының ені $10'$ ие болады. Бақылау әр позиция үшін орташа интеграция уақыты бір минут болатын On-The-Fly жетілдірілген бақылау бағдарламасының көмегімен жүргізілді. Бақылау әрбір позиция үшін орташа интеграция уақыты бір минут болатын динамикалық режимде өтті. Бақыланып отырған модельдің орталық позициясы: $18^{\text{сғ}}30^{\text{мин}}03^{\text{сек}}-2^{\circ}02'40''(\text{J2000})$. Бақылау жүргізу кезінде шуыл деңгейі төмен және жүйелік температурасы шамамен 23 К болатын 6 сантиметрлік екі полярлы қабылдағыш қолданылған болатын. Радио сәулеленуді тіркеу кезінде ықтимал ақпараттың жоғалуын азайту және оны өңдеу сапасын жақсарту үшін 8192 каналы бар және спектрлік жолағының ені 64 МГц болатын Цифрлы сүзгі банкі қолданылған болатын, оның ажырату қабілеті 4,852 ГГц жиілік деңгейінде 0,48 км/с жылдамдыққа сәйкес келеді. Бір көз үшін бақыланып отырған шкала 1,8 градустан аспайды. Формальдегидтің молекулалық сигналы әлсіз болғандықтан, сигнал/шуыл жақсы қатынасты беретін ұзақ интеграция уақыты шамамен 12 минутты құрады. Жүйенің сезімталдығы (DPFU, ағын бірлігіндегі градус) 0,116 К/Ју болды және бұл толқын ұзындығындағы негізгі сәулеленің тиімділігі 65% құрайды. Біз H_2CO сызықтары деректерін өңдеу үшін CLASS және GREG (GILDAS бөлімдерін) қолдандық. Бақыланып отырған молекулалық бұлт аймағы $100' \times 100'$ құрайды. Бұл карталардың орташа сигма шуыл деңгейі 0,020 К. Aquila кешеніне дейінгі қашықтық 436 пк деп алсақ, картаның кеңістіктік масштабы 0,124 пк/аркмин болады.

Мұрағаттық деректер.

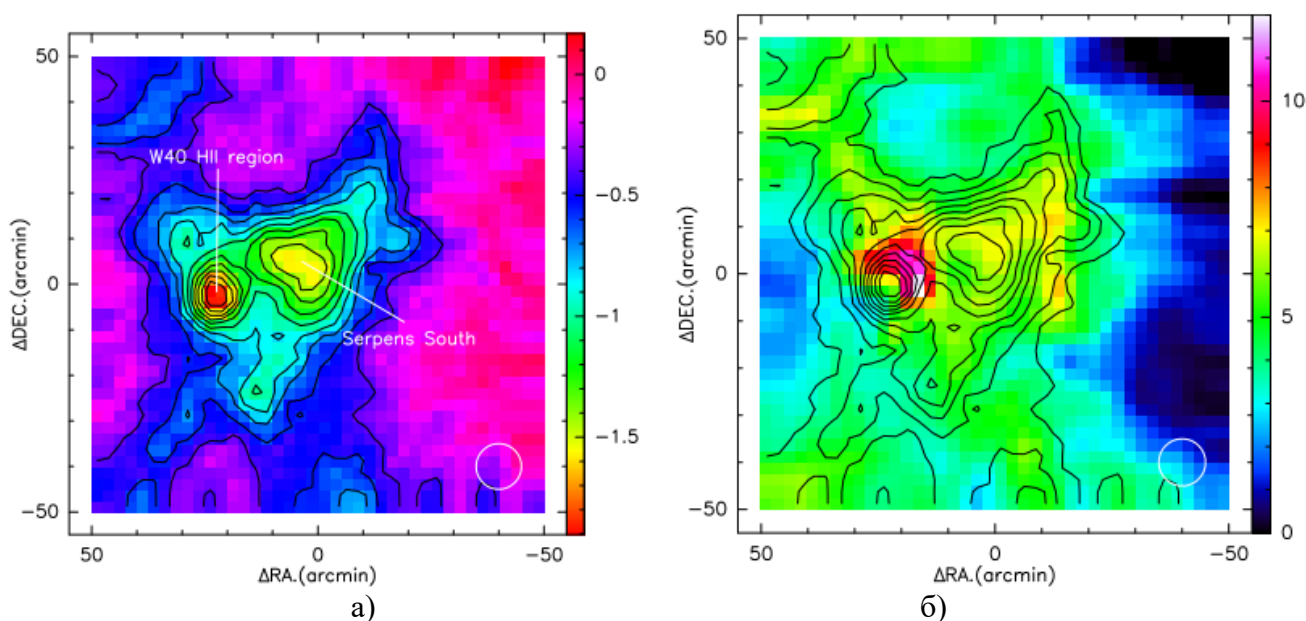
Делингхадағы Purple Mountain Обсерваториясының 13,7 м миллиметрлік толқын телескопының көмегімен 2011 жылдың сәуір мен мамыр айларында бақыланып отырған $^{13}\text{CO}(1-0)$ және $^{12}\text{CO}(1-0)$ деректері алынды. Бұл деректерді ажырату жылдамдығы 0,17 км/с және осы бақылаудың "On-The-Fly" режиміндегі жүйенің температурасы 250 К-нен 310 К-ге дейін өзгерді. $10'$ бойынша алынған ^{13}CO ($J=1-0$) деректері H_2CO

бақылау торына бейімделген. $^{13}\text{CO}(1-0)$ және $^{12}\text{CO}(1-0)$ деректерінің сигма шуыл деңгейлері, сәйкесінше, 0,056 К мен 0,122 К-ді құрайды.

Aquila Rift аймағы үшін 6 см-лік континуум деректері қытай-германдық поляризацияланған кескін көмегімен Urumqi (National Astronomical Observatories, CAS) 26 м телескопы арқылы шолу жасау кезінде анықталды [26]. Деректердің орталық жиілігі 4,8 ГГц, ал бақылау кезіндегі спектрлік жолақтың ені 600 МГц-ті құрайды. Деректерді ажырату қабілеті 9'.5 және зениттегі жүйенің температурасы шамамен 22 К болды.

