

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

ӘОЖ 524.3-52; 537.86

Қолжазба құқығында

ЖЕКСЕБАЙ ДАУРЕН МУРЗАТУЫ

**Молекулалық бұлттардың және жұлдыздардың қалыптасуының
радиоастрономиялық сипаттамалары**

6D061100 – Физика және астрономия

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер:
PhD докторы, әл-Фараби
атындағы ҚазҰУ аға оқытушысы
Хохлов Серик Анатольевич

Professor of Xinjiang Astronomical
Observatory of the Chinese
Academy of Sciences
Jarken Esimbek

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2021

МАЗМҰНЫ

АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	3
КІРІСПЕ	4
1 МОЛЕКУЛАЛЫҚ БҰЛТТАРДЫҢ ЖӘНЕ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫН ЗЕРТТЕУДІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ	9
1.1 Молекулалық бұлттар ашылғаннан бастап қазіргі уақытқа дейінгі жұлдыздардың қалыптасуын зерттеу	9
1.1.1 ATLASGAL – Галактиканың APEX телескопымен үлкен аумақты зерттеуі	14
1.1.2 COHRS – күшті CO (3-2) эмиссиясы бар CO жоғары ажыратымдылық шолуы	16
1.2 Молекулалық сырт ағындар және олардың негізгі қасиеттері	24
1.3 Машиналық оқытудың астрофизикадағы және жұлдыз қалыптасуындағы артықшылықтары	27
1.3.1 Жұлдыз қалыптасуындағы терең оқытудың мүмкіндіктері	30
1.3.2 Сырт ағынды анықтау және параметрлерін болжау	33
1.4 Бөлім бойынша қорытындылау	37
2 COHRS CO (3–2) ШОЛУЫ БОЙЫНША МАССАСЫ ҮЛКЕН СЫРТ АҒЫНДАРДЫ АНЫҚТАУ	39
2.1 Мұрағаттық деректер және үлгілер	39
2.1.1 Мұрағаттық деректер	39
2.1.2 Түпнұсқа үлгілер	39
2.2 Сырт ағынды сәйкестендіру	41
2.3 Сырт ағын параметрлері	45
2.4 Сырт ағыны бар және сырт ағыны жоқ шоғырларды салыстыру	51
2.5 Сырт ағындарды анықтау ықтималдығы	51
2.6 Сырт ағын параметрлерін шоғыр қасиеттерімен салыстыру	55
2.7 Бөлімнің негізгі нәтижелері	59
3 ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫН ЗЕРТТЕУДЕГІ НЕЙРОЖЕЛІЛІК ТАЛДАУ	61
3.1 Машиналық оқыту және мәліметтерді талдау	61
3.2 Терең оқыту арқылы молекулалық бұлттардың және жұлдыздардың қалыптасуын жіктеу	65
3.3 Жұлдыз қалыптасу аймағының параметрлерін анықтаудағы нейрондық желілер	69
3.4 Бөлімнің негізгі нәтижелері	71
ҚОРЫТЫНДЫ	72
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	73
ҚОСЫМША А – 157 массасы үлкен сырт ағындардың PV диаграммалары	91
ҚОСЫМША Б – 84 массасы үлкен сырт ағындардың CO (3-2) интегралды қарқындылық картасы	111

АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Осы диссертациялық жұмыста келесі терминдер сәйкес анықтамалар қолданылады.

пк – парсек, астрономияда қашықтықты өлшеудің жүйелік емес бірлігі, $3.08 \cdot 10^{16}$ м-ге тең, объектке дейінгі қашықтық жылдық тригонометриялық параллакссы бір бұрыштық секундына тең.

FWHM (жартылай амплитуда деңгейінде толық ені) – толқын ұзындығы бойындағы спектрлік сызықтың максималды және минималды мәндерінің арасындағы айырма ретінде есептелген толық ені, оның максималды мәнінің жартысына тең деңгейде қабылданады.

SED – спектрлік энергияның таралуы.

YSO – жас жұлдызды объекті.

MSF – массивті жұлдыздың қалыптасуы.

ML (машиналық оқыту) – оқуға қабілетті алгоритмдерді құру әдістерін зерттейтін жасанды интеллекттің кең бөлімі.

CNN (үйірткілі нейрондық желі) – 1988 жылы Ян Лекун ұсынған және үлгіні тиімді тануға бағытталған жасанды нейрондық желілердің ерекше архитектурасы терең оқыту технологиясының бөлігі болып табылады.

GPU – графикалық процессор.

ATLASGAL (APEX Telescope Large Area Survey of the Galaxy) – бұл Галактиканың APEX телескопымен үлкен аумақты зерттеуі, Чилидің Чайнантор аралында 5100 м қашықтықта орналасқан APEX LABOCA болометр жүйесін қолданатын бақылау бағдарламасы.

COHRS (CO High-Resolution Survey) – CO жоғары ажыратымдылық шолуы.

CHIMPS ($^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$ ($J = 3 \rightarrow 2$) Heterodyne Inner Milky Way Plane Survey) – Құс жолының ішкі бөлігін гетеродинмен шолу.

PV диаграмма – позиция-жылдамдық диаграммасы.

rms – орташа квадраттық қателік.

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Бұл жұмыс массивті жұлдыз қалыптасуымен байланысты молекулалық сырт ағындарды зерттеуге арналған. Шоғырлар Галактиканың АРЕХ телескопымен үлкен аумақты шолуынан салыстырмалы түрде күшті CO (3–2) эмиссиясы бар CO жоғары ажыратымдылық шолуы (COHRS) арасынан таңдалды. Бастапқы үлгілер арасындағы сырт ағындарды анықтау негізінен CO (3-2) спектрлерінің сызық қанаттарын және позиция-жылдамдық (Position-Velocity – PV) диаграммасын галактикалық ендік пен бойлық бойымен кесілген кескінін тексеру арқылы жасалды.

Тақырыптың өзектілігі

Жұлдыздардың қалыптасуы – бұл протожұлдыздық объектілер коллапсы мен заттардың аккрециясын, сондай-ақ биполярлы сырт ағындар түріндегі жұлдыз қалыптасу жүйесінің әсерінен массасын жоғалтуды қамтитын күрделі процесс. Молекулалық сырт ағынның іске қосылу механизмі массивті жұлдыздардың пайда болуын түсіну үшін өте маңызды. Жаңадан пайда болған жұлдыздардың сырт ағыны импульс пен энергияны қоршаған молекулалық бұлтқа бірнеше астрономиялық бірліктен ондаған парсекке дейін қашықтықта жібереді. 1976 жылы Oгion KL жұлдыз қалыптасу аймағында алғашқы молекулалық сырт ағын тәжірибелік түрде ашылғаннан бері, көптеген басқа сырт ағындар ашылды. Соңғы 40 жылда массасы аз сырт ағындар саны айтарлықтай өсіп, нәтижесінде бірнеше түрлі модельдер пайда болды. Алайда массивті жұлдыздардың пайда болуымен байланысты молекулярлық сырт ағындар саны жағынан салыстырмалы түрде аз. Массивті жұлдыздардың пайда болуының процестері әлі де қызу пікірталастың тақырыбы болып табылатындығын ескере отырып, бұл процестерді түсіну үшін егжей-тегжейлі зерттеу үшін үлкен сырт ағындарды анықтау өзекті болып саналады.

Молекулалық сырт ағындар барлық массадағы жұлдыздар үшін, әсіресе жоғары массалы жұлдыздардың пайда болуы туралы түсінігімізді жақсартудың пайдалы құралы болып табылады. Массасы аз жұлдыздар үшін аккрециялық дискілерден туындаған биполярлық сырт ағындар теориялық модельдер мен бақылауларда расталған түзілу процесінің негізгі құрылыс материалы болып табылады. Алайда, жұлдыздардың жаппай пайда болу процесі әлі де көп талқылануда.

Жұлдыздардың массивті түзілуіне байланысты сырт ағындардың жүйелік зерттеулері массасы аз жұлдыздағы процестерді зерттеуге қарағанда әлдеқайда кеш басталды. 122 массивті жұлдыз түзуші аймақ (MSF) бағытында CO (1–0) қанаттарын іздеу олардың 90%-ында орташа және жоғары жылдамдықтағы қанаттар табылды. 10 MSF аймағының CO (1-0) картографиясы бес үлкен массалық сырт ағынды анықталды. Кейінірек 69 массивтік протожұлдыздарды CO (2-1) үміткерлеріне жүргізілген шолу жоғары жылдамдықты газдың жұлдыздардың жас объектілерінде кең таралғаны көрсетілді. 26 дереккөздің 21-інде биполярлық сырт ағын анықталды. Бұл зерттеулер көрсеткендей, массасы үлкен сырт ағындар массасы аз сырт ағындарға қарағанда әлдеқайда массивті

және қуатты. Массивті және массасы аз сырт ағындардың коллимациялық факторлары айтарлықтай ерекшеленбейтіндігі анықталды, бұл өзге жұмыс нәтижелерінен ерекшеленді. 6.7 ГГц жиілікте метанол мазерімен байланысты 54 массасы үлкен сырт ағындарды зерттеу іске асырылып, массасы үлкен сырт ағындар аз массалы объектілер үшін де орындалатын сырт ағындар белсенділігі мен шоғыр массасы арасындағы масштабтау заңына бағынды, яғни аз массалы және массасы үлкен жұлдыздарда қалыптасу үдерісі бірдейлігін көрсетілді. Сырт ағындар қоршаған ортадағы турбуленттілікті тудыратындай қуатты, бірақ бұлт турбуленттілігіне айтарлықтай ықпал етпейді деп болжанды.

Жоғарыда айтылғандардан массивті жұлдыздардың қалыптасуына байланысты молекулалық сырт ағындарды мұқият зерттеу қажет деген қорытынды жасауға болады.

Дәстүрлі сырт ағынды іздеу әдістері, әдетте, басқа бақылаулардан белгілі жұлдыз қалыптастыру белсенділігінің анықтамалық дереккөздеріне негізделген. Инфрақызыл дереккөздер молекулалық сырт ағынның индикаторы ретінде пайдаланылды. Соңғы онжылдықта молекулалық сырт ағынды ауқымды іздеу минуттық бұрыштық ажыратымдылықтан молекулалық сызықтарды зерттеудің көп деректері арқылы мүмкін болды.

Алайда, қолмен сәйкестендіру зерттеулері көп деректерді өңдеуге байланысты ауыр және адамдар бейнені қалай қабылдауы сияқты субъективті факторларды қамтиды. Компьютерлік іздеу әдістерін енгізуге қатысты аздаған жұмыстар бар. Соңғы жылдары машиналық оқыту алгоритмдері қарапайымдылығымен және дәлдігімен үлгіні тану саласында кеңінен қолданыла бастады. Белгіленген критерийлерден гөрі алдын-ала белгіленген үлгілер жиынтығына сүйене отырып, олар нақты анықтау қиын құрылымдарды анықтауға арналған тамаша құралдар болар еді.

Астрофизикалық мәліметтер жиынтығын талдауда ML әдістерін қолдану өсуде. Үлкен көлемдегі мәліметтер жиынтығын санаулы уақытта өңдеу қабілеті бар бұл әдістер машиналық оқытуды одан әрі тартымды етеді. Машиналық оқыту саласында үздіксіз жаңалықтар ағыны болғандықтан, оны астрономиядағы қолдану оның орасан зор әлеуетін көрсетеді. Деректерді талдаудың бұл жаңа әдісі астрономиялық мәселелер туралы басқаша ойлануды, деректер туралы жаңа көзқарастарды дамытуды және информатика, техника және басқа салалардағы зерттеушілермен белсенді ынтымақтастықты талап етеді.

Машиналық оқыту әдістері сәйкестендіру мен жіктеу процесінің қажетті абстракциясы үшін болашағы бар жол ұсынады. Бұл әдістерді анықтайтын алгоритмдер мәліметтерге негізделген және бақыланатын және қажетті параметрлері арасындағы байланысты параметрлік физикалық модельдерді қолданбай зерттеуге арналған. Қосымша мәліметтер алынып, жаттығулар жиынтығының сапасы мен көлемі жақсарған сайын, машиналық оқыту өзінің білімін және мәліметтер жиынтығының моделін жақсартып алады, одан да нақты болжамдар жасай алады. Сондай-ақ, адамдардан айырмашылығы, машиналық оқыту модельдері жедел және автоматты түрде жаңа масштабталатын процесс арқылы жаңа деректер туралы болжам жасай алады.

Жұмыстың мақсаты массивті жұлдыздардың пайда болуының процестерін түсіну үшін үлкен сырт ағындарды анықтау және зерттеу болып табылады.

Зерттеудің міндеттері

1 Бастапқы үлгілер арасындағы сырт ағындарды CO (3-2) спектрлерінің сызық қанаттарын және PV диаграммасын галактикалық ендік пен бойлық бойымен кесілген кескінін тексеру арқылы анықтау.

2 Сырт ағынның физикалық қасиеттері есептеу

3 Сырт ағын параметрлерін шоғыр қасиеттерімен сылыстыра отырып осы параметрлердің физикалық мәндерін талқылау.

Зерттеу нысандары: ATLASGAL дереккөзінен салыстырмалы түрде күшті CO (3–2) эмиссиясына ие шоғырлар.

Зерттеу пәні: молекулалық сырт ағындарда болатын құбылыстар заңдылықтары.

Зерттеу әдісі

Радиоастрономиялық сигналдарды талдау үшін осы диссертацияда кешенді талдау әдістері қолданылады. Компьютерлік талдау Gildas бағдарламалық кешенінде және Python бағдарламасымен жүргізілді.

Қорғауға арналған негізгі тұжырымдар:

1 COHRS деректерінен құрылған PV (позиция-жылдамдық) диаграммаларын талдау Галактиканың $10^\circ < l < 55^\circ$ және $|b| \leq 0.5^\circ$ аймағында массивті сырт ағыны бар 157 жаңа жұлдыз қалыптасу шоғырларының болуын көрсетеді.

2 Жұлдыз қалыптасу сатысы дамыған (H II аймағына тиісілі MSF) шоғырлардың физикалық параметрлері ($M_{clump} > 2.5 \times 10^3 M_\odot$, $L_{bol} > 3.0 \times 10^5 L_\odot$, $T_{dust} > 20K$, $N_{H_2} > 10^{22.4} cm^{-2}$) жоғары мәндерге ие, сонымен қатар зат ағынының лездігі ($\dot{M}_{out} > 3.2 \times 10^{-3} M_\odot yr^{-1}$) де жоғары болады.

3 CO (3-2) молекулаларының интенсивтілік спектрлерін талдаумен анықталған механикалық күш, массасы төмен шоғырларға ұқсас, массивтік шоғырларда жарықтылық жоғарылаған сайын өседі, бұл логарифмдік масштабта сызықтық жуықтауға сәйкес келеді ($\lg(F_{out}) = -4.90 + 0.70 \lg(L_{bol})$).

Жұмыстың ғылыми жаңалығы алғаш рет келісі жұмыстар жүргізілуіне байланысты:

1 Толық үлгілерде 20% анықтау ықтималдығымен барлығы 157 массасы үлкен сырт ағындар анықталды, және анықталған биполярлы сырт ағындармен және сенімді қашықтықтағы 84 сырт ағынның қасиеттері есептелді.

2 Сырт ағындар тиісінше 5 тыныш шоғырларда (5/19 немесе 26%), 7 протожұлдыз шоғырларында (7/93 немесе 8%), 67 YSO шоғырларда (67/386 немесе 17%) және 78 MSF шоғырларда (78/269 немесе 29%) анықталды. 26% тыныш шоғырда анықтау жылдамдығы үлгінің аздығына байланысты.

3 Үлгі үшін сырт ағын массасы мен шоғыр массалары арасындағы статистикалық байланыс $\lg(M_{out}/M_{\odot}) = (-1.1 \pm 0.21) + (0.9 \pm 0.07) \lg(M_{clump}/M_{\odot})$ қатынасымен анықталды.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңызы

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелерді массивті жұлдыздардың қалыптасу процестерін зерттеу және қалыптасу механизмін түсіну үшін қолдануға болады.

Автордың жеке үлесі

Дипломдық жұмыстың авторы Қытайдағы обсерваторияда (Xinjiang Astronomical Observatory of the Chinese Academy of Sciences, Үрімші) спектрлік мәліметтерді өңдеуге, талдауға қатысты.

Талдау нәтижелерін үміткердің жеке өзі алды. Тапсырмаларды қою және нәтижелерін талқылау ғылыми кеңес берушілермен бірлесіп жүзеге асырылды.

Нәтижелердің сенімділігі

Жұмыстың ғылыми қорытындысының сенімділігі теориялық модельдердің келісуімен, басқа авторлар алған ұқсас объектілерді зерттеу туралы тұжырымдармен расталады.

Жұмыстың апробациясы

Диссертациялық жұмыс материалдары негізінде 7 баспа жұмыстары жарық көрді.