Зерттеу нәтижелері

Aquila молекулалық бұлт (АМБ) бағытындағы H_2CO жұтылуының 3-11 км/с жылдамдық интервалына интенсивтіліктің интегралданған картасы 1(а)-суретте көрсетілген. Суретте түрлі-түсті жолақтар К·км/с өлшем бірліктерімен берілген. H_2CO интенсивтілік картасының контурлық деңгейлері екі карта үшін -0,15 К·км/с қадаммен -0,4-тен -1,8-ге дейін құрылады. Төменгі оң жақ бұрыштағы ақ шеңберлер сәуленің мөлшерін жартылай қуат деңгейінде көрсетеді - 10'. Бақылау параметрлері біздің жұмысымызда көрсетілген [27].



1 сурет – Aquila молекулалық бұлттың интенсивтілігінің интегралданған картасы: (а): H_2CO жұтылу сызығы; (б): H_2CO контурларымен қабаттасқан $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ эмиссиясы

W40 және Serpens South аймақтарының картасында H_2CO жұтылудың максималды мәні бар екі концентрацияны көруге болады - 1,097 және - 1,007 К·км/с, олар H_2 сутегі иондалған аймағына сәйкес келеді. (20, -5) және (0,0) ығысулар кезіндегі жылдамдықтар, сәйкесінше, 7,125 км/с және 6,216 км/с болады. $^{13}\text{CO}(J=1-0)$

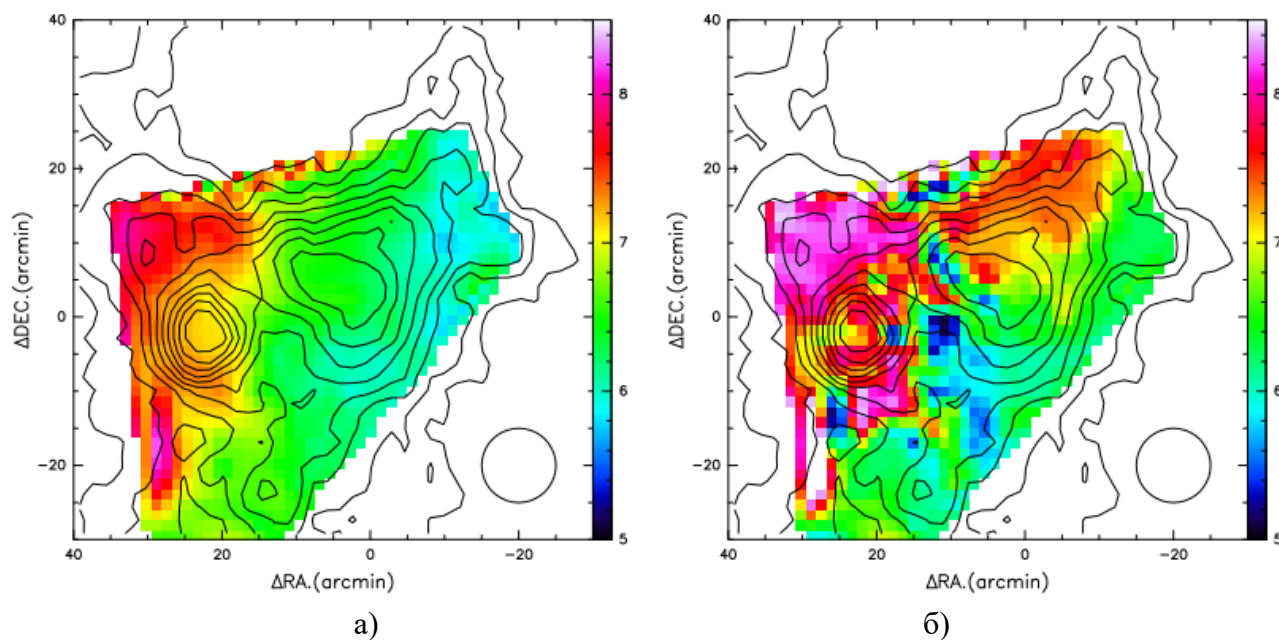
эмиссиясының түрлі-түсті масштабты картасы H_2CO контурымен бірге 1(б)-суретте көрсетілді. Serpens South-тағы ^{13}CO эмиссиясының картасы бірнеше созылық құрылымдарды көрсетеді, олар ішінара H_2CO жұтылу құрылымынан шығады және W40-тың солтүстік жағында күшейтілген эмиссия бақыланады, ол H_2

аймағы жағындағы қызудан туындауы мүмкін.

H_2CO жұтылу және ^{13}CO эмиссия құрылымдары Serpens South та да H_{II} аймағында да бір-бірімен сәйкес келмейді. 1(б)-суретте W40 аймағында ^{13}CO эмиссиясы ығысқан және Serpens South-қа сәйкес келетін оптикалық тереңдіктің нақты концентрациясы немесе өзгерісі болмайды.

H_2CO таралу жылдамдығы біртегіс және АМБ-ның шығысына қарай градиентті көрсетеді (2(а)-сурет). 2-суретте түрлі-түсті жолақтар км/с өлшем бірліктерімен берілген. H_2CO контурының деңгейі 1-суреттегімен бірдей. Төменгі оң жақ бұрыштағы қара шеңберлер сәуленің мөлшерін жартылай қуат режимінде көрсетеді - $10'$. 2-суретке сәйкес W40 аймағында жылдамдық ~ 7 км/с бүкіл аймақты қоршап тұрған суық газдың

жүйелі жылдамдығына сәйкес келеді [28] және бұл аймақтың периферий жағында табылған жылдамдықпен сәйкес келеді [19]. Serpens South негізгі бөлігінің оңтүстік бөлігіндегі H_2CO жылдамдығы (~ 6 км/с) ^{13}CO таралу жылдамдығымен сәйкес келеді. Екінші жағынан, ^{13}CO жылдамдық құрылымы (2(б)-сурет) солтүстік-шығыс бағытындағы маңызды инфрақұрылымды және градиентті көрсетеді. W40 пен Оңтүстік Serpens арасындағы шекарадағы интенсивтілігі төмен аймақтар осы аймақтардың арасындағы өзара байланысты көрсетуі мүмкін [19]. H_2CO жұтылудың және ^{13}CO эмиссиясын нақты қарастыру кезінде әртүрлі таралуды көрсетеді және Serpens South аспанда W40 аймағымен қабаттасып орналасқаны туралы нақты дәлел жоқ.



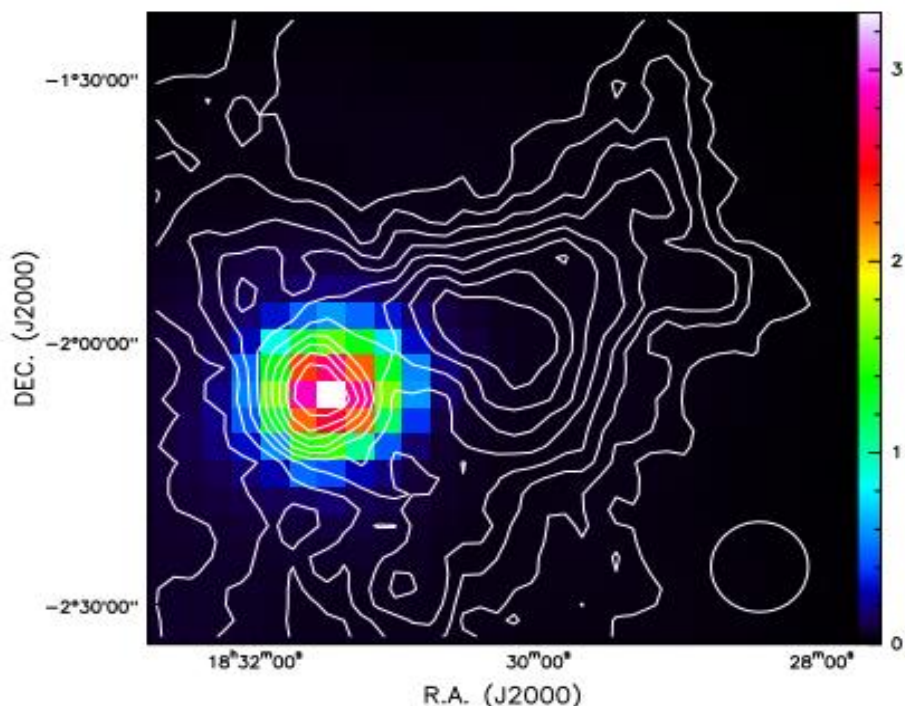
2 сурет – H_2CO интенсивтіліктің интегралданған контурына қабаттасқан H_2CO жұтылудың центроидтық жылдамдығы (а) мен ^{13}CO (1–0) эмиссиясының таралуы (б)

Aquila молекулалық бұлттыңдағы 5 ГГц жиіліктегі радио-континуум бейнесі 3-суретте көрсетілген. Мұндағы H_2CO контурының деңгейі 1-суреттегімен бірдей. Суретте түрлі-түсті жолақтар К өлшем бірлігімен берілген. Төменгі оң жақ бұрыштағы ақ шеңберлер сәуленің мөлшерін жартылай қуат деңгейінде көрсетеді - $10'$. H_{II} аймағындағы континуум температурасы T_c 1-ден 3,3 К-

ге дейінгі диапазонда болады, Serpens South аймағында 0.04 К-ге аз. W40 аймағындағы H_2CO күшті жұтылуы H_{II} аймағындағы радио континууммен байланысты және бұл континуум Serpens South аймағында әлсірейді. Себебі ^{13}CO эмиссиясы Serpens South аймағында күшейтілмегенін көрсетеді, H_2CO жұтылуы ғарыштық микротолқынды фонға (FMФ) қосымша Serpens South

ішіндегі күшейтілген үздіксіз фон нәтижесінде пайда болуы керек. Сондықтан W40 және Serpens South аймақтарындағы жұтылу контурлары

жұлдыз түзілу әсер ететін аймақтың шегінен тыс орналасқан ағымдағы жұлдыздардың түзілу аймағын анықтайды.



3 сурет – Aquila молекулалық бұлтының бағыты бойынша H_2CO жұтылудың интегралданған контурына қабаттасқан 6 см радио-континуумның таралуы

Формальдегид сызығы W40 және Serpens South бүкіл аймағында жұтылады. Мұндай жағдай барлық жерде егер 6 см сызықтың қозу температурасы микротолқын фоны мен радио континуум көздерінің жарқырау температурасынан аз болса ғана орындалуы мүмкін. Суық бұлттардағы қозу температурасы T_{ex} біртекті төмен болған кезде ($\leq 1K$), қоздыру шарттары жұлдыз түзілу аймақтарына байланысты өзгеруі мүмкін [29]. Сондықтан H_2CO жұтылу бағаны тығыздығының қарапайым түрде анықталуы дәл болмауы мүмкін. Оның орнына H_2CO қозу температурасы аймақ бойынша жуықтап анықталды. H_2CO және $^{13}CO(1-0)$ бағандарының тығыздығы өзара корреляцияланған деп ұйғарып, H_2CO бағанның тығыздығын $^{13}CO(1-0)$ баған тығыздығынан есептей аламыз [30]. H_2CO -ның H_2 -ге қатынасы 3×10^{-9} [31], $^{13}CO(1-0)$ -ның H_2 -ге арақатынасы 2.4×10^{-6} [28] деп есептесек, H_2CO мен $^{13}CO(1-0)$

арасындағы бағандар тығыздығының коэффициентін төмендегідей есептеуге болады:

$$N(H_2CO) = 1.25 \times 10^{-3} N(^{13}CO) \quad (1)$$

H_2CO оптикалық тереңдікті τ_{app} қолдана отырып, [33] есептелген формуласының көмегімен:

$$N(H_2CO) = 9.4 \times 10^{13} \cdot \tau_{app} \cdot \Delta V \text{ (см}^{-2}\text{)}, \quad (2)$$

мұндағы $T_{ex} = 2K$ үшін орташа мән алынған.