Thomson Reuters деректер базасы бойынша немесе Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына енетін басыламдарда жоғары импакт-факторлы мақалалар:

1. Li Q., Zhou J., Esimbek J., He Y., Baan W.A., Li D., Wu G., Tang X., Ji W., Zhexeray D. High-mass Outflows Identified from COHRS CO (3–2) Survey // The Astrophysical Journal. – 2018. – Vol. 867, № 2. – P. 167.

Қазақстан Республикасы БҒМ БҒСБҚК ұсынған басылымдардағы мақалалар:

1. Жексебай Д.М., Хохлов С.А., Әсілхан Ә.Д., Хохлов А.А. Машиналық оқытудың (machine learning) көмегімен молекулалық бұлттарды және жұлдыздардың қалыптасуын жіктеу // Вестник КазНУ. – 2020. – Т. 139, № 3. – С. 142-149.

2. Жексебай Д.М., Хохлов С.А., Кожангулов Е.Т. Прогнозирования параметров и классификация молекулярного оттока с помощью сверточных нейронных сетей //Recent Contributions to Physics. – 2020. – Vol. 75, № 4. – С. 88-95.

3. Kozhagulov Y.T., Zhexebay D.M., Sarmanbetov S.A., Sagatbayeva A.A., Zholdas D. Comparative analysis of object detection processing speed on the basis of neuroprocessors and neuroaccelerators //Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2020. – Vol. 332, № 4. – P. 61-67.

Тезистер жинақтарындағы жарияланымдар:

1. Zhanabaev Z.Zh., Kozhagulov Y.T., Khokhlov S.A., Ibraimov M.K., Zhexebay D.M., Agishev A.T. Commercialization of Studies of Neural Network Integrated Circuits //«Қоғамдық сананы жаңғыртудағы жоғары оқу орнының

рөлі: «Университет 4.0 моделіне көшу» атты 48-ші ғылыми-әдістемелік конференциясының материалдары, 2018. – Т. 18. – С. 216.

2. Жексебай Д.М., Сарманбетов С.А., Агишев А.Т. Биометрическая система на основе нейронных сетей для учета рабочего времени //Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», 2019. – С. 254.

3. Sagatbayeva A.A., Aitu B., Kanishuly I., Zhexebay D. Deep neural networks for object detection //Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», 2019. – С. 283.

Авторлық куәліктер:

1. Кожагулов Е.Т., Ибраимов М.К., Хохлов С.А., Жексебай Д.М., Сарманбетов С.А. Farabi Vision 1 – Тұлғаны сәйкестендіру арқылы жұмыс уақытын есепке алудың биометриялық жүйесі //Авторлық куәлік, 2019. № 1464.

2. Агишев А.Т., Хохлов С.А., Кожагулов Е.Т., Сарманбетов С.А., Жексебай Д.М., Ибраимов М.К. КІТС СТАТ – Келушілерді санау және видео-аналитика жүйесі //Авторлық куәлік, 2019. № 5461.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыстар жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыста әзірленген әдістер ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес «Бейімделгіш өзқауымдасқан нейрондық желіге негізделген машинаның көру» тақырыбы бойынша ҚР БҒМ ҒК «Өнімді инновацияларды ынталандыру» жобасының шеңберінде қолданылады.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі

Диссертация кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және екі қосымшадан тұрады. Жұмыс 41 сурет кескінделген, 2 формула, 5 кесте келтірілген, пайдаланылған әдебиеттер тізімі 211 атауды қамтитын 124 беттен тұратын машинамен басылған мәтінде берілген.

1 МОЛЕКУЛАЛЫҚ БҰЛТТАРДЫҢ ЖӘНЕ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫН ЗЕРТТЕУДІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

1.1 Молекулалық бұлттар ашылғаннан бастап қазіргі уақытқа дейінгі жұлдыздардың қалыптасуын зерттеу

Молекулалық бұлттар – бұл галактикалардағы жұлдызаралық ортаның ең тығыз бөліктері. Олар ашылғаннан бастап жұлдыздардың пайда болу орны ретінде бірінші кезекте қызығушылық тудырды. Молекулалық бұлттардың жаңа галактикалық жұлдыздарды жұлдызаралық орта үшін энергияның негізгі қайнарына айналдыруында маңызды галактикалық рөлі бар. Сонымен, молекулалық бұлттардың өмірлік циклын түсіну, жұлдыздардың қалай пайда болатындығын түсіну үшін ғана емес, сонымен қатар жұлдызаралық ортаның динамикасын, сайып келгенде, галактикалардың эволюциясын түсіну үшін де маңызды [1, 13-бет].

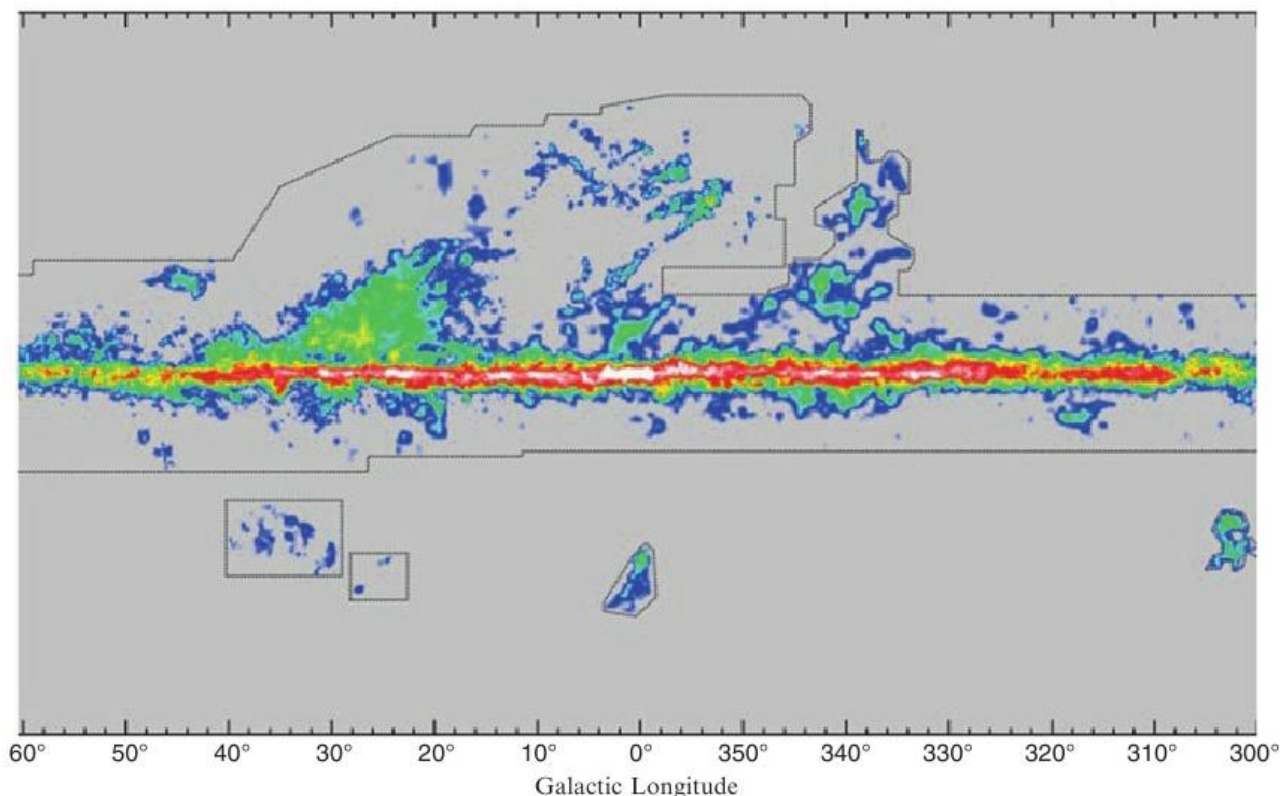
Жұлдызаралық молекулалар жақында ашылғаны жаңалық емес. 1940 жылдарға қарай оптикалық спектроскопия арқылы екі атомдық CN, CN + және CN формалары табылды [2-3]. Олар қазіргі кезде диффузиялы жұлдызаралық бұлт деп аталады. Екі атомды OH радикалы 1963 жылы радиотехниканың көмегімен ашылды [4], бірақ 1960 жылдардың аяғында ғана жұлдызаралық тығыз бұлттардағы көп атомды молекулалардың маңызды ашылулары басталды [1, 29-бет].

Радиотелескоптардың пайда болуымен жұлдызаралық ортаны зерттеу астрономияның дербес саласына айналды. Галактикадағы бейтарап атом сутегінің (H I аймақтары) таралуы оның 21 см сызықтағы радиосәулесімен зерттелді. 1970 жылдардың басында радиоастрономдар жұлдыздар ортасында құрамында жеті атомға дейін болатын бірнеше күрделі молекулаларды ашты; мұндай молекулалар өте тығыз және суық бұлттарда ғана қалыптасып, өмір сүре алар еді. Сонымен бірге, орбитаға шығарылған ультратфиолет телескоптар ғаламатжұлдыз жарылыстарынан туындайтын өте ыстық, тығыздығы төмен жұлдызаралық газды тапты [5, 13-бет].

1975-1976 жж. солтүстік жарты шардан көрінетін Құс жолы бөлігінің CO сызығының алғашқы шолулары жарияланды. Бұл шолулар диаметрі бір метрден асатын антенналармен жасалған, олардың бұрыштық ажыратымдылығы шамамен 0.1° . Әрине, осындай бақылаулардың нәтижелері бойынша тек ең үлкен бұлттарды және олардың шоғырларын анықтауға болатын, бірақ бұлттардың ішкі құрылымын егжей-тегжейлі зерттеу мүмкін болмады.

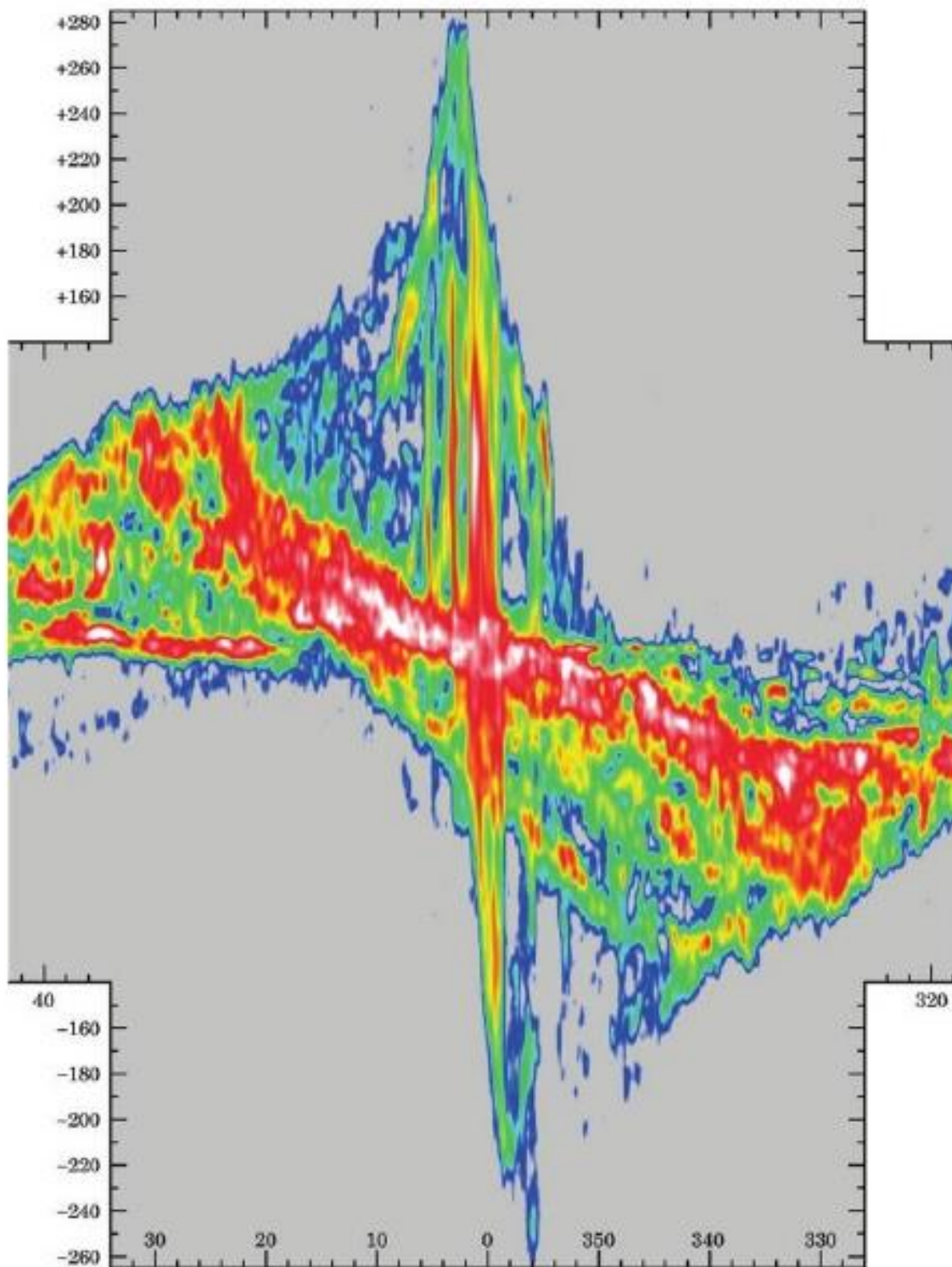
1980 жылдан кейін CO молекулаларының эмиссиясы анағұрлым жақсы бұрыштық ажыратымдылықпен зерттеле бастады. Мысалы, 1981-1982 жж. [6] жұмыстағы шолу американдық бес колледждің Біріккен радиоастрономия обсерваториясында (Five College Radio Astronomy Observatory) жүргізген, 2.6 мм толқын ұзындығында $44''$ бұрыштық ажыратымдылыққа ие диаметрі 14 метр антеннаны қолданды. Құс жолы бойымен ені 2° және ұзындығы 82° жолақта CO молекуласының 40 мың эмиссия спектрі алынды.

Галактика жазықтығының алғашқы толық карталарының бірі 1987 жылы Томас Дэйм (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) мен оның әріптестері жасаған болатын [7]. 1-суретте 2001 жылы жарияланған [8] галактикалық жазықтықты зерттеу картасы және 2-суретте жылдамдықтың галактикалық бойлыққа қатысты мәліметтері көрсетілген [9, 141-бет].



Сурет 1 – Құс жолы жазықтығы бойынша жылдамдықпен интегралданған CO эмиссиясының картасының сегменті [8]

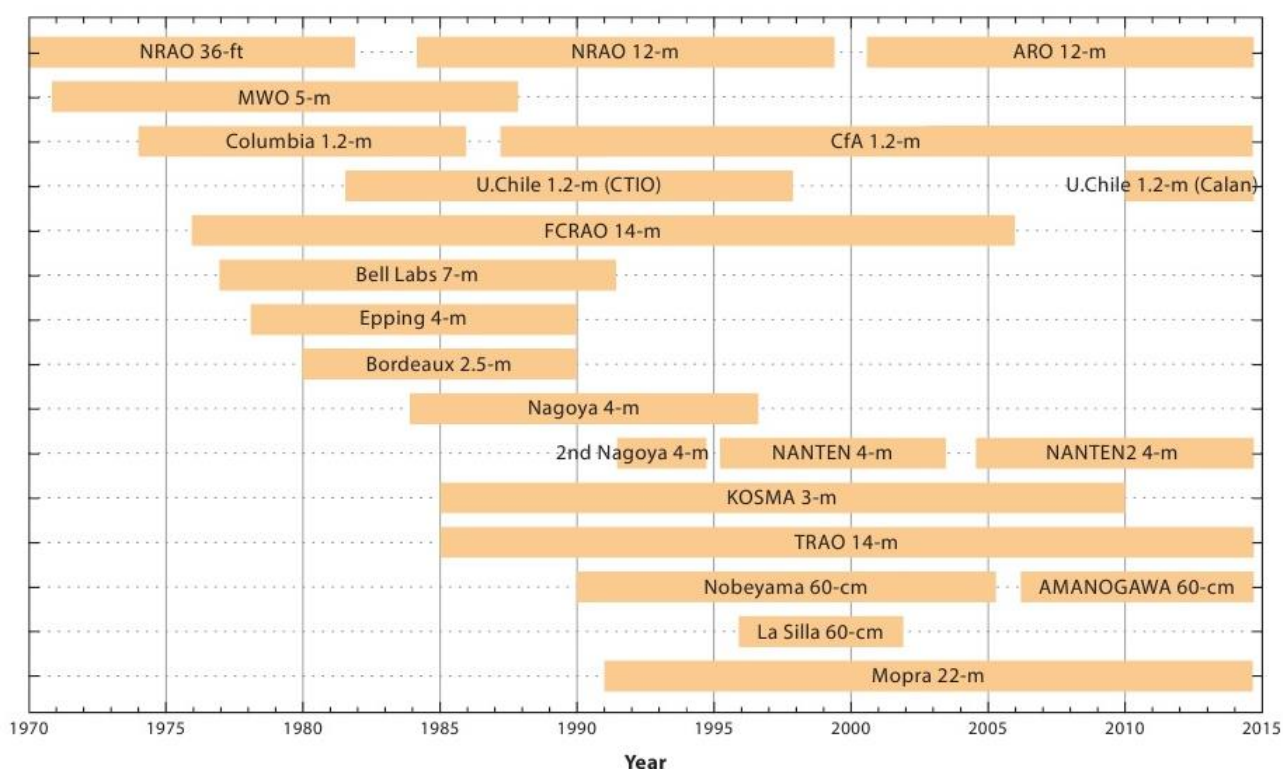
1.2 метрлік CfA телескопымен алынған Галактиканың бірінші және екінші ширегінің Орион мен Торпақтағы жақын орналасқан молекулалық бұлттардың кешендеріне жаңа ауқымды шолулар осы құралмен және ұқсас телескоппен (Чилидегі Cerro Tololo) соңғы жиырма жыл ішінде алынған 31 басқа шолулармен біріктірілді, яғни CO-ны қолдана отырып, бүкіл Құс жолына жаңа композициялық шолу жасалған. Шолу 488000 спектрден тұрған. [7] жұмыстағы CO шолумен салыстырғанда жаңа зерттеудің спектрлері 16 есе көп, бұрыштық ажыратымдылығы 3.4 есеге дейін және сезімталдығы 10 есеге дейін жоғары. Композициялық карталар жекелеген молекулалық бұлттар туралы толық ақпарат береді, бұлт пен аспанда кең бөлінген аймақтар арасындағы қатынастарды ұсынады және молекулалық галактиканың негізгі құрылымдық ерекшеліктерін нақты бейнелейді. Сонымен қатар, газ, шаң және I популяция объектілері молекулалық бұлтпен байланысты барлық негізгі толқын ұзындықтарында галактикалық сәулеленуге ықпал етеді, сондықтан осы шолуда келтірілген нақты кинематикалық ақпарат Галактиканы көптеген ауқымды зерттеулерге негіз болады [8].