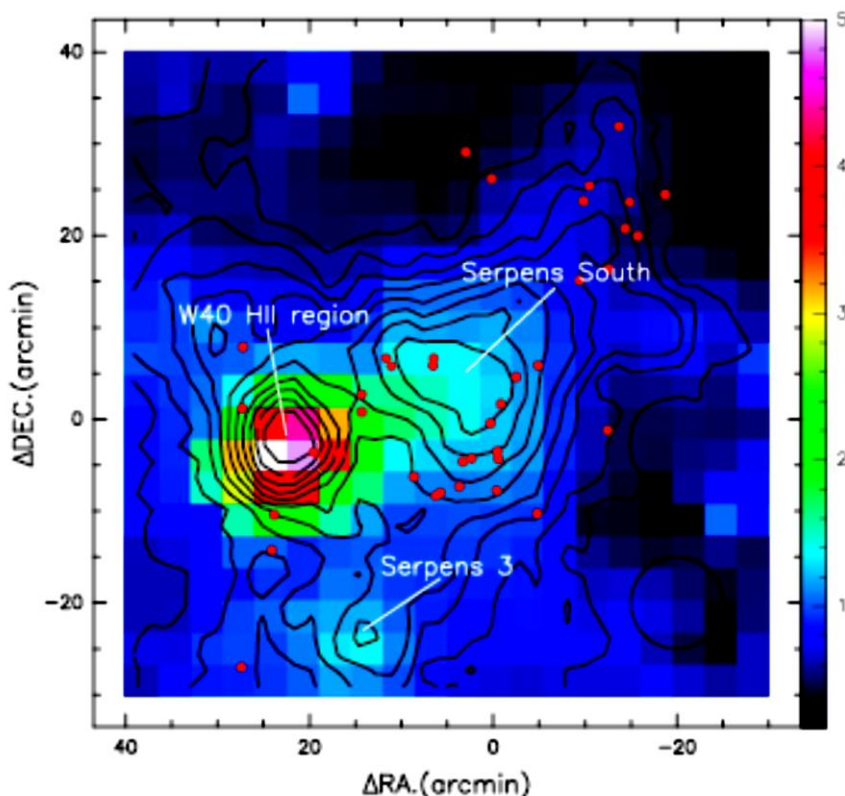
H_2CO қозу температурасын келесідей түрде есептеуге болады [29]:

$$T_L = (T_{ex} - T_c)[1 - \exp(-\tau_{app})] \text{ (K)}, \quad (3)$$

мұндағы T_L – Кельвинмен берілген жұтылу сызығының қабылдау температурасы, ал T_c – ғарыштық микротолқынды фон мен

радио фонның үздіксіз жарықтылық температурасы. $N(H_2CO)$ және T_{ex} нәтижелері [27] келтірілген. Анықталған T_{ex} -тың таралуы W40 аймағы айналасындағы HII -дің күшейтілген температурсына 2- 5 К аралығында және Serpens South айналасындағы 1-2 К аралығында болатынын көрсетеді (4-сурет). 4-суреттегі контурлар деңгейі 1-

суреттегімен бірдей. Суретте түрлі-түсті жолақтар К өлшем бірлігімен берілген. Төменгі оң жақ бұрыштағы қара шеңберлер сәуленің мөлшерін жартылай қуат деңгейінде көрсетеді - 10'



4 сурет – H_2CO жұтылудың интегралданған контурына қабаттасқан H_2CO жұтылу сызығының қозу температурасының T_{ex} таралуы

Бұл Serpens South -тағы күшейтілген температура T_{ex} жергілікті жылу көзінің бар екенін және жұлдыз түзілу белсенділігін анықтайды. Сонымен қатар W40 оңтүстігінде формальдегидті жұтылу құрылымында тағы Serpens 3 аймағы бар, ол болжалды әлсіз радиоконтиниум мен жұлдыз түзілу шарттарына ұқсас (жұлдызға дейінгі) жағдайларын көрсетеді (4-сурет). Сонымен H_2CO жұтылу дәрежесінің ауқымы негізінен аймақтағы молекулалардың қозуынан анықталады, оларға ^{13}CO ($J=1-0$) таралуынан көрініп тұрғандай молекулалық материалдың

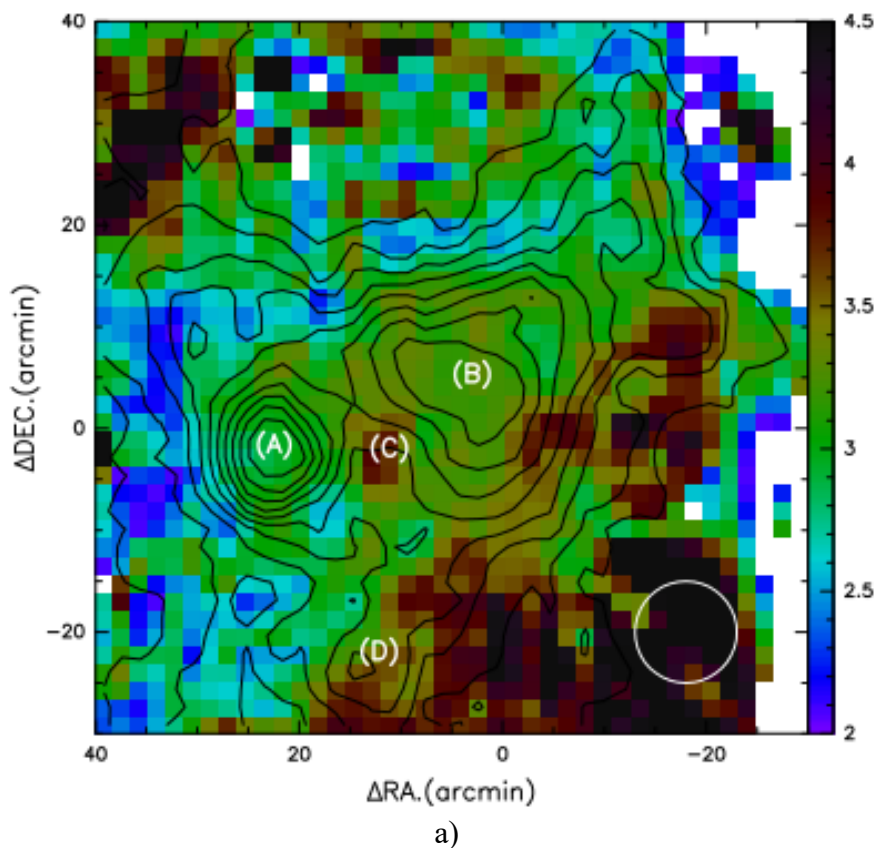
қолжетімділігінен қарағанда жұлдыз түзілу көбірек байланысты. Serpens 3 аймағы жұлдыз түзілу процессімен байланыстыру мақсатында протожұлдыздық ядролар қосылды [34] (4-сурет).

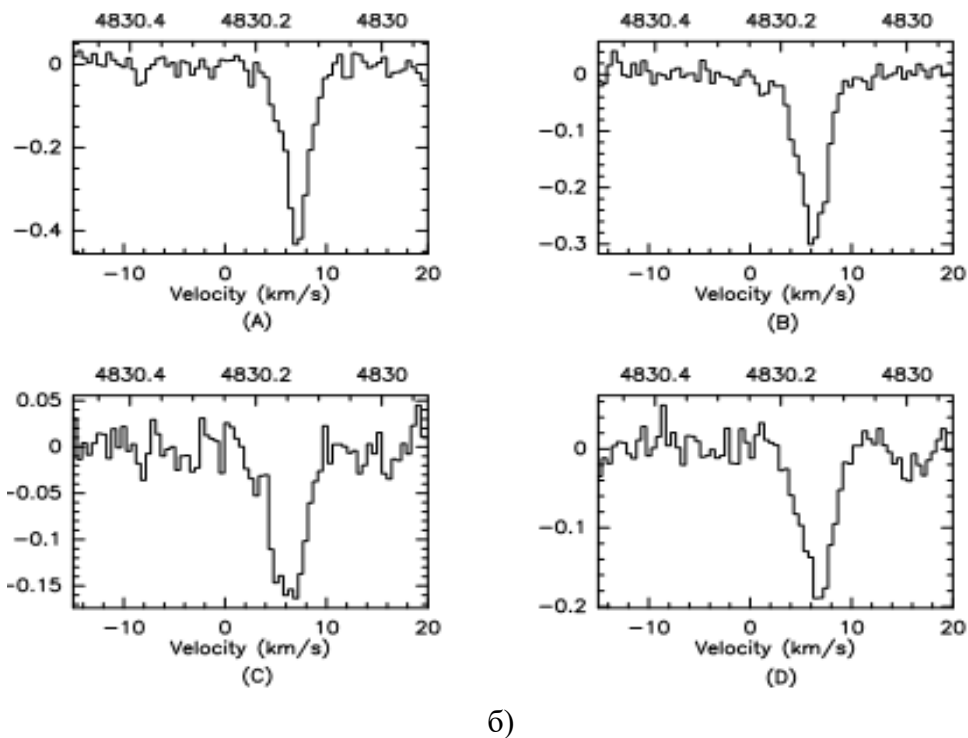
W40 және Serpens South аймағында протожұлдыздық ядролар бар болса, Serpens 3 айналасында протожұлдыздық ядролар жоқ (әзірше). Бұдан Serpens 3 аймағы жұлдыз түзілудің басқа аймақтарымен салыстырғанда әлдеқайда аз қамтылған екенін болжайды. Екінші жағынан протожұлдыздық ядролар H_2CO жұтылуының солтүстік-батыс жағынан да табылды, ол T_{ex} күшеюінің өте аз екенін

көрсетеді, бірақ жұлдыз түзілу аймағы деп саналуы мүмкін.

H_2CO сызығының енінің картасы H_2CO -ның интегралдық интенсивтілігіне қабаттасуы және таңдалған төрт аймақтың спектрлері 5-суретте келтірілген. Контурлар деңгейі 1-суреттегімен бірдей. Суретте түрлі-түсті жолақтар км/с өлшем бірліктерімен берілген. Төменгі оң жақ бұрыштағы ақ шеңберлер сәуленің мөлшерін жартылай қуат деңгейінде көрсетеді - $10'$. W40 айналасындағы (A) және Serpens South маңындағы (B) H_2 спектрлері көпкомпонентті инфрақұрылымы бар бірыңғай сипатта екендігімен ерекшеленеді. Serpens South маңындағы спектрлердің ерекшелігі W40 айналасындағылармен салыстырғанда әлдеқайда әлсіз және кеңірек, жұқа қызыл-ығысқан және көгілдір-ығысқан жапырақшаларды көрсетеді, ол көптеген компоненттердің суперпозициялары болуы мүмкін. W40 спектрі -8,5 км/с-та көгілдір-

ығысқан сипаттаманы көрсетеді. (C) және (D) орындарындағы спектрлер кең көпкомпонентті құрылымға ие. W40 H_2 батыс жағынан 0,7 пк қашықтықтағы (C) аймағында спектр W40 спектріне (A) қатысты кеңеюде және $^{13}CO(1-0)$ спектріндегі сияқты жылдамдық аралығы төмен, 2(б)-суретте көрсетілген. Бұл төменгі жылдамдықты компонент шығысында W40-тың H_2 аймағымен байланысқан ағым компонентінің бар екеніне болжам жасауға болады. Serpens 3 (D) оңтүстік-шығыс аймағы W40 (A) спектрімен салыстырғанда төменгі жылдамдыққа қарай кеңейетін сызықты көрсетеді, сондай-ақ жоғары жылдамдықты бөлігі солтүстік-шығысқа қозғалатын бұлт талшықтарының суперпозициясынан туындауы мүмкін. Сонымен қатар, мұнда 15 км/с-те жеке жоғары жылдамдықтағы компонент болуы мүмкін.