Сурет 2 – Галактикалық бойлықтың CO эмиссиясының жылдамдығына тәуелділігі картасының фрагменті [8]

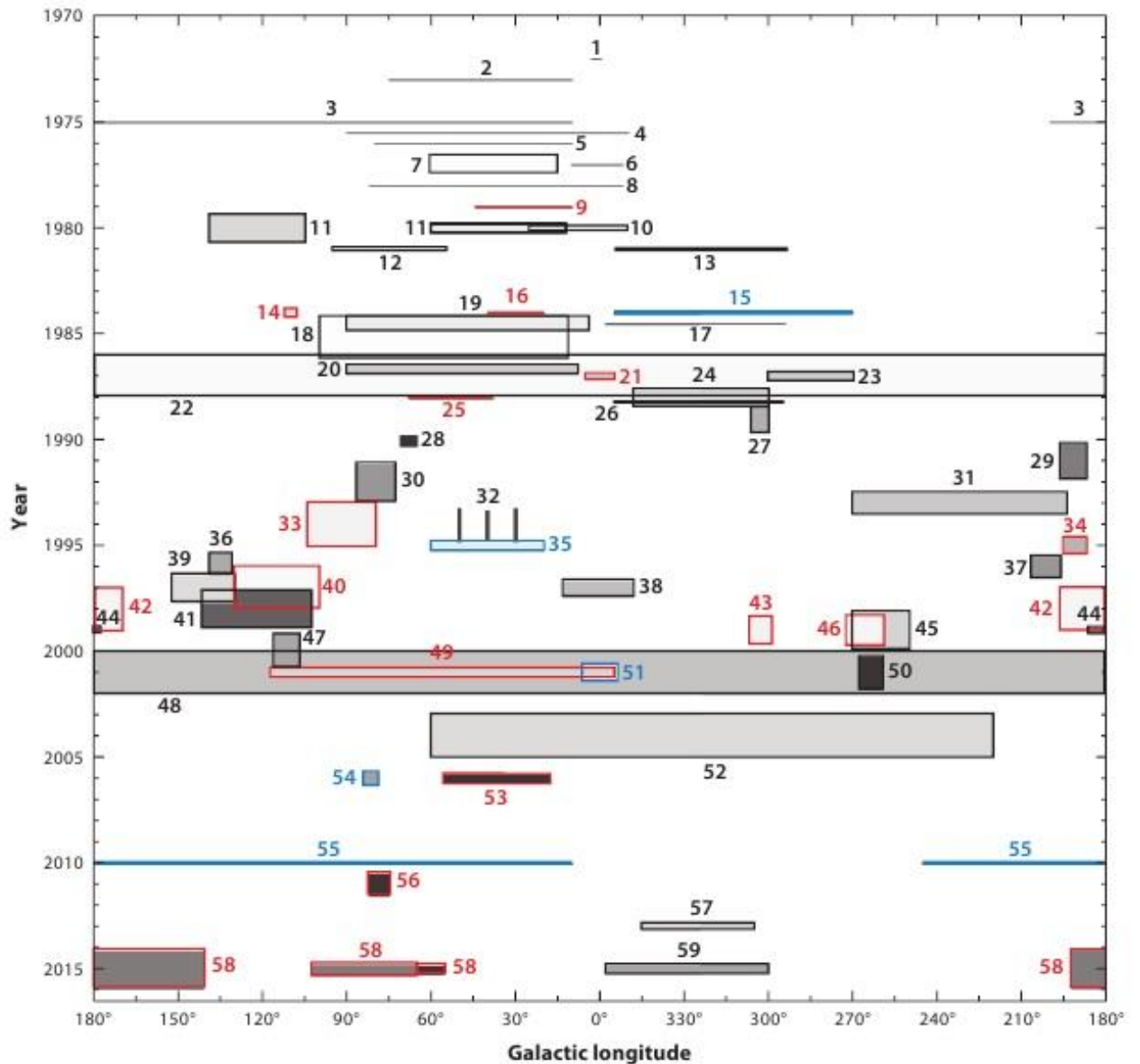
CO зерттеулері тек молекулалық бұлттарды тікелей зерттеу үшін ғана емес, сонымен қатар барлық басқа толқын ұзындықтарындағы галактикалық сәулеленуді түсіндіру үшін маңызды. Молекулалық бұлттар диффузиялы гамма-сәулеленудің көп бөлігін шығарады [10] және диффузиялық рентгендік фонды сіңіреді [11], және олар оптикалық және инфрақызыл диапазондарда қараңғы тұман ретінде көрінеді [12]. Молекулалық бұлттардағы шаң алыс

инфрақызыл [13] және миллиметрлік толқын континуумындағы [14-15] галактикалық сәулеленудің көп бөлігіне жауап береді. Молекулалық бұлттарда массивті жұлдыздардың түзілуі мазерлер мен көрнекті радио континуум, инфрақызыл, рентген және TeV гамма-сәулелену көздерін жасайды. Сонымен қатар, CO зерттеулері маңызды кинематикалық ақпаратты ұсынады, бұл диффузиялық сәулелену қашықтығы мен басқа толқын ұзындығында байқалатын көздер үшін жалғыз сілтеме болып табылады. Олардың спираль құрылымын зерттеудегі маңыздылығын ескере отырып, CO-дағы галактикалық түсірулер кез-келген басқа толқын ұзындығындағы түсірілімге қарағанда кеңірек қолданылу мүмкіндігіне ие болуы мүмкін [16]. 3-суретте CO эмиссиясына маңызды зерттеулер жүргізген телескоптардың тізімін келтірілген және әрқайсысы жұмыс істеген уақыт кезеңдерін көрсетеді.



Сурет 3 – Көміртегі оксидіне арналған Құс жолына кең көлемде зерттеулер жүргізген телескоптардың қысқаша мазмұны [16]

1970 жылы CO сызығы ашылғаннан бері галактикалық жазықтықтағы үлкен CO түсірілімдері 4-суретте көрсетілген. Мұндағы үлкен аймақ $>10 \text{ deg}^2$ немесе галактикалық жазықтық бойымен 5° -тан жоғары бақылау зонасы ретінде анықталған. Бұл көрсеткіш Галактика жазықтығында және уақытқа байланысты жүргізілген зерттеулер саны, мөлшері, түрі және сапасы туралы көп нәрсе айтады. Мысалы, бірінші квадрант ең кең және сезімтал түрде зерттелгені және үшінші квадранттың көп бөлігі 0.5° -тан жоғары бұрыштық шешіммен зерттелгенге дейін 20 жылдан астам уақыт өткені анық. 4-суретте хронологиялық тәртіпте ерекше қызықты шолулардың бірнешеуі келтірілген.



Сурет 4 – Галактикалық жазықтықтағы негізгі CO түсірілімдерінің қысқаша мазмұны [16]. Әр шолудың шекаралары жарияланған жылы тік төртбұрышпен жуықталады. Қызыл түспен көрсетілген көріністер ^{13}CO сызығына, ал көк ^{12}CO (2-1) сызығына арналған. Сұр реңктері аудан бірлігі мен жылдамдық диапазонына сезімталдықты көрсетеді. Атап айтқанда, ол 1 km s^{-1} спектрлік ажыратымдылықтағы орташа квадраттық қателігін (rms) көрсетеді, оны 1 deg^2 шегінде барлық зерттеу спектрлерін орташаландыру арқылы алуға болады. Сұр реңктері $\sim 0,01 \text{ K}$ (қара) - $\sim 10 \text{ K}$ (ақ) аралығында. Сандар әрбір жасалған шолуларға сәйкес келеді: 1- [17], 2- [18], 3- [19], 4- [20], 5- [21], 6- [22], 7- [23], 8- [24], 9- [25], 10- [26], 11- [27], 12- [28], 13- [29], 14- [30], 15- [31], 16- [32], 17- [33], 18- [34], 19- [35], 20- [36], 21- [37], 22- [7], 23- [38], 24- [39], 25- [40], 26- [41], 27- [42], 28- [43], 29- [44], 30- [45], 31- [46], 32- [47], 33- [48], 34- [49], 35- [50], 36- [51], 37- [52], 38- [53], 39- [54], 40- [55], 41- [56], 42- [57], 43- [58], 44- [59], 45- [60], 46- [60], 47- [61], 48- [8], 49- [62], 50- [63], 51- [64], 52- [65], 53- [66], 54- [67], 55- [68], 56- [69], 57- [70], 59- [71]

36 футтық NRAO телескопымен орындалған аспанның алғашқы шолулары [17-22, 24-25] Галактика жазықтығындағы немесе оған өте жақын аймақтар нашар тандалған бақылау жолақтары болды. Бұл Галактикалық орталықта [17,22] және ішкі Галактикада [18-21] молекулалық газдың көп болғандығын көрсетеді.

^{13}CO жазықтығының алғашқы зерттеуі [25] осы сызықтан алынған H_2 таралуы, әлдеқайда мөлдір CO сызығынан алынған таралудан айтарлықтай ерекшеленбейтіндігін көрсету үшін маңызды болды. Біріншіден, жазықтық бойындағы ^{13}CO спектрлері сигнал шудың арақатынасы төмен болатын ^{12}CO спектрлерінің нұсқаларына ұқсады. Бұл қазіргі кезде де бар деген болжамға алып келді: ауқымды түрде CO сызығы оптикалық қалың бұлттарды немесе молекулалық бұлттардың ішінде және бүкіл галактиканың бойында орташа қасиеттері ұқсас шоғырларды құрайды.

[34] жұмыс үлкен шолу салыстырмалы түрде қарапайым бағдарламалық жасақтама техникасын 1.2 метрлік телескоптарды қолданып, өте үлкен аудандардың сапалы үлгілерін тез алуға мүмкіндік берді. 1980 жылдардың басында және ортасында шолулар тиімді бұрыштық ажыратымдылығы 0.5° болатын 1.2 метрлік телескоптармен жүргізілді. Бұл 1987 жылы [7] бүкіл Күс жолы туралы алғашқы зерттеуге мүмкіндік берді. Бұл шолу жұлдыздардың пайда болуын және Галактиканың құрылымын зерттеу үшін кеңінен қолданылды.

2001 жылға қарай бұл шолуларды бірлікке шаққанда шамамен 10 есе жоғары сезімталдықпен Галактиканың жаңа шолуы жасалды [8]. Барлық компоненттік шолулар және толық композициялық зерттеу Интернетте шикі, интерполяцияланған шудың күші жойылған деректер текшелері ретінде қол жетімді болғандықтан [8] жұмыстағы шолу галактикалық молекулалық газдың ең ауқымды және кең қолданылатын санағы болып қала береді.

CO -ға арналған тағы бір композициялық зерттеу 1996 және 2004 жылдар аралығында Las Campanas обсерваториясындағы 4-метрлік NANTEN телескопы жүргізген бақылаулардан құрастырылды [65]. Толық көрініс 220° бойлықтан Галактикалық орталықтан 60° бойлыққа дейін созылады және 1,1 миллионнан астам спектрді қамтиды. 1.2 м-дегі шолумен салыстырғанда, NANTEN түсірісі жазықтықтың жанынан екі есе бұрыштық ажыратымдылықты қамтамасыз етеді және аудан бірлігі мен жылдамдық интервалына шамамен бірдей сезімталдықты қамтамасыз етеді.

Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO) 14 метрлік телескоп Күс жолындағы CO эмиссиясын картаға түсіруге маңызды үлес қосты. University of Massachusetts–Stony Brook (UMSB) бірінші квадрантқа жүргізген зерттеуі [36] молекулалық газдың ішкі Галактикада таралуын ($R_{\text{GAL}} < 8,5$ кпк) және молекулалық бұлттардың қасиеттерін зерттеу үшін кеңінен қолданылды.

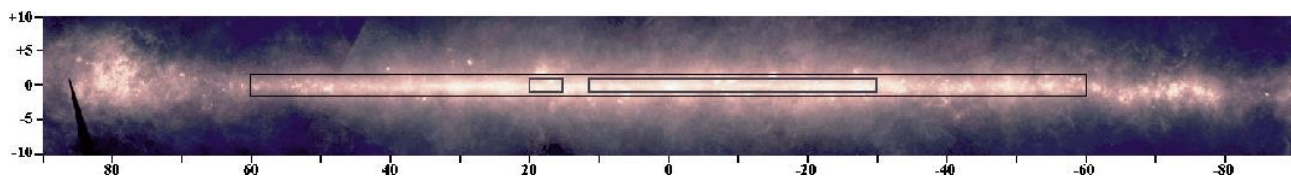
1.1.1 ATLASGAL – Галактиканың APEX телескопымен үлкен аумақты зерттеуі

(Суб) миллиметр (submm) диапазонындағы шаңның үздіксіз эмиссиясы жұлдыздардың пайда болуының алғашқы фазаларының ең сенімді

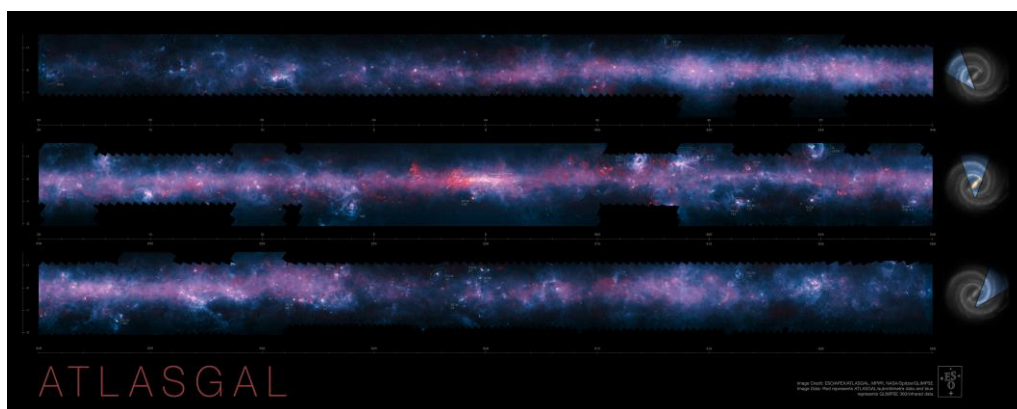
көрсеткіштерінің бірі болып табылады, өйткені ол жұлдыздар пайда болатын тығыз жұлдызаралық материалды тікелей зерттейді. Жұлдыздардың пайда болуы мен ерте эволюциясын түсінуге тырысу қазіргі астрофизиканың маңызды бағыты болып табылады [72].

Бірнеше топ молекулалық комплекстерді кеңейтілген масштабты картаға миллиметрлік континуум бойынша жүргізді. Submillimeter Common User Bolometer Array (SCUBA) құралын қолдану арқылы [73] жұмыста Жылан ұстаушы жұлдызын құрайтын бұлттың 4 deg^2 картасын түсірді және [74] жұмыста Персей молекулалық бұлтының 3 deg^2 қамтыды.

Биіктігі 5100 м және ендігі -23° орналасқан керемет алаңында диаметрі 12 м болатын APEX телескопы Галактикалық жазықтықтың екі ішкі квадранттарын дәл бақылау үшін өте қолайлы. Бонндағы Макс Планк атындағы радиоастрономия институты (MPIfR) басқарған консорциум, оның құрамына Гейдельбергтегі Макс Планк астрономия институтының ғалымдары, сонымен қатар ESO және Чили қауымдастықтарының өкілдері кіретін ғалымдар Галактиканың үлкен аумағын APEX телескопы (ATLASGAL) арқылы зерттей бастады. Бұл жоба бірнеше жүз deg^2 бірдей сезімталдықпен бейнелеп, ішкі галактикалық жазықтықты жүйелі түрде түсіруге бағытталған. 5-суретте осы құралды қолдану арқылы түсірілген кескін келтірілген [14]. 6-суретте 0.87 миллиметрдегі APEX деректері қызыл түспен көрсетілген, ал фондық көк сурет GLIMPSE зерттеуінің шеңберінде НАСА-ның Спитцер космостық телескопымен қысқа инфрақызыл толқын ұзындықтарында түсірілген.

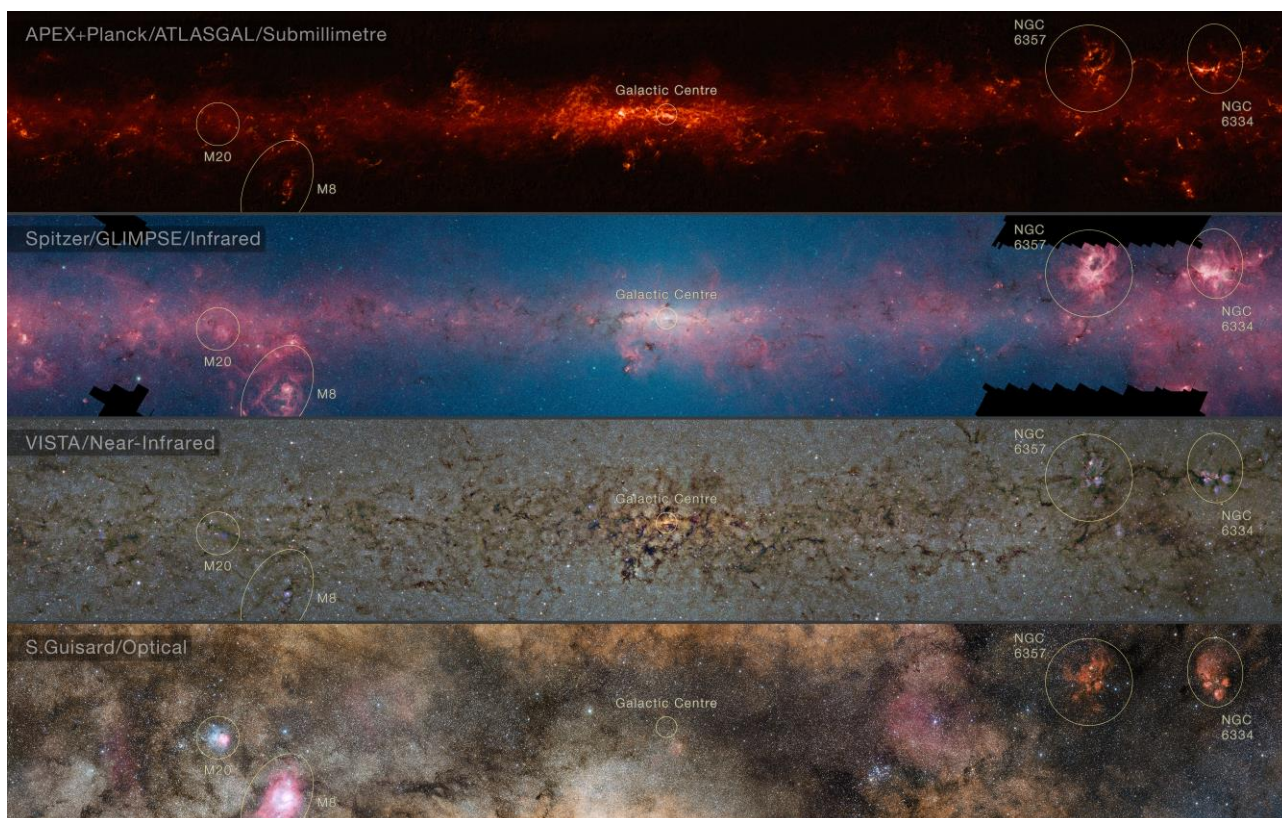


Сурет 5 – ATLASGAL бақылауларын қамту IRAS жасанды түсті кескінімен жабылған (көк түсте $12 \mu\text{m}$, жасыл түсте $60 \mu\text{m}$ және қызыл түспен $100 \mu\text{m}$). Бұл кескін галактикалық бойлық бойынша $\pm 90^\circ$ және ендік $\pm 10^\circ$ қамтиды. Ұзын тіктөртбұрыш 2009 жылдың соңына дейін қамтылған аумақ; $\pm 60^\circ$ аралығы 1 және $\pm 1.5^\circ$ аралығы b. Ішіндегі кішігірім тіктөртбұрыштар 2007 жылы бақыланған аумақтар



Сурет 6 – APEX телескопы арқылы Галактиканың үлкен аумақты шолу (ATLASGAL) нәтижесі бойынша Құс жолының керемет жаңа бейнесі

7-суретте әр түрлі толқын ұзындығындағы Галактиканың кескіні келтірілген. Жоғарғы панельде APEX-тің ATLASGAL шолуында анықтаған шағын субмиллиметрлік жарық көздері және кең нысандарды анықтау үшін ESA-ның Planck спутнигінен алынған қосымша мәліметтер көрсетілген. Екінші панельде NASA ғарыштық телескопы қысқа инфрақызыл толқындарда көретін аймақ көрсетілген. Үшінші панель аспанның сол бөлігін қысқа толғынды, жақын инфрақызыл сәулелермен, Чилидегі Паранал обсерваториясындағы ESO VISTA инфрақызыл бақылау телескопымен көрінеді. Мұнда шаңның қара жіпшелер ретінде пайда болатын аймақтар ATLASGAL кескінінде айқын көрінеді. Ақырында, 7-суреттің төменгісі неғұрлым таныс көрінетін жарық көрінісі көрсетілген, алыстағы құрылымдардың көпшілігі көзбен байқалмайды.



Сурет 7 – Әр түрлі толқын ұзындығында байқалатын Құс жолының орталық аймақтарын көрсететін салыстыру

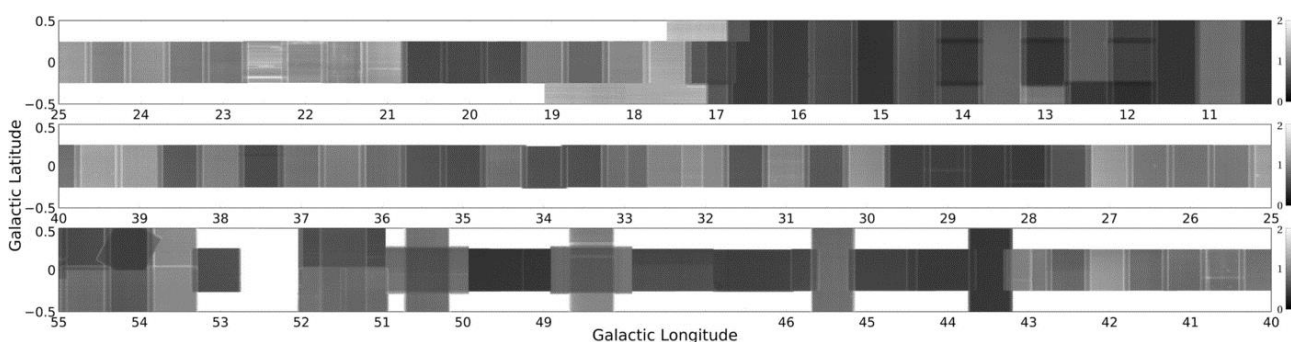
1.1.2 COHRS – күшті CO (3-2) эмиссиясы бар CO жоғары ажыратымдылық шолуы

Галактикалық жазықтықтың молекулалық компонентін көміртегі оксидінің айналмалы ауысуларынан байқауға болады. CO молекуласы таралуы бойынша екінші орында болғандықтан галактикалық жазықтықта барлық жерде кездеседі. CO молекула ретінде төмен энергияларда айтарлықтай энергия шығармайтын молекулалық сутекті бақылау үшін қолданылады. CO-ның әртүрлі айналу ауысулары көбінесе жұлдыздардың пайда болу индикаторлары ретінде қолданылады және жылдамдық құрылымы мен молекулалық бұлттардың морфологиясы туралы толық ақпарат береді. Молекулалық бұлттар

Галактикадағы барлық жұлдыздардың пайда болуына арналған материалдардың резервуарлары болып табылады.

Аспап жасау саласындағы жетістіктер, сондай-ақ бұрынғы деректерге ұмтылу галактикалық жазықтықты кең көлемде зерттеудің өсуіне әкелді. Толқын ұзындығының диапазонын қамтитын бірқатар үздіксіз зерттеулер галактикалық жазықтықтың бірінші және төртінші ширектерінде жүргізілді. Олардың ішіндегі ең көрнектілері – Hi-GAL (Herschel Galactic Plane Infrared Survey; [75]) және GLIMPSE I (Galactic Legacy Extra Emergency Mid-Plane Infrared Survey, [76]) және MIPS GAL [77] Спитцерден шолулар. Осы зерттеулерден басқа диаметрі 1.1 мм болатын Bolocam Northern Galactic Plane Survey (BGPS [78,15]) жер үсті шолулары да бар, 870 мкм ATLASGAL [79], UCH II аймақтарының CORNISH зерттеуі [80] және UKIDSS (UK IR Deep Sky Survey, [81]), бұл неғұрлым жетілдірілген көздерді іздеуге мүмкіндік береді.

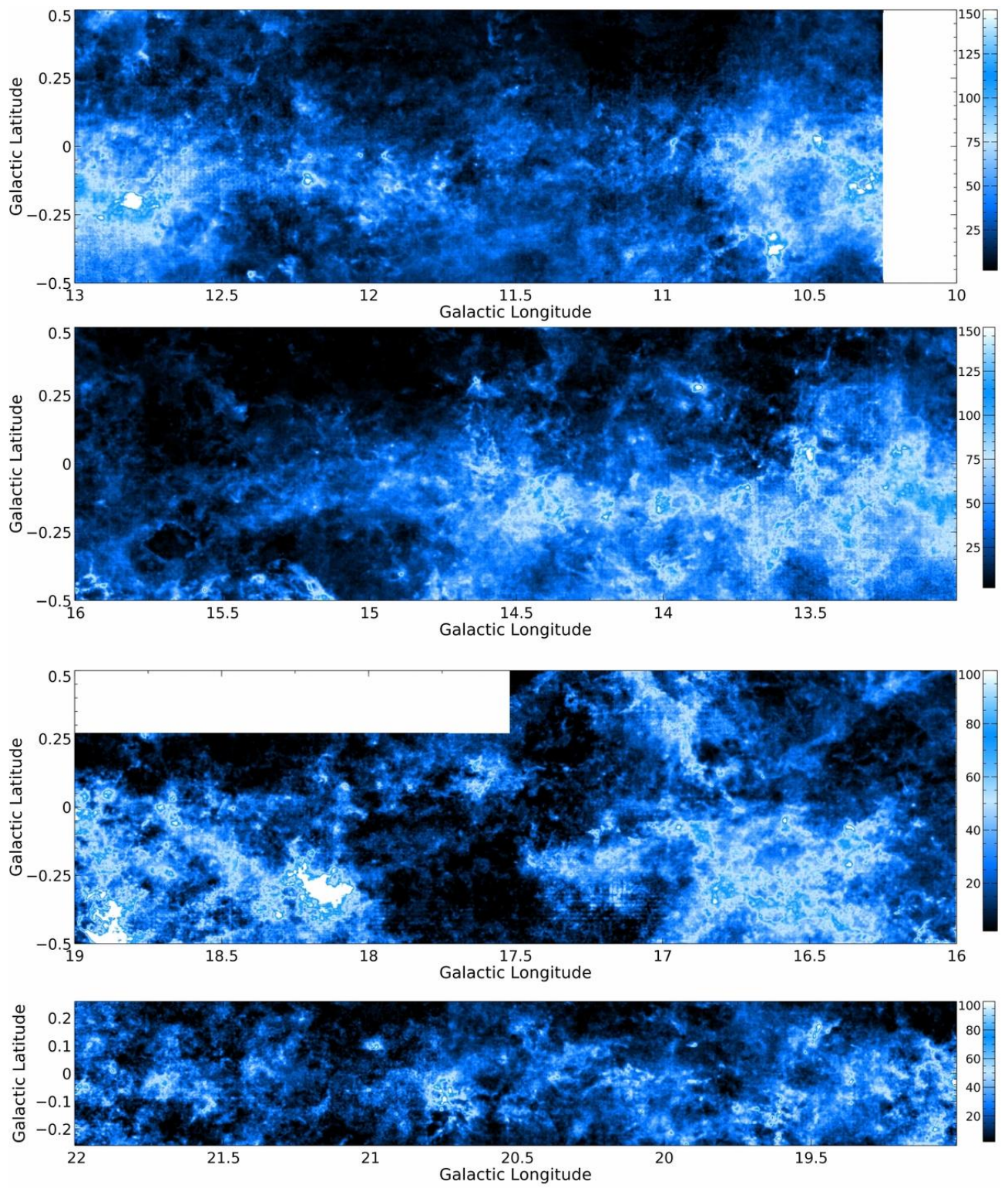
CO High Resolution Survey (COHRS) шолуының негізгі мақсаттарының бірі – қолданыстағы мәліметтер жиынтығын толықтыру [82]. COHRS ^{12}CO ($J=3\rightarrow 2$) аумағын картаға түсірген. Бұл ауысудың $J=1\rightarrow 0$ және $J=2\rightarrow 1$ ауысуларына қарағанда оптикалық қалыңдығы кіші, ал оның жоғары жиілігі осы бойлықтарда бұрын зерттеулерге қарағанда ажыратымдылығы жоғары деректерді алуға мүмкіндік береді. Бұл ауысу молекулалық бұлттардың, әсіресе жылы заттардың (10-50 K) және белсенді жұлдыз түзілуімен қызған ядролардың айналасындағы орташа тығыздық (20 K кезінде 10^4 cm^{-3}) үшін керемет индикатор болып табылады. CO ($J=3\rightarrow 2$) – бұл сонымен қатар сырт ағын белсенділігінің пайдалы индикаторы, жұлдыздардың пайда болуының алғашқы кезеңдерінің классикалық индикаторы. 8-суретте COHRS шолуы үшін кеңістіктегі шудың таралуы, яғни шуыл температурасының екі өлшемді картасы.