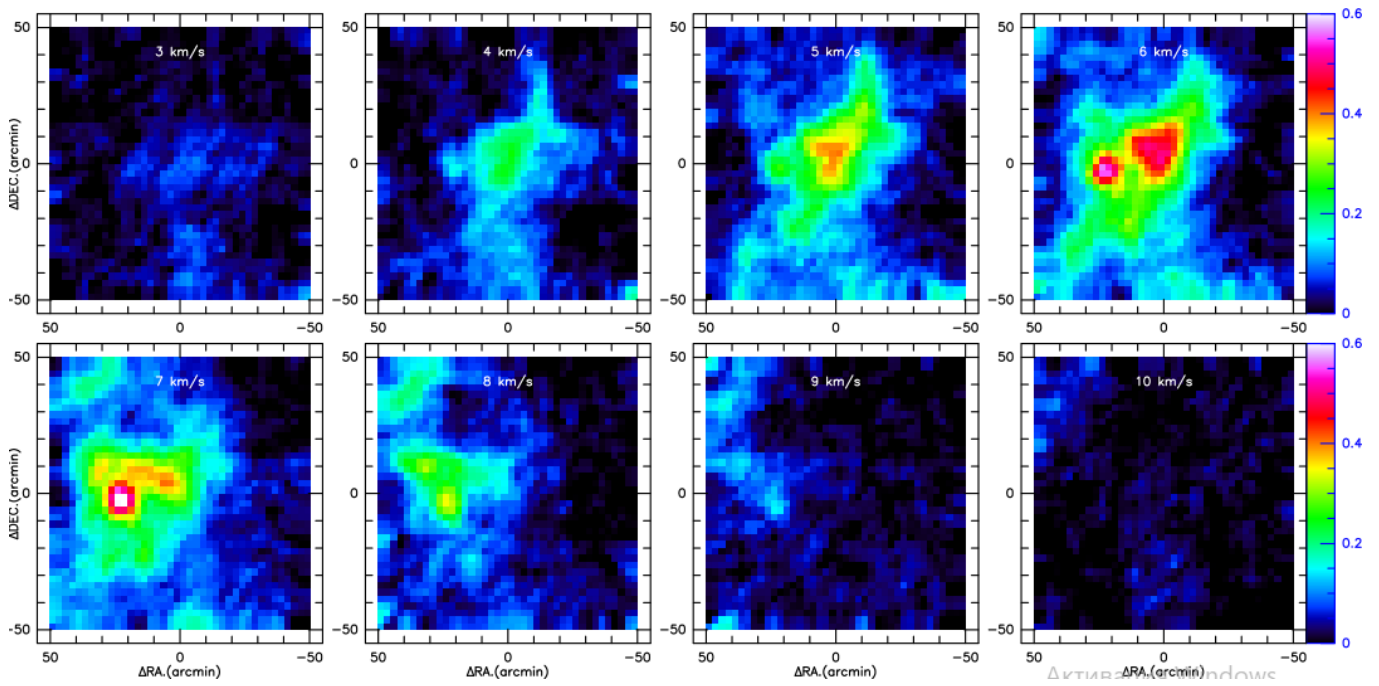


б)

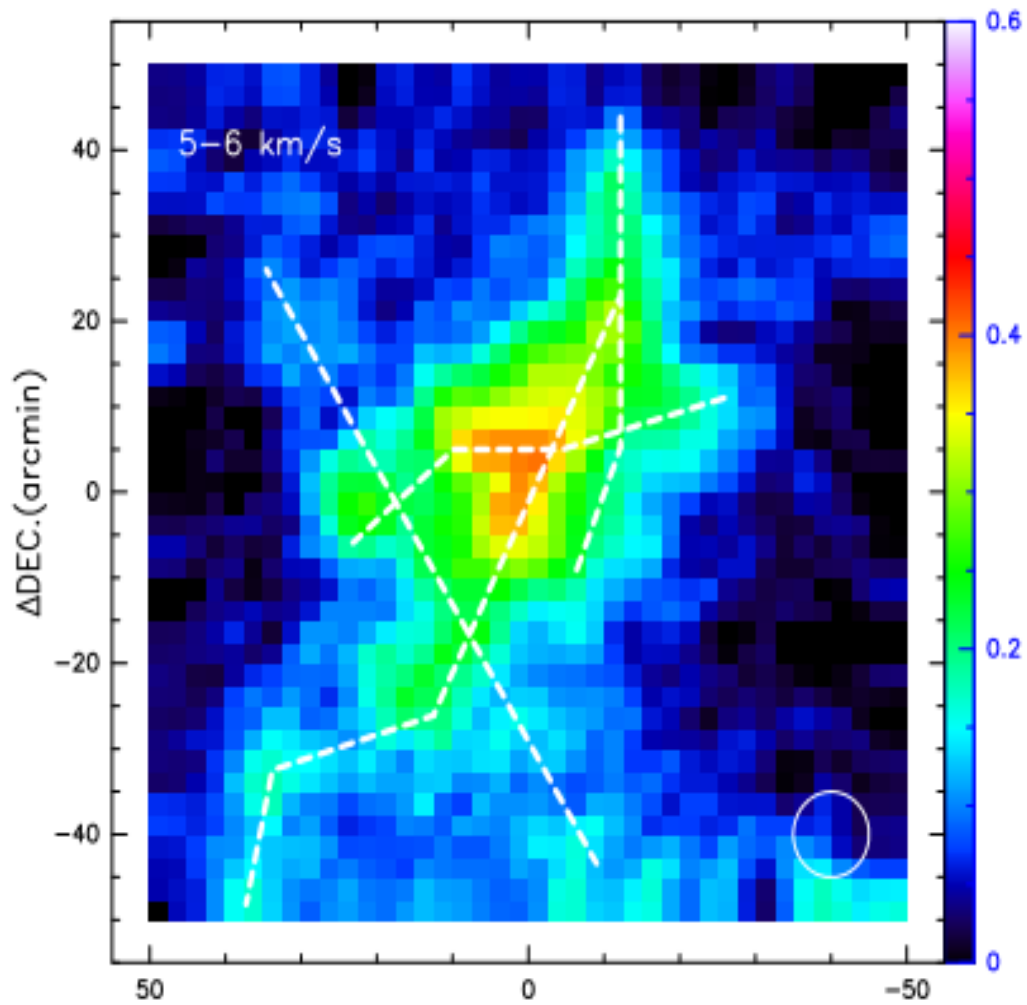
5 сурет – H_2CO сызығының енінің картасының H_2CO -ның интегралданған интенсивтілігіне қабаттасуы (а) және таңдалған төрт аймақтың спектрлері (б).