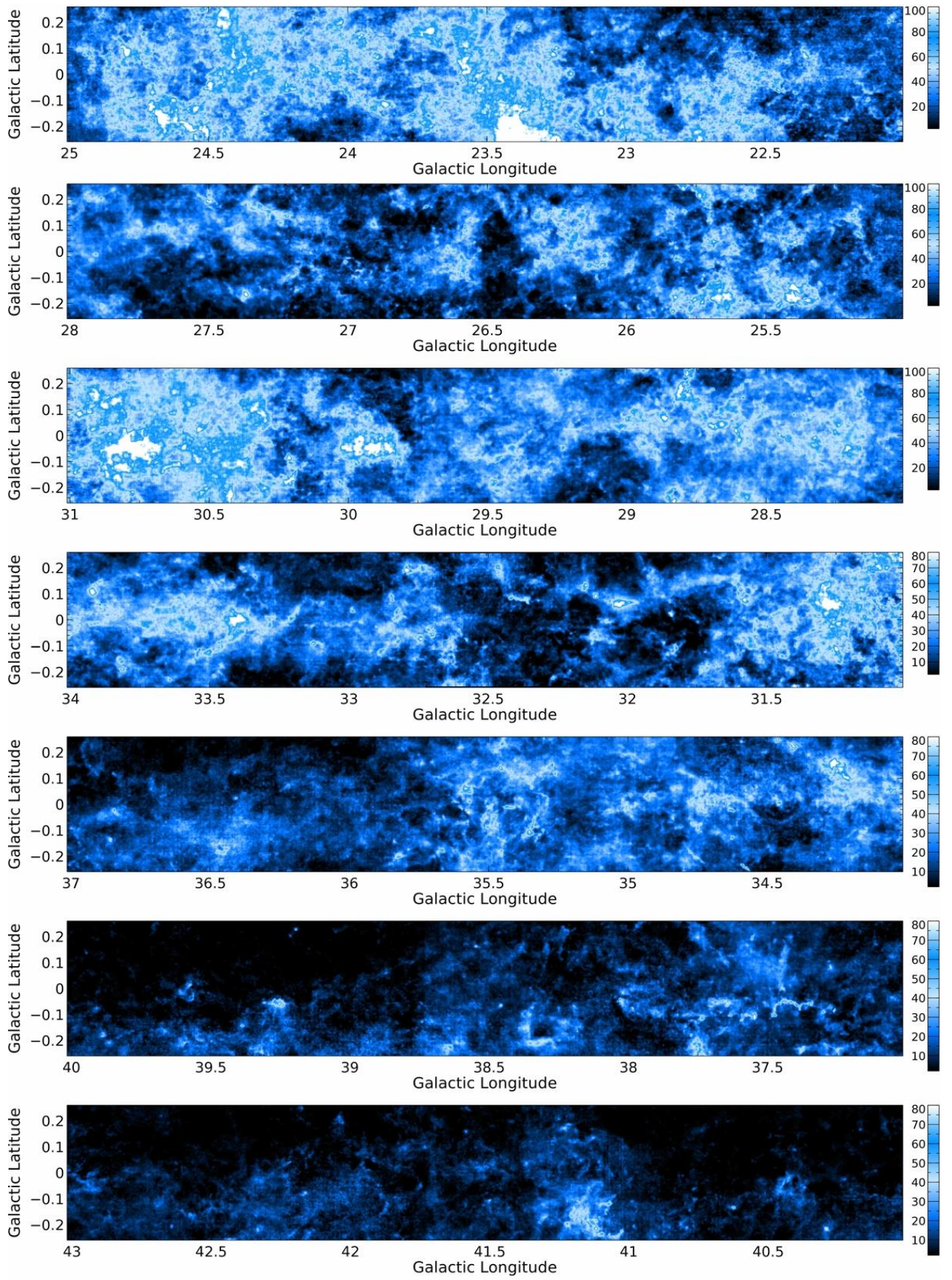
Сурет 8 – COHRS үшін K бірлігінде шуыл таралуының екі өлшемді картасы

9-суретте COHRS үшін интегралды қарқындылық картасы көрсетілген. Мұны ClumpFind 3σ немесе одан жоғары деп анықталған барлық кішірейтілген текшелердегі қысу арқылы жасайды.

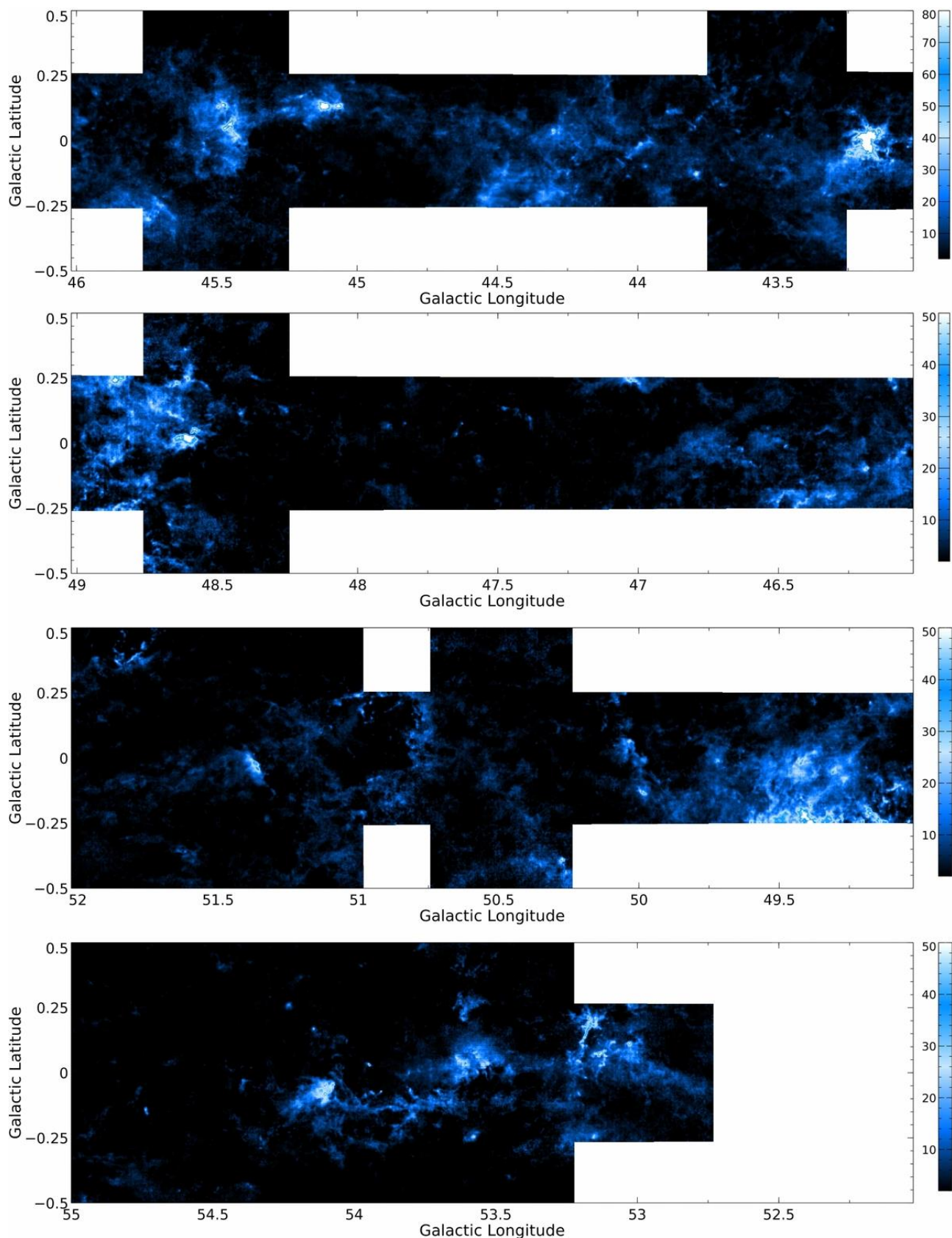
W49 және W43 сияқты жақсы зерттелген аудандар жылдамдық құрылымымен егжей-тегжейлі эмиссиясын көрсетеді. Мұндай жұлдыз түзетін аймақтар эмиссияға басым болғанымен, COHRS-тің жоғары ажыратымдылығы ұсақ құрылымдар мен тікенді ядроларды ең кішкентай масштабта да ашуға мүмкіндік береді.



(a)



(6)

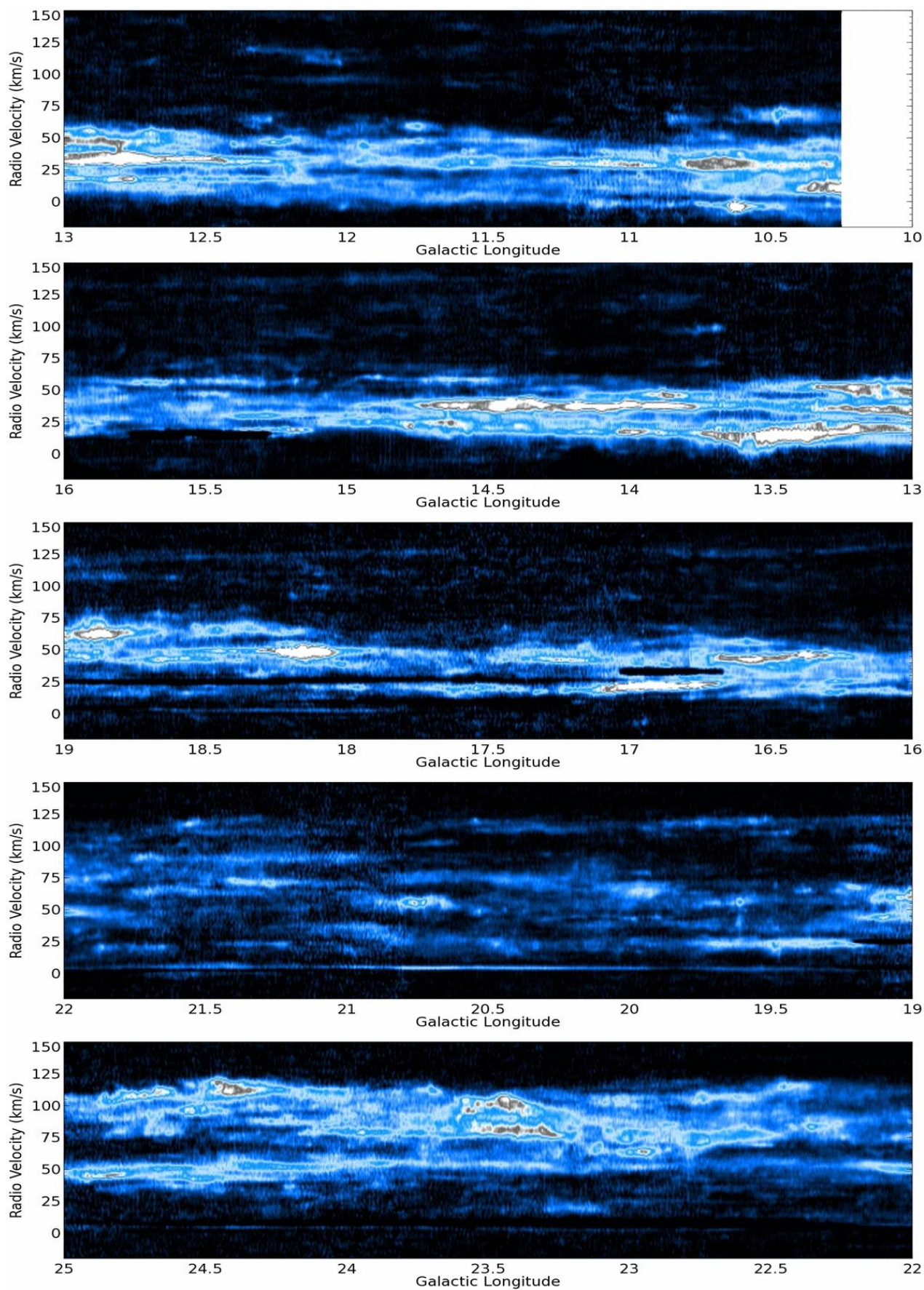


(в)

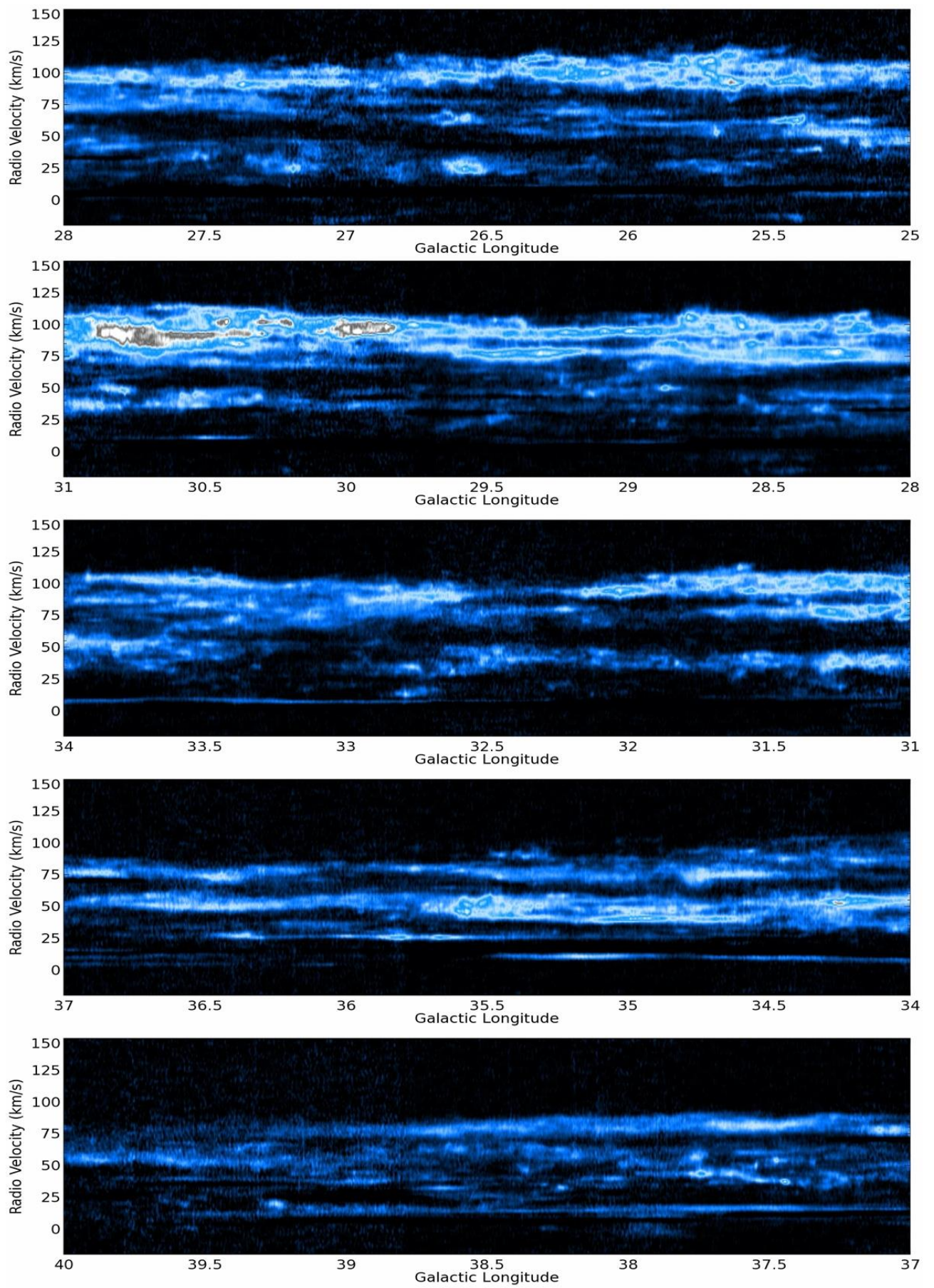
Сурет 9 – COHRS үшін интегралды қарқындылық картасы. Мұндағы (а) $10^\circ < l < 22^\circ$ аралығы, (б) $22^\circ < l < 43^\circ$ аралық және (в) $43^\circ < l < 55^\circ$ аралығы

Бүкіл COHRS аймағы үшін бойлық-жылдамдық картасы (l-v) 10-суретте көрсетілген. Бұл карталар әр бойлық үшін қол жетімді бүкіл ендік ауқымында

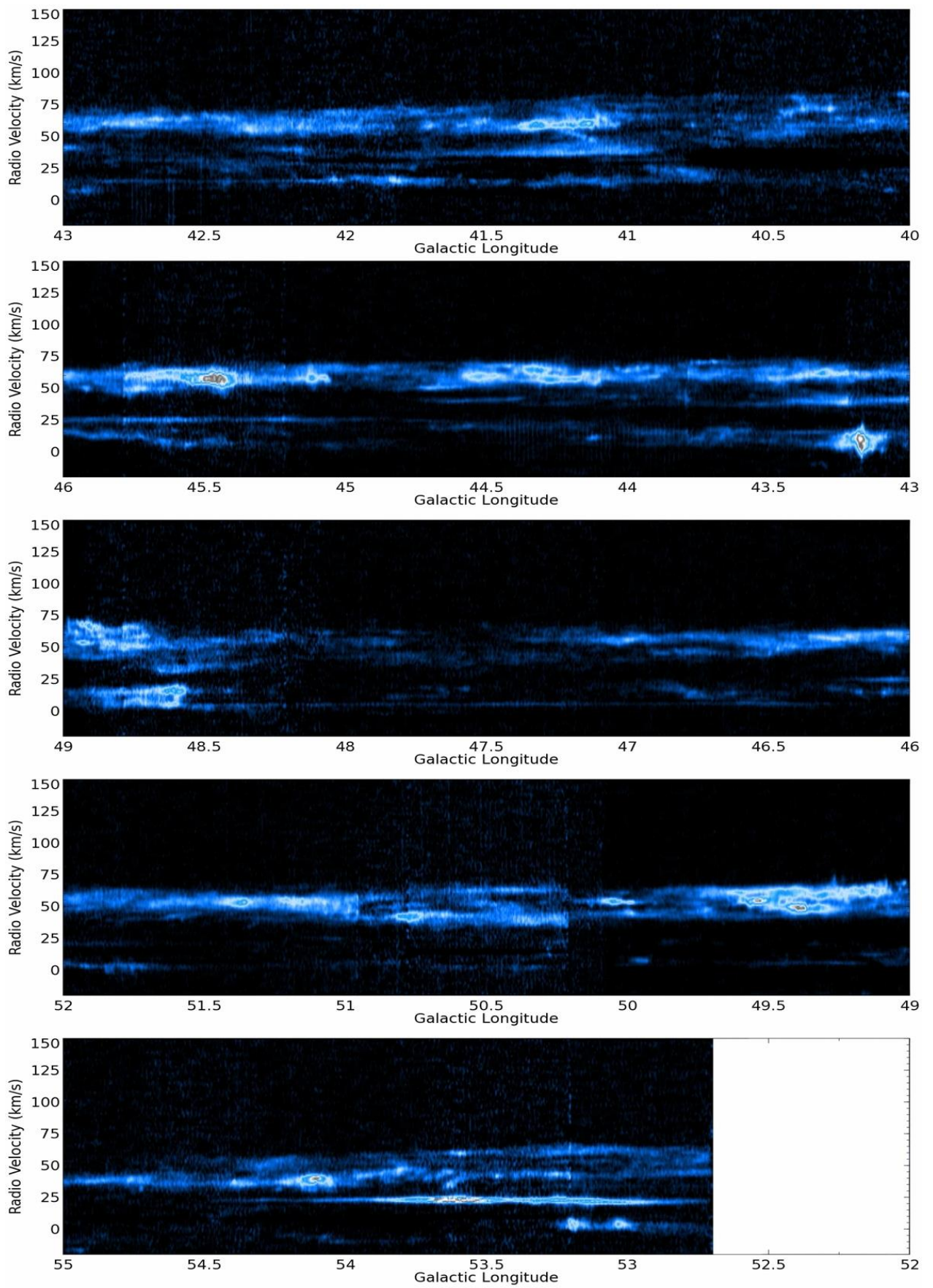
қайта бөлінген текшелерді бұру арқылы жасалады. Күткендей, бұл галактикалық сақина шолуының ^{13}CO 1 - v карталарымен тығыз байланысты.



(a)



(6)



(B)

Сурет 10 – COHRs үшін бойлық-жылдамдық картасы. Мұндағы (а) $10.25^\circ < l < 28^\circ$ аралық, (а); (б) $28^\circ < l < 40^\circ$ аралығы және (в) $40^\circ < l < 55^\circ$ аралық

1.2 Молекулалық сырт ағындар және олардың негізгі қасиеттері

Жұлдыздардың қалыптасуы – бұл протожұлдыздық объектілер коллапсы мен заттардың аккрециясын, сондай-ақ биполярлы сырт ағындар түріндегі жұлдыз қалыптасу жүйесінің әсерінен массасын жоғалтуды қамтитын күрделі процесс [83]. Жаңадан пайда болған жұлдыздардың сырт ағыны импульс пен энергияны қоршаған молекулалық бұлтқа бірнеше астрономиялық бірліктен ондаған парсекке дейін қашықтықта жібереді [84, 245-бет]. Молекулалық сырт ағын – бұл массасы аз және массасы үлкен жұлдыздардың пайда болуының алғашқы байқалатын белгілерінің бірі [85,86,299-бет,87-89]. Алғашқы молекулалық сырт ағын Орион KL аймағында тәжірибелік түрде ашылғаннан бері [90], көптеген басқа сырт ағындар ашылды. Сол уақыттан бастап сырт ағынды анықтау үшін көміртегі оксидінің (CO) эмиссия сызығын бір табақты және интерферометрлік бақылаулар арқылы кеңінен іске асты [84, 245-бет, 91-92]. Сырт ағынды екі кеңістікке бөлінген жапырақшалары бар, сәйкесінше көк және қызыл ығысқан жылдамдықтарға ие, жоғары жылдамдықты қанаттарды көрсететін CO сызықтары ретінде анықтауға болады [93].

Сонымен, молекулалық сырт ағындар жұлдыздардың барлық массасында, атап айтқанда, жоғары массалы жұлдыздар үшін жұлдыздардың пайда болуы туралы түсінігімізді жақсартудың пайдалы құралы болып табылады [84, 245-бет]. Төмен массалы жұлдыздар үшін қалыптасу процесінің негізгі құрылыс материалы болып табылатын аккрециялық дискілерден туындаған биполярлы сырт ағындар теориялық модельдермен [94] және бақылаулармен [84, 245-бет,86, 867-бет,95-97] дәлелденген. Алайда, массасы үлкен жұлдыздардың қалыптасу процесі екі негізгі бәсекелес модельдермен әлі де пікірталас тудырады [98, 149-бет]: (1) диск арқылы ядроның аккрециясы [99-100] және (2) бәсекелестік аккреция [101]. Біріншісін екі үлкен санатқа бөлуге болады: (а) сәулелену қысымын жеңуге арналған турбулентті ядролардың әсерінен сфералық аккреция жылдамдығының жоғарылауы [100] және (ә) диск арқылы аккреция, бұл сәулелену шегін төмендету үшін фотондардың сәулеленуін полярлық өрістің бойымен кетуіне мүмкіндік беруі [99]. Екі моделді: «диск арқылы аккреция» және «бәсекелестік аккреция» ажыратудың ең оңай әдісі – массивті протожұлдыздың айналасында аккреция дискісін анықтау; дегенмен, оларды анықтау қиынға соғуы мүмкін, себебі аккреция дискісі кішкентай, қысқа мерзімді және жұлдыз маңайындағы қабықшамен оңай шатастыруға болады [102]. Егер массасы үлкен жұлдыздар массасы аз жұлдыздар сияқты аккреция дискісі арқылы пайда болса, олар аз массалы жұлдыздарда байқалатын ұқсас массивті және қуатты сырт ағындар тудыруы керек [103,91]. Осылайша, жас жұлдызды объектілерде (YSO) сырт ағынды байқау тікелей пікірталасты дұрыс шешу үшін қолданылады [102]. Теориялық модельдерді ажырату үшін сырт ағындарды жеткілікті ажыратымдылықпен зерттеуде жоғары бұрыштық ажыратымдылықпен егжей-тегжейлі интерферометрия қажет. Гетеродинді фокалды жазықтық массивтерін қолдана отырып, үлкен сырт ағындарды зерттеу [91] статистикалық маңызды үлгілерді ұсынады және интерферометриялық зерттеулер үшін пайдалы диаграммалар болып табылады.

Сырт ағынның кері байланысы бұлттағы турбуленттіліктің пайда болуы туралы түсінігімізді жақсартып алады, бірақ сырт ағыннан пайда болған турбуленттіліктің молекулалық бұлтқа кумулятивті әсерін сандық тұрғыдан анықтау қиын болып қалады [98, 451-бет]. Бақылаулар мен модельдеу көрсеткендей, сырт ағыннан туындаған турбуленттілік туа біткен ядроға айтарлықтай әсер етуі де және әсер етпеуі де мүмкін [104-107]. Кейбір моделдеу нәтижелері сырт ағынның кері байланысы массасы үлкен жұлдыздардың қалыптасу аймақтарына аз әсер ететіндігін көрсетті [106], ал басқалары бұлттардағы турбуленттілікті сақтау үшін сырт ағындар әсер етуі мүмкін деп болжады [104]. Сырт ағындар қоршаған ортадағы турбуленттілікті тудыратындай күшті екендігі туралы дәлелдер бар [105,107], бірақ бұлт турбуленттілігіне айтарлықтай ықпал етпейді [105,92,108]. [98,451-бет] жұмыста сырт ағыннан туындаған осы әсерлерді дискілердің, қабықшалардың мен бұлттардың ұзындық масштабына талдады. Әр түрлі эволюциялық сатылардағы сырт ағынды ядролардың статистикалық үлгісі олардың туыстас шоғырларына әсерін түсіну үшін қажет [84, 245-бет].

Сырт ағын белсенділігі YSO эволюциясының әр түрлі кезеңдерінде анықталды: массасы аз YSO-ның 0 класынан [96,109] FU Orionis-ке дейін [100-111] және массасы үлкен YSO-ның ультракомпактқа дейінгі H II аймақтарынан [102,91] ультракомпактті (UC) H II аймақтарына дейін [112,92]. 0-ден III классқа дейінгі массасы аз YSO эволюциясының төрт фазасымен бірге [113-114], ең қуатты CO ағындары ең жас объектілердің айналасында (0-класс) табылды [115], және сырт ағын энергиясы YSO эволюциясының кезеңдерінің өсуімен азаяды [96,116,109]. Массивті жұлдыздардың қалыптасуының (MSF) алғашқы эволюциялық тізбегіне сәйкес, ыстық ядролардан гиперкомпактілі аймақтарға (HC H II) және UC H II аймақтарға дейін [117-118], сырт ағындар «ыстық ядро» фазасынан бастап [86,299-бет], UC H II фазасының алдына дейін іске асады деген болжам бар [85,119,103,87-88]. Бұл MSF алғашқы фазалары көбінесе су мазері мен метанолға байланысты [120-122], бұл мазерлер мен сырт ағын белсенділігі арасындағы тығыз байланысты ұсынады [123,91]. [124-125] жұмыстарда инфрақызылдан радиоға дейін спектрлік энергияның таралуына (SED – spectral energy distribution) негізделген MSF шоғырларының алғашқы эволюциялық тізбегін анықтады: ең жас тыныштық кезеңі (яғни жұлдызсыз немесе жұлдызға дейінгі төмен эмиссиялы 70 мкм фазасы) протожұлдыз (орта инфрақызыл облыста 24 мкм әлсіз, бірақ алыс инфрақызылда жарық), YSO түзетін шоғырлар (YSO шоғырлар, яғни орта инфрақызыл облыста 24 мкм жарық шоғырлар) және MSF шоғырлар (мысалы, MSF ізі кездесетін орта инфрақызыл облыста 24 мкм жарық шоғырлар). Тыныштықтың алғашқы кезеңі молекулалық сырт ағынмен байланысты екендігі анықталды [126]. Эволюцияның әр түрлі кезеңдеріндегі шоғырлардың үлкен үлгісінің сырт ағын қасиеттерін талқылау сырт ағын белсенділігін массивті YSO (MYSO) эволюциялық күйінің функциясы ретінде зерттеуге мүмкіндік береді.

Биполярлық сырт ағындар массасы аз дереккөздерде [115,96,97,127] және массасы үлкен дереккөздерде [87,128,91-92] қарқынды түрде зерттелген. Массасы аз және массасы үлкен объектілер үшін сырт ағын массасының (M_{out}),

масса жоғалту лездігінің (\dot{M}_{out}), импульс лездігінің (F_{out}), механикалық жарықтылықтың (L_{out}), динамикалық уақыттың (t_d) және сырт ағынның орташа өлшемінің (l_{out}) жалпы типтік мәндері 1-кестеде келтірілген. Массивті прожұлдыз сырт ағындарының типтік мәндері [86, 867-бет,87,89,128,102,84, 245-бет,91,129,92] сәйкес динамикалық уақытта массасы аз YSO-лардың [96,89,84, 245-бет] сырт ағындарына қарағанда екі еседен артық. Сырт ағын қасиеттері, шоғыр массасы және болометриялық жарықтық арасындағы ұқсас корреляциялар жалпы қозғаушы механизм барлық массалар мен жарықтылықтар үшін жауапты болуы мүмкін екенін көрсетеді [96,87,89,128,130,91,131].

Кесте 1 – Массасы аз және үлкен сырт ағындарға арналған типтік мәндер*

Parameters	Low-mass Outflows ^a	High-mass Outflows ^b
M_{out}	$0.1 \sim 1 M_{\odot}$	$10 \sim 10^3 M_{\odot}$
\dot{M}_{out}	$10^{-7} \sim 10^{-6} M_{\odot} yr^{-1}$	$10^{-5} \sim 10^{-3} M_{\odot} yr^{-1}$
F_{out}	$10^{-6} \sim 10^{-5} M_{\odot} km s^{-1} yr^{-1}$	$10^{-4} \sim 10^{-2} M_{\odot} km s^{-1} yr^{-1}$
L_{out}	$0.1 \sim 1 L_{\odot}$	$0.1 \sim 100 L_{\odot}$
l_{out}	$0.1 \sim 1 pc$	$0.5 \sim 2.5 pc$
t_d	$(0.1 \sim 10) \times 10^5 years$	$(0.1 \sim 10) \times 10^5 years$

* Бұл мәндер [132] жұмыстан алынған. а [96,89, 84,245-бет,97] жұмыстар, б [86,867-бет,87,89,128,102,84,245-бет,91-92] жұмыстар

Жоғары жылдамдықты сырт ағын құрылымдары массасы аз және массивті YSO-да жиі кездеседі. Массасы аз YSO-лардағы молекулалық сырт ағынның жиілігі 70% -дан 90% -ға дейін [96,127]. Массивті протожұлдыздар үшін [103,128] жұмыстарда 69 IRAS жарық дереккөздерінің 57%-ында жоғары жылдамдықты газ тапты және [123] жұмыста мазерлер үшін ұқсас анықтау жылдамдығын көрсетті – 50% (39/80). Анықтаудың жоғары деңгейі MSF аймақтарында кездеседі – 70%-90% [133,87,102,92]. Жақында жүргізілген зерттеулер өте жарқын 11 YSO [130] және 44 метанол мазерлері [91] үшін 100% анықтау ықтималдығын көрсетті. Бұл массасы аз және үлкен жұлдыздардың түзілуінде барлық жерде болатын құбылыстар деп болжауға болады. Алайда, осы зерттеулердің барлығы іріктелген үлгілерге бағытталған, сондықтан бұл жоғары анықтау жылдамдығы протожұлдыз дереккөздердің жалпы популяциясына сәйкес бола алмауы мүмкін.

Сырт ағындардың физикалық параметрлері және олардың арақатынасы массивті протожұлдыздарға зерттелген [133-134,89,91]. Бұл зерттеулер массивті протожұлдыздар қуатты сырт ағындар тудыруы мүмкін деген пікірді алға тартты, ал бұл сырт ағындар массасы аз және массасы үлкен жұлдыздардың пайда болуының сценарийлері арасындағы байланысты қамтамасыз ете алады деп болжады. Алайда, сырт ағын параметрлері арасындағы бұл корреляциялар жарық немесе мазер дереккөздерінің немесе жұлдыз түзетін массивті

аймақтардың ұсақ үлгілерін мақсатты бақылауларынан алынған [87,102,130]. [89] жұмыста әдебиеттерден алынған мәліметтерді жинақтау негізінде сырт ағындар анықталған 139 массасы үлкен объектілердің үлгісіне статистикалық талдау жүргізді. Алайда, [135] жұмыста сырт ағын параметрлерін бағалау қолданылған процедураларға байланысты 2-3 реттік шамада өзгеруі мүмкін деп болжады. [136] жұмыста әр түрлі зерттеулерден алынған жарықтылығы төмен дереккөздерінің сырт ағын күшін 5 есеге дейін таралуын ұсынды. Осылайша, әдебиеттерден жинақталған деректерді талдау әр түрлі авторлар қолданатын әртүрлі процедураларға байланысты әртүрлі болады. Демек, сырт ағынның сипаттамаларын одан әрі түсіну үшін молекулалық сырт ағындардың үлкен біртекті үлгісін өзіндік дәйекті статистикалық талдау қажет.

122 массивті жұлдыз түзуші аймақ (MSF) бағытында CO (1–0) қанаттарын іздеу олардың 90%-ында орташа және жоғары жылдамдықтағы қанаттарды тапты [133]. 10 MSF аймағының CO (1-0) картографиясы бес үлкен массалық сырт ағынды анықтады [85]. Кейінірек 69 массивтік протожұлдыздарды CO (2-1) үміткерлеріне жүргізілген шолу жоғары жылдамдықты газдың жұлдыздардың жас объектілерінде кең таралғанын көрсетті [137]. [87] жұмыста 26 дереккөздің 21-інде биполярлы сырт ағынды тапты. Бұл зерттеулер көрсеткендей, массасы үлкен сырт ағындар массасы аз сырт ағындарға қарағанда әлдеқайда массивті және қуатты. [102] жұмыста массивті және массасы аз сырт ағындардың коллимациялық факторлары айтарлықтай ерекшеленбейтіндігін анықтады, бұл [89] жұмыс нәтижелерінен ерекшеленеді. 6,7 ГГц жиілікте метанол мазерімен байланысты 54 массасы үлкен сырт ағындарды зерттеуді іске асырған [91] жұмыста массасы үлкен сырт ағындар аз массалы объектілер үшін де орындалатын сырт ағындар белсенділігі мен шоғыр массасы арасындағы масштабтау заңына бағынады, яғни аз массалы және массасы үлкен жұлдыздарда қалыптасу үдерісі ұқсастығын көрсетеді. [92,132] жұмыстарда бұл сырт ағындар қоршаған ортадағы турбуленттілікті тудыратындай қуатты, бірақ бұлт турбуленттілігіне айтарлықтай ықпал етпейді деп болжады.