H_2CO каналының карталары 6-суретте 1 км/с жылдамдық интервалында берілген. Serpens South-тың көп бөлігі 6 км/с жылдамдыққа ие болса, ал W40-тың көп бөлігінің жылдамдығы 7 км/с. 5 км/с панелінде шығыс-батысында және солтүстік-батысында бұл $^{13}\text{CO}(1-0)$ интенсивтілік картасындағы сызықты құрылымдарға ұқсайтын сызықты құрылымдары көрсетілген (1(б)-сурет). Сол сияқты 8 км/с-та W40 аймағын бойлай алып жатқан солтүстік-шығыс пен оңтүстік-батыс құрылымы өтеді. Бұл құрылымдарды айқындау үшін біз 7-суретте көрсетілгендей 5-6 км/с интервал аралығында H_2CO интенсивтіліктің интегралданған картасында жылдамдықты-когерентті құрылымдары

бар орындарды үзік сызықтармен белгілейміз. 7-суреттегі үзік сызықтар Aquila молекулалық бұлттың ерекшеленетін құрылымдарды білдіреді. Төменгі оң жақ бұрыштағы ақ шеңберлер сәуленің мөлшерін жартылай қуат деңгейінде көрсетеді - $10'$. Арақашықтықты 436 пк деп болжам жасасақ, бұл сызықты құрылымдардың ұзындығы шамамен 5-10 пк болады және олар біз бақылау жүргізген аймақта шоғырланған super-bubbles қалдықтары болуы мүмкін [20]. Сонымен қатар біз бақылаған үш жұлдыз түзілу аймағы аталған сызықты құрылымдардың қиылысу нүктелерімен сәйкес келеді.



6 сурет – H₂CO каналының Aquila молекулалық бұлттына H₂CO жылдамдығы



7 сурет – 5-6 км / с жылдамдықпен интегралданған H₂CO жұтылу интенсивтілігінің картасы

Қорытынды

Алғаш рет W40 Serpens South аймақтарын қамтитын Aquila молекулалық бұлттың H_{II} картасында $H_2CO(1_{10}-1_{11})$ жұтылу сызығы салынды. H_2CO жұтылудың интенсивтіліктің интегралданған картасы жұлдыз түзілу пайда болатын аймағына әсер ететін облыс аймақтарын дәл анықтайды.

W40 аймағында H_{II} аймағының едәуір жұтылуы және Serpens South аймағында әлсіз жұтылуы табылды. Үшінші жұлдызды аймақ Serpens 3 W40 оңтүстігіне қарай 1,4 пк қашықтықта анықталды. Жұлдыздардың түзілудің үш аймағы мен $^{13}CO(1-0)$ эмиссиясының картасы арасында маңызды сәйкестік табылған жоқ. W40 аймағын қоспағанда, H_2CO мен $^{13}CO(1-0)$ интенсивтілігінің мен жылдамдығының таралуы бір-біріне сәйкес келмейді.

H_{II} радио континуумының құрылымы W40 аймағындағы T_C шыңын және Serpens South және Serpens 3 аймақтарында тек 0,04K бағалау шамасын көрсетеді. Сондықтан W40 құрамындағы H_2CO жұтылуы H_{II} аймағынан және ғарыштық микротолқынды фоннан келеді, ал Serpens South және Serpens 3 оңтүстік бөліктерінде әлсіз компоненттер үздіксіз фон мен ғарыштық микротолқынды фонның нәтижесі болады. H_2CO жұтылу дәрежесі бұл ең бастысы $^{13}CO(J=1-0)$ көрсеткендей молекулалық газдың болуымен емес, жұлдыздардың түзілуіне бейім аймақтардағы молекулалардың қозуымен анықталады.

Қоршаған ортаның нақты өзгеретін аймақтағы формальдегидтің жұтылу бағанының тығыздығын анықтаудың орнына H_2CO қозу температурасы анықталды. H_2CO баған тығыздығы $^{13}CO(1-0)$ тығыздығына жатады деп есептесек[24], ал H_2CO мен $^{13}CO(1-0)$ арасында тұрақты қатынас бар болса, T_{ex} индексін анықтау үшін $^{13}CO(1-0)$ бағанының тығыздығын қолдануға болады. Бұл процедура өте сенімді болмағанымен, T_{ex} W40 аймағында H_{II} 2-ден 5 K-ге дейін, ал Serpens South > 2 жақсарғандығын көрсетеді. Бұл сонымен қатар $T_{ex}=2K$ бар Serpens 3 аймағында жаңа жұлдыз түзілу аймағын анықтайды. Нәтижелер жергілікті жағдайлар H_2CO қоздырғышына қатты әсер

ететіндігін және T_{ex} үшін тұрақты мән туралы болжам бүкіл аймаққа сәйкес келмейтінін көрсетеді.

H_2CO жылдамдық құрылымы өте тегіс, ал $^{13}CO(1-0)$ жылдамдық құрылымы басқа бағытта үлкен құрылымға және градиентке ие. Сондықтан H_2CO жұтылуының бар болуы $^{13}CO(1-0)$ эмиссияның интеграцияланған құрылымның шегіндегі маңызды құрылыммен байланысты болады, бірақ ғаламдық өзара корреляция жоқ. $^{13}CO(1-0)$ интегралданған интенсивтілік картасы жылдам құрылымы бар жұқа құрылымның бірнеше аймақтарын көрсетеді. W40 батысында шамамен 1,2 пк орналасқан осы аудандардың бірі H_2CO үшін үлкенірек ені бар және жылдамдығы $^{13}CO(1-0)$ төмен. Бұл аймақ [35] жұмыста жүргізілген зерттеу барысында жақын инфрақызыл диапазонда анықталған шығыс ағынымен байланысты болуы мүмкін.