1.3 Машиналық оқытудың астрофизикадағы және жұлдыз қалыптасуындағы артықшылықтары

Бүгінгі жасанды интеллекттің кең таралуы, атап айтқанда, машиналық оқыту (ML – machine learning), жасанды интеллекттің белгілі бір әдістер жиыны 2012 жылы ImageNet байқауында [138] жұмыс жеңіп алған кезден бастап «терең оқыту төңкерісінің» басталуынан бастау алады. ImageNet, алғаш рет 2009 жылы жарияланған, 14 миллионнан астам түсініктеме берілген суреттерді қамтитын кескіндер базасы. 2010 жылдан бастап ImageNet жобасы жыл сайын ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) деп аталатын байқау өткізеді, онда алгоритмдер мәліметтер базасынан кескіндер жиынтығында орналасқан объектілерді анықтауға таласады. 2012 жылы Торонто Университетінің тобы AlexNet деп аталатын терең үйірткілі нейрондық желінің (CNN – convolutional neural network) архитектурасын ұсынды (ол әлі күнге дейін зерттеулерде қолданылады), ол алдыңғы

модельдерден және ең жақын бәсекелестерден 10% дәлдікпен асып түсті. Бұл модельдің әлсіз бәсекелестерімен салыстырғандағы жақсы жақтарының бірі, оны көптеген салаларда кеңінен қолдануға мүмкіндік берді, бұл оқытудың деректерге негізделген сипаты: оқыту белгілі бір деректер базасында жүргізілген кезде, модельдің архитектурасы толығымен жалпы болып табылады және негізінен, оны кез-келген визуалды мәліметтер базасын оқыту үшін пайдалануға болады.

2014 жылға қарай ImageNet-тің барлық мықты бәсекелестері терең архитектураларды қолдана бастады. Бүгінгі күні бұл үйірткілі нейрондық желілер шектеулі академиялық міндеттер әлемінен тыс жерлерде, соның ішінде Facebook, өздігінен басқарылатын машиналар, табиғи тілді өңдеу, алаяқтықты анықтау, робот-навигация, медициналық диагностика, мақсатты маркетинг және ойын сияқты барлық жерде танымал. Олар кескінді, аудионы немесе бейнені өңдеуді қажет ететін кез келген нәрсеге оңай қолданылады.

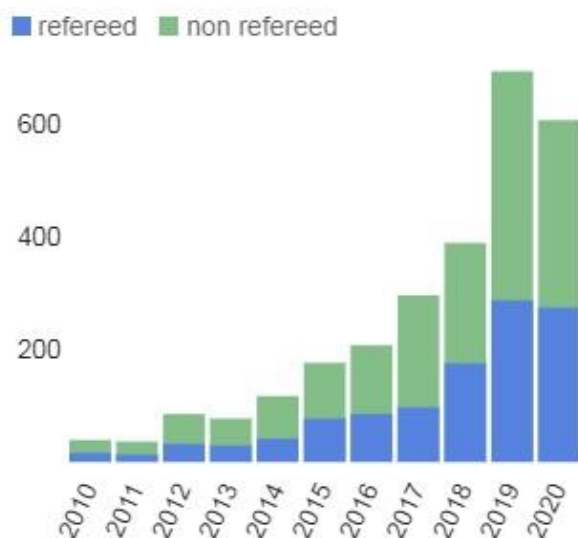
CNN және көптеген терең оқыту әдістері әр деңгейде мыңдаған миллиондаған есептеулерді қолдана отырып, қажетті нәтижені алу үшін көршілес пикселдердің арасындағы заңдылықтарын абстракция деңгейінде зерттейді. CNN-де, «қабаттар» деп аталатын осы қабаттардың әрқайсысында бұл кескінді бірнеше сүзгілермен үйірткілеу арқылы өңдеу жасалады. Алынған карталар кіріс ретінде келесі қабатқа беріледі. Осы қабаттардың қатарынан кейін соңғы қабаттың шығысы желінің шығысы ретінде түсіндіріледі. Желілік салмақ деп аталатын сүзгі мәндері желіге дұрыс енгізу-шығару мысалдарының жұптарын бейнелегенде оқыту деп аталады. Оқыту мысалдарын жеткілікті түрде ескере отырып, бұл желілер осы оқытылған параметрлерді қолданып, бұрын-соңды көрмеген мысалдар бойынша нақты болжамдар жасай алады.

CNN 21 ғасыр басталмас бұрын пайда болғанымен, олардың соңғы сәттіліктерінің кілті – дұрыс инициализация [139], жетілдірілген белсендіргіш функциялары [140], жақсы шешушілер [141], және өнімділігі жоғары есептеулерге арналған графикалық өңдеу қондырғылары (GPU) – соңғы онжылдыққа дейін дамымаған. Сондықтан 1990 жылдары нейрондық желілерді, мысалы, спектрлік классификация және параметрлерді бағалау үшін қолдануға бірнеше рет әрекет жасалды [142-143], сондай-ақ жұлдыздарды/галактикаларды бөлуге арналған SExtractor [144] сияқты алгоритмдерді қолданды, бірақ олар сәтті болмады. Терең оқыту астрономиялық қауымдастық арасында 2016 жылы LRP2010 CASCA орта мерзімді шолуларынан кейін ғана танымал бола бастады. 11-суретте астрономияда машиналық оқытуды қолданудың күрт өсуі көрсетілген, ал қазір ол күніне екі мақалаға жетеді.

Соңғы кездегі танымалдылықтың жоғарылауына қарамастан, бейнелеу мен спектроскопияға дейінгі бірқатар қолданбалы бағдарламалар үшін салыстырмалы түрде үлкен біртектес мәліметтер жиынтығының болуын ескере отырып, астрономия машиналық оқыту үшін үлкен, негізінен зерттелмеген мүмкіндікті ұсынады. Терең оқыту деректерден үлкен мән алатыны белгілі [145].

Sloan Digital Sky Survey (SDSS) DR153 бағдарламасы 170 ТБ-дан астам деректерді ұсынады (оның ~ 50% өңделмеген немесе аралық деректер),

мұндағы >70 ТБ APOGEE спектрлері (өңделмеген, қысқартылған немесе өңделген), >60 ТБ – eBOSS фотометриялық деректері (өңделмеген немесе қысқартылған), > 20 ТБ – бұл eBOSS спектроскопиялық деректері, ал >13 ТБ – MaNGA спектрлері (өңделмеген). Деректер жиынтығы Large Synoptic Survey



Сурет 11 – 2010 жылдан бастап аңдатпада немесе тақырыпта машиналық оқыту техникасын қамтитын астрономиялық мақалалар. Астрофизика деректер жүйесінен (ADS) алынған

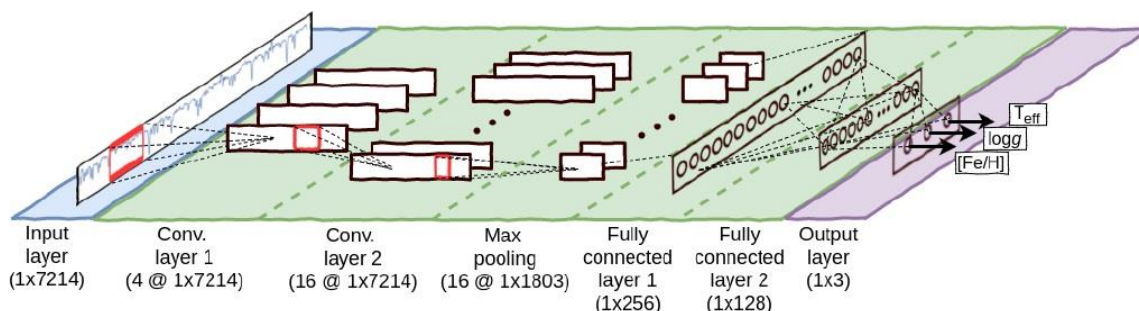
Telescope (LSST) және Square Kilometre Array (SKA) өседі деп күтілуде, мысалы LSST бір түнде 20 ТБ алады, ал SKA секундына 160 ТБ алады деп күтілуде. Яғни, деректер жылдамдығы барлық бастапқы деректерді тіркеу үшін тым жоғары, бұл астрономдарды ең қызықты оқиғаларды ғана автоматты түрде таңдап жазуға мәжбүр етеді.

Астрономиядағы терең оқытудың алғашқы сәтті қосымшаларының бірі күшті гравитациялық линзалау саласында болды, мұнда CNN-лер линзаларды іздеудің екі тапсырмасын орындау үшін пайдаланылды [146-150] және линзаларды модельдеу [151-154], көп уақыт пен ресурстарды қажет ететін дәстүрлі әдістермен салыстырғанда дәлдікті жоғалтпастан линзалар параметрлерін көптеген бір реттік шығарумен автоматтандыру және жеделдету (бір GPU-да шамамен он миллион есе жылдам). Алдағы жылдары жүздеген мың жаңа гравитациялық линзалар үлкен шолулардан (мысалы, Euclid, LSST), бұрыннан бар және жана нысандардан (мысалы, ALMA, JWST, TMT) осы саланы өзгертуге мүмкіндік береді. Осы болашағы бар машиналық оқытумен талдау әдістерін әрі қарай дамыту және оларды талдау жүйеге енгізу бізге алдағы мәліметтердің байлығын толығымен пайдалануға және дәстүрлі әдістерде кездесетін әр түрлі мәселелерді айналып өтуге мүмкіндік береді, мысалы, заттардың таралуын кішігірім масштабта жоғары дәлдікпен көрсету, қараңғы материя модельдерін сынауға арналған жаңа мүмкіндік ашу.

Фотометриялық жарық қисықтарына машиналық оқытудың статистикалық тәсілдерін қолдану жұлдыздық айнымалыларды өте дәл жіктеуге мүмкіндік береді [154-157]. Спектроскопиялық бақылаулар, әдетте, жұлдыздардың

фундаменталды қасиеттерін дәл өлшеу үшін қажет. Алайда, [158] жұмыста T_{eff} , $\log g$ және $[Fe/H]$ мөлшерін тек фотометриялық бақылаулардан болжай алатын жаңа машиналық оқыту жүйесін енгізілген.

ML-дің астрофизикадағы тағы бір алғашқы жетістігі – жұлдыздардың бақыланатын және өңделген спектрлерін талдау үшін терең нейрондық желінің архитектурасын қолдану болды (Сурет 12) [159-162]. [159] жұмыста бүкіл SDSS-III APOGEE спектрлік деректер базасынан жұлдыздың параметрлерін (температура, гравитация және металлдылық) бірнеше секунд ішінде машиналық оқытуды қолданып APOGEE жүйесі сияқты дәлдікпен және нақтылықпен анықтауға болатындығын көрсетті. APOGEE деректерін өңдеу жүйесіне қарағанда дәлдігі жоғары 15-тен астам элементтердің химиялық құрамын есептеу үшін деректерді басқаратын машиналық оқыту моделін жасалды [163]. Деректерге негізделген ML моделі LAMOST-тан 1 миллионға жуық спектрді талдау үшін өзгертілді, бұл өте жақсы өнімділікпен және дәлдікті айтарлықтай жақсартты [164]. Сондай-ақ, спектрлік талдаудың тиімділігін арттыру үшін терең нейрондық желілеріне (DNN) және ML әдістеріне негізделген [165-166] жұмыстар да осының дәлелі болып табылады.



Сурет 12 – StarNet SDSS-APOGEE спектрлерін талдау үшін пайдаланатын CNN архитектурасы [159]

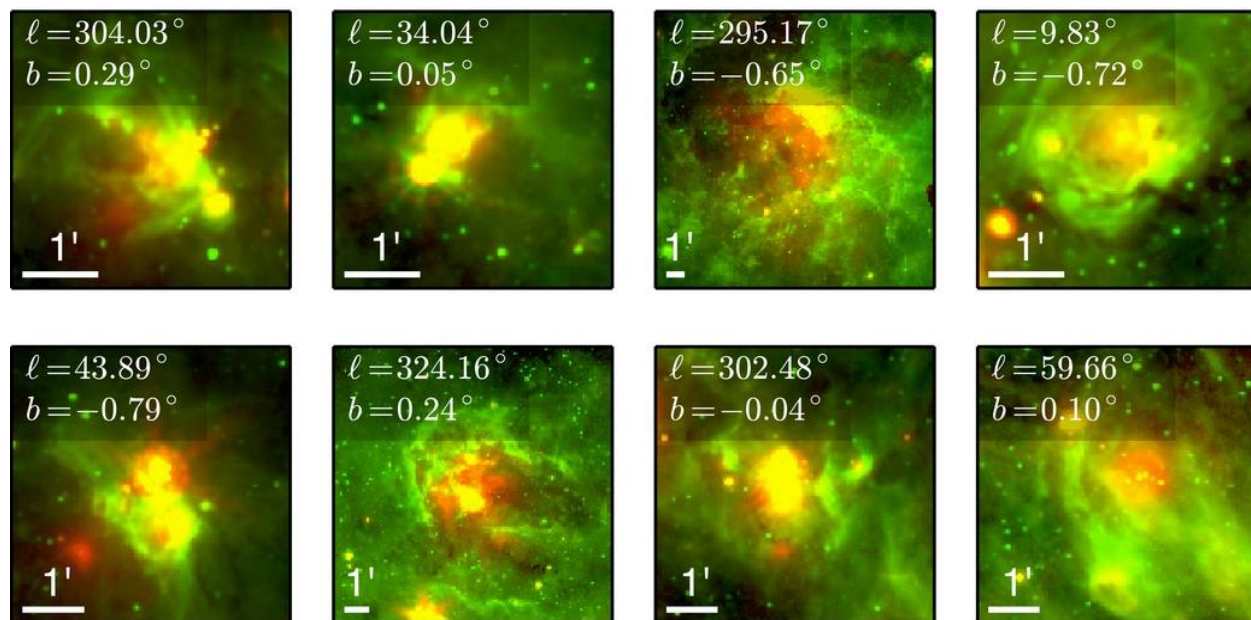
Қорытындылай келе алдағы спектроскопиялық бейнелеу дәуірінде ML жылдам, тиімді және дәл талдаудың таптырмас құралы болуы мүмкін.

1.3.1 Жұлдыз қалыптасуындағы терең оқытудың мүмкіндіктері

Массивтік жұлдыздар энергияны қоршаған ортадағы жұлдызаралық ортаға (ISM – interstellar medium) өз желі мен иондаушы сәулелену арқылы жібереді, бұл жұлдызаралық ортаны көпіршіктер мен қабықша тәрізді құрылымдарға айналдырады [167]. [168] жұмыста көпіршіктер аймағыда массивті жұлдыз қалыптасуының егжей-тегжейлі статистикалық зерттеуін ұсынған, нәтижесінде көпіршіктің кеңеюінен туындаған Құс жолындағы массивтік жұлдыздардың үлесі 14-тен 30 пайызға дейін болуы мүмкін деген қорытындыға келген.

[169] жұмыста «Bul» деп аталатын Галактиканың аралық жазықтығының инфрақызыл кескіндеріндегі көпіршіктерді анықтау алгоритмін ұсынған. Бұл машиналық оқыту әдісіне негізделген және «Spitzer» ғарыштық телескопынан алынған суреттердегі көпіршіктердің сәйкестендіру сипаттамаларын табу үшін

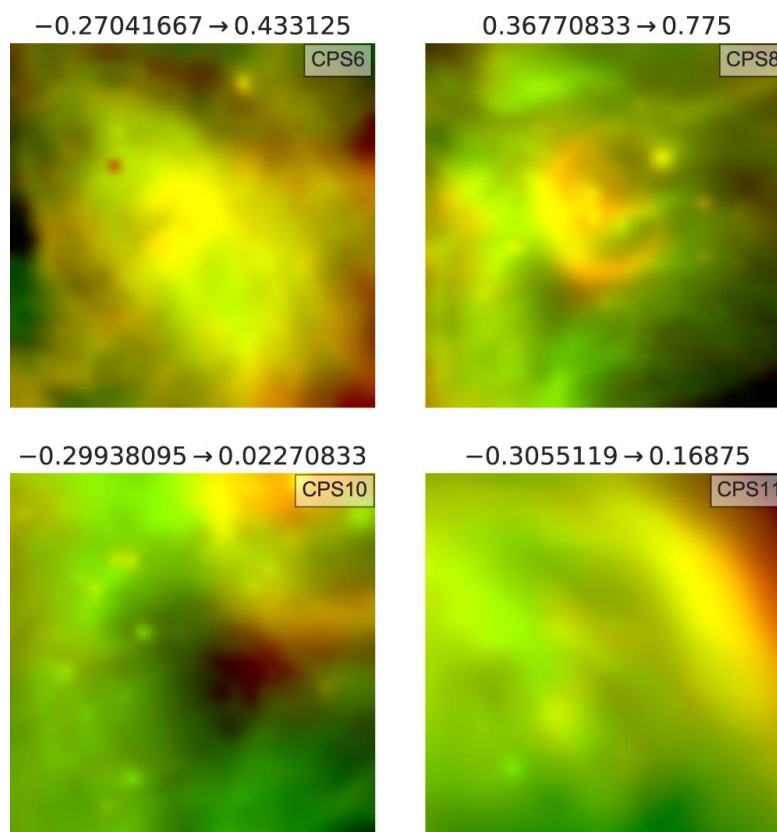
«Құс жолы» жобасының 35000-нан астам азаматтық ғалымдары анықтаған көпіршіктерді пайдаланады. Көпіршіктерді анықтау қабілеті тәжірибелі астрономдармен салыстыруға болатындығын көрсетеді. Сонымен қатар, Brut алдыңғы іздеулер кезінде жіберіп алған көпіршіктерді, әсіресе қоршаған ортамен салыстырғанда контраст мөлшері төмен, жарық көздердің жанындағы көпіршіктерді анықтай алады. Brut соқыр іздеу кезінде Құс жолы жобасының каталогында жоқ сегіз көпіршік тапқан (Сурет 13).