Кейбір когерентті-жылдамдықты құрылымдар H_2CO жылдамдық каналының карталарында анықталды, олар ертерек пайда болатын super-bubbles құрылымдардың қалдықтары болуы мүмкін. 436 пк қашықтықты алсақ, бұл сызықтық құрылымдардың ұзындығы шамамен 5-10 пк болады. Жұлдыз түзілуінің үш аймағы осы элементтердің қиылысу нүктелеріне жақын орналасқаны, олардың себептік байланысты көрсетуі мүмкін екендігі анықталды.

Осылайша, бұл жұмыста Aquila кешені сияқты күрделі молекулалық бұлттарда жұлдыздардың түзілу белсенділігін дұрыс анықтай алатын H_2CO формальдегид молекуласының жұтылуының салыстырмалы картасы жасалды. Сонымен қатар, жұтылу сызықтарының егжей-тегжейлі құрылымы шығыс аймақтардан туындаған жылдамдықтың бөлінетін компоненттерін анықтай алады.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1 Тараканов П.А. Фрактальная структура межзвездной среды Галактики: дис. ... кандидата физико-математических наук: 01.03.02 / С.-Петербург. гос. ун-т. - Санкт-Петербург, 2001. - 100 с.

2 Варшалович Д. А. и др. Астрофизика и космическая физика // под

- ред. Р. А. Сюняева. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. - 320 с.
- 3 Shu, F. H., Adams, F. C., & Lizano, S. 1987, *ARA&A*, 25, 23
- 4 Ungerechts, H., & Thaddeus, P. 1987, *ApJS*, 63, 645
- 5 Dame, T. M., Hartmann, D., & Thaddeus, P. 2001, *ApJ*, 547, 792
- 6 Beuther, H., Churchwell, E. B., McKee, C. F., & Tan, J. C. 2007, *Protostars and Planets V*, 165
- 7 Zinnecker, H., & Yorke, H. W. 2007, *ARA&A*, 45, 481
- 8 Maddalena, R. J., Morris, M., Moscowitz, J., & Thaddeus, P. 1986, *ApJ*, 303, 375
- 9 Thronson, H. A., Jr., Lada, C. J., & Hewagama, T. 1985, *ApJ*, 297, 662
- 10 Suzuki, H., Yamamoto, S., Ohishi, M., et al. 1992, *ApJ*, 392, 551
- 11 Tang, X. D.; Henkel, C., et al. 2018. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 611, id.A6, 17 pp.
- 12 Li Q, Zhou J., Esimbek L., et al. 2018. *The Astrophysical Journal*, Volume 867, Issue 2, article id. 167, 10 pp.
- 13 Dame, T. M., Hartmann, D., & Thaddeus, P. 2001, *ApJ*, 547, 792
- 14 Prato, L., Rice, E. L., & Dame, T. M. 2008, in *Handbook of Star Forming Regions*, Vol. 1, ed. B. Reipurth (San Francisco, CA: ASP), 18
- 15 Bontemps, S., André, P., Könyves, V., et al. 2010, *A&A*, 518, L85
- 16 Smith, J., Bentley, A., Castelaz, M., et al. 1985, *ApJ*, 291, 571
- 17 Gutermuth, R. A., Bourke, T. L., Allen, L. E., et al. 2008, *ApJL*, 673, L151
- 18 Ortiz-León, G. N., Dzib, S. A., Kounkel, M. A., et al. 2017, *ApJ*, 834, 143
- 19 Shimoikura, T., Dobashi, K., Nakamura, F., Shimajiri, Y., & Sugitani, K. 2018, *PASJ*, 115, 131
- 20 Nakamura, F., Dobashi, K., Shimoikura, T., Tanaka, T., & Onishi, T. 2017, *ApJ*, 837, 154
- 21 Davies, R. D., & Few, R. W. 1979, in *Proc. IAU Symp. 84, The Large-Scale Characteristics of the Galaxy*, ed. W. B. Burton (Dordrecht: Reidel), 81
- 22 Downes, D., Wilson, T. L., Bieging, J., & Wink, J. 1980, *A&AS*, 40, 379
- 23 Pibenbrink, A., & Wendker, H. J. 1988, *A&A*, 191, 313
- 24 Tang, X. D., Esimbek, J., Zhou, J. J., et al. 2013, *A&A*, 551, A28
- 25 <http://www.radioast.nsd.c.cn>
- 26 Sun, X. H., Reich, W., Han, J. L., et al. 2011, *A&A*, 527, A74
- 27 Komesch, T. et al. (2019). H₂CO and H110a Observations toward the Aquila Molecular Cloud. *The Astrophysical Journal*, 874(2), 1-10.
- 28 Shimoikura, T., Dobashi, K., Nakamura, F., et al. 2015, *ApJ*, 806, 2015
- 29 Heiles, C. 1973, *ApJ*, 183, 441
- 30 Sato, F., Mizuno, A., Nagahama, T., et al. 1994, *ApJ*, 435, 279
- 31 Evans, N. J., II, Zuckerman, B., Morris, G., & Sato, T. 1975, *ApJ*, 196,
- 32 Ripple, F., Heyer, M. H., Gutermuth, R., Snell, R. L., & Brunt, C. M. 2013, *MNRAS*, 431, 1296
- 33 Pibenbrink, A., & Wendker, H. J. 1988, *A&A*, 191, 313
- 34 Könyves, V., André, P., Men'shchikov, A., et al. 2015, *A&A*, 584, A91
- 35 Zhang, M., Fang, M., Wang, H., et al. 2015, *ApJS*, 219, 21

Принято в печать 06.05.2022