Сурет 13 – Brut соқыр іздеу кезінде тапқан Құс жолы жобасының каталогында жоқ сегіз көпіршік [169]

Көпіршікті іздеулердің көпшілігі көз арқылы жасалады, бұл әдетте көп уақытты алады, субъективті және калибрлеу қиын. Машиналық оқытуға негізделген автоматты классификация жүйелі, сандық және қайталанатын көпіршікті іздеуге мүмкіндік береді. [170] жұмыста Brut алгоритмін қолданып, жасанды шаң бақылауларының көмегімен көпіршікті анықтаған. Жасанды бейнелерді жасау үшін кіріс ретінде турбулентті молекулалық бұлттарда іске қосылатын жұлдызды желдерді имитациялайтын магнитті гидродинамикалық модельдердің қолданған. Жасанды көпіршіктердің жартысын, сондай-ақ Milky Way Project (MWP) жобасынан алынған азаматтардың ғылыми мәліметтерін Brut-ті оқытуға арналған жаттығулар жиынтығы ретінде белгілеген. Brut бұрын анықталған жоғары жылдамдықты көпіршіктермен жақсы жұмыс істей береді және бұрын MWP деректерінде шамалы немесе анық емес анықтаулар болған MWP көпіршіктерінің 10% -дан астамы жоғары сенімділік көпіршіктері ретінде қайта жіктеледі. [171] жұмыстағы CO спектрлік деректерін пайдаланып 12 көпіршікті анықтаған деректерге Brut-ті қолданған. 14-суретте Персей молекулалық бұлттыңдағы көпіршіктердің төрт мысалы келтірілген. Бұл көпіршіктер [171] жұмыстағы көзбен анықтаған CO деректеріндегі CO6, CPS8, CPS10 және CPS11 қабықтарымен байланысты. 14-суретте осы көпіршіктер және олармен байланысты Brut-тың қайта оқытуға дейінгі және кейінгі

бағалауы көрсетілген. Бұл төрт жағдайда бағалау едәуір жақсарғанын көрсетеді, мұндағы теріс мән – көпіршікті емес, оң – көпіршікті.



Сурет 14 – Персей молекулалық бұлтындағы көпіршіктердің төрт мысалы. Әр панельдің тақырыбындағы сол жақтағы сан бастапқы оқыту алгоритмі қайтаратын бастапқы бағаны көрсетеді. Әр панельдің атауындағы дұрыс сан қайта дайындалған алгоритм бойынша алынған жаңа нәтижені көрсетеді [170]

Екінші Gaia деректерінің шығарылымында (DR2) эволюцияның әр түрлі кезеңдеріндегі көптеген жас жұлдыз нысандарын (YSO) қоса алғанда 1.6 миллиардтан астам объектілерге арналған астрометриялық және фотометриялық мәліметтер бар. [172] жұмыста Күс жолындағы YSO популяциясын зерттеу үшін Gaia DR2 мәліметтер базасын Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) және Planck өлшемдерімен біріктіріп машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, аспанда ықтимал YSO каталогын құрастырған. Кіріс каталогта DR2xAllWISE сәйкестік кестесіндегі 103 миллион объект болған. Әр нысанды төрт негізгі классқа бөлген: YSO, экстрагалактикалық нысандар, негізгі тізбектегі жұлдыздар және дамушы жұлдыздар. 90% ықтималдық шегінде 1 129 295 YSO үміткерін анықтаған. Қатаң тексеру процесі арқылы белгілі YSO-лардың шамамен 92 пайызын сәйкестендіре алатыны, ал YSO үміткерлеріне жалған оң сілтеме жасайтын дереккөздердің үлесі шамамен 6 пайызды құрайтыны көрсетілген. Әдіс Орион А жұлдызын құрайтын аймақта шынайы сценарий бойынша сәтті сыналған. Жаңа каталог арқылы тексергенде, шамамен 30% -ға көп жарияланған Gaia ескертулері YSO белсенділігіне байланысты болуы мүмкін. Нәтижесінде каталог сонымен қатар болашақ Gaia

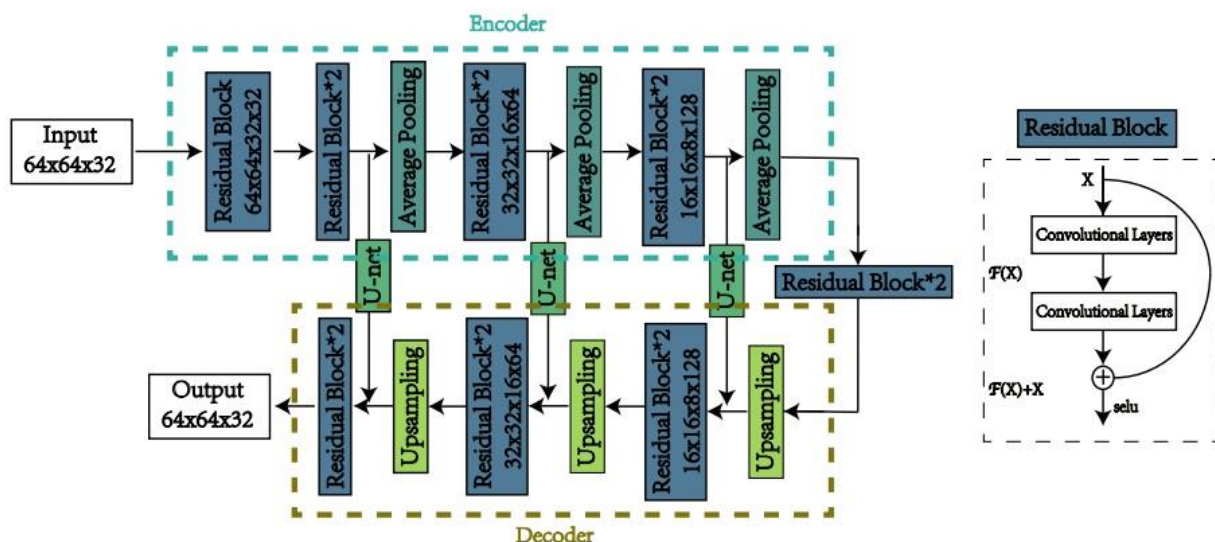
ескертулерінің арасында YSO анықтауға пайдалы болуы мүмкін деген ойға келген.

[173] жұмыста машиналық оқытуды Gaia ESA және Spitzer NASA екі ғарыштық шолулардың сауалнамалары негізінде Бөрі (Lupus) жұлдыз қалыптасу аймағындағы жаңа кандидаттарды анықтауға қолданған. Gaia 2 деректерін алынған астрометриялық өлшеулер, сондай-ақ Спитцер ғарыш телескопындағы инфрақызыл массив камерасынан (IRAC – Infrared Array Camera) астрометриялық және фотометриялық мәліметтер, сондай-ақ басқа шолулар нәтижесінде каталогтар машиналық оқыту әдісіне қолданылған. Нәтижесінде спектроскопиялық бақылауға Lupus жұлдыз қалыптасу аймағынан 27 үміткер тізімделген.

[174] жұмыста CO мәліметіне негізделген Milky Way Scroll Painting Imaging Survey (MWISP) шолудан Аққу (Cygnus) аймағындағы қара бұлт кешені арқылы молекулалық сырт ағындардың шолуын ұсынған. Машиналық оқытудың алгоритмі оқытушымен іске асатын – Support Vector Machines (SVM) арқылы ^{12}CO және ^{13}CO $J = 1-0$ эмиссиясы кубындағы ағын сипаттамаларын визуалды бағалауды жеделдету үшін ұсынылған. Яғни, зерттеудің объективті мәліметтерінің үлкен көлемін ескере отырып, қолмен анықталған үлгілер жиынтығы негізінде сырт ағын сипаттамаларын соқыр іздеу үшін автоматты детектор жасаған. Оқытушы арқылы іске асатын машиналық оқыту алгоритмдері үшін оқу жиынтығы қажет екені белгілі. Жіктеу дәлдігін жіктелетін топтың қасиеттерін көрсететін жақсы таңбаланған жаттығулар жиынтығын таңдау арқылы жақсартуға болады. Сол себепті, жұмыста оқытуға арналған оқу үлгілерін қолмен анықтап, көзбен тексеріп, сырт ағынға сәйкес келуін тексерген. Оқу деректері бүкіл деректер жиынтығының $\sim 2\%$ құраған. Нәтижесінде барлығы 130 сырт ағын үміткерлері анықталған, олардың 77-сі биполярлы заңдылықты және 118 жаңа анықтау болып табылады. Бұл жұмыс машиналық оқыту әдістерін жұлдыз қалыптасу аймағын анықтауда қолдануға болатынын көрсетіп отыр, сондықтан болашақтағы зерттеулерде осы әдіс тиімді және жылдам есептеу құралы ретінде қолданылуы ықтимал.

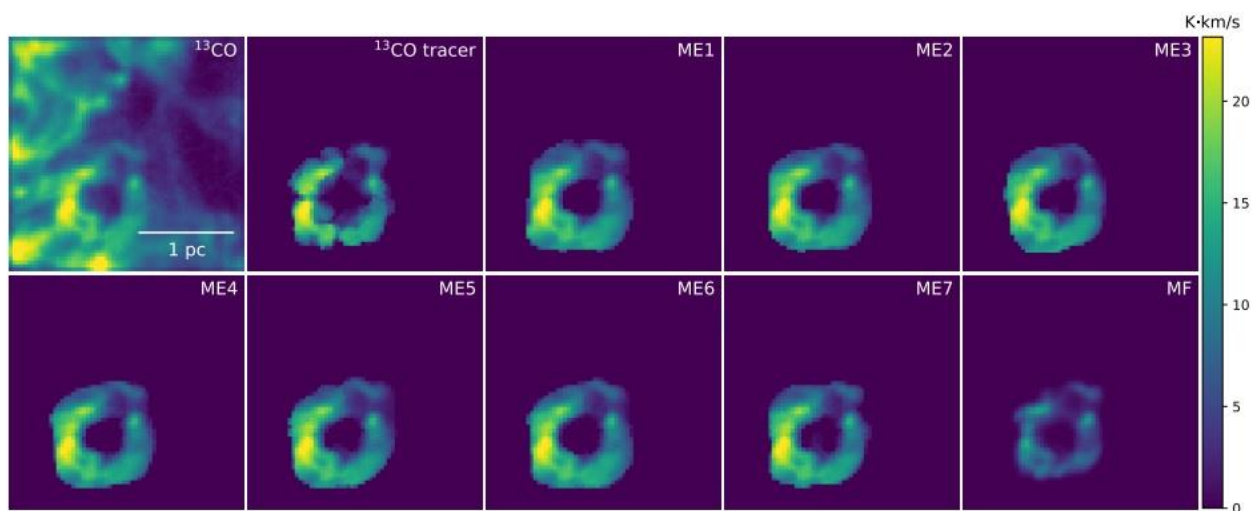
1.3.2 Сырт ағынды анықтау және параметрлерін болжау

^{13}CO сияқты молекулалық сызық спектрлеріндегі жұлдызды кері байланыс белгілерін анықтау үшін терең оқыту *cas1* (Convolutional Approach to Shell Identification) қолданылған [175]. Моделді оқыту үшін жасанды бақылаулар жасау үшін кіріс ретінде жұлдызды желдің турбулентті молекулалық бұлтқа әсерін зерттейтін магнитті-гидродинамикалық модельдер қолданылған. [175] жұмыста модельденген бұлттардан ^{13}CO ($J = 1-0$) сәуле шығаруды имитациялау үшін 3D сәулелену коды (radmc-3d) қолданылды. Екі *cas1-3d* модельдері жасалған: ME1 кері байланыстың орнын ғана болжауға машықтанған, ал MF әр пиксельдегі кері байланыстан келетін массаның үлесін болжауға үйретілген. ME1 моделі 95% дәлдікпен имитацияланған мәліметтердегі көпіршіктерді анықтаған, ал MF моделі көпіршіктердің массасын шын мәнінен 4% шегінде болжайды. Осы жұмыста қолданылған нейрондық желінің моделі 15-суретте келтіріліген.



Сурет 15 – U-net CNN моделінің қалдық функциялары бар архитектурасы [175]

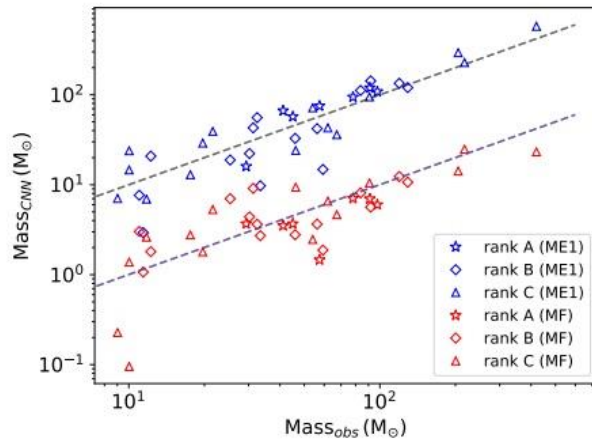
Тест жиынтығындағы жасанды бақылаулар үшін CNN негізінде құрылған бірнеше моделдің өнімділігі 16-суретте келтірілген.



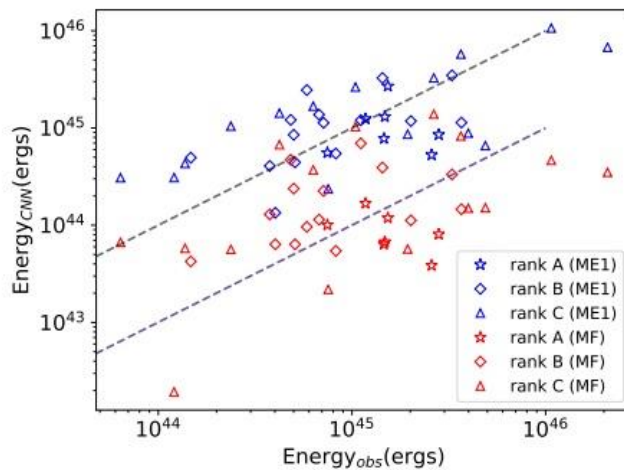
Сурет 16 – ^{13}CO интегралды қарқындылығы (жоғарғы сол жақта) және болжау көпіршікті шығаруға арналған сегіз CNN моделі [175]

Жасанды бақылау деректеріне үйретілген нейрондық желі Торпак молекулалық бұлты үшін сыналған, яғни физикалық параметрлері болжанған. 17-суретте CNN-дің екі моделінен есептелген көпіршіктер массасы және бақылау арқылы анықтаған барлық көпіршіктерге бақылаушы тәсілмен салыстырылады [175]. ME1-ден бағаланған масса 2-ге жуық бақылаушы тәсілден шамамен сызықтық тенденцияны көрсетеді.

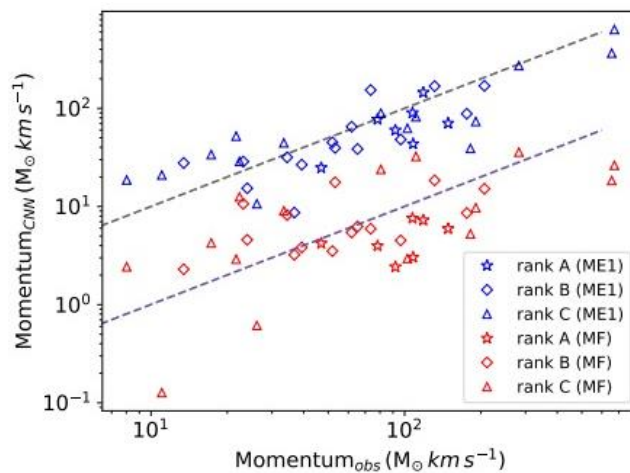
18-суретте және 19-суретте CNN модельдерінен есептелген импульс пен энергияны бақылаушы тәсілмен салыстыру келтірілген [175]. ME1-ден бағаланған импульс пен энергия бақылаумен салыстырғанда шамамен сызықтық тенденцияларды көрсетеді және 2 коэффициентінде болады.



Сурет 17 – Cas3D моделінің болжамдары бойынша алынған көпіршіктер бақылау арқылы алынған нақты массасының бағасы. Сұр сызық тең массаның тенденциясын көрсетеді, ал күлгін сызықша 10-ға кішірейтіледі. Көк белгілер ME1 моделінен есептелген массаны көрсетеді. Қызыл белгілер MF моделінен есептелген массаны білдіреді [175]

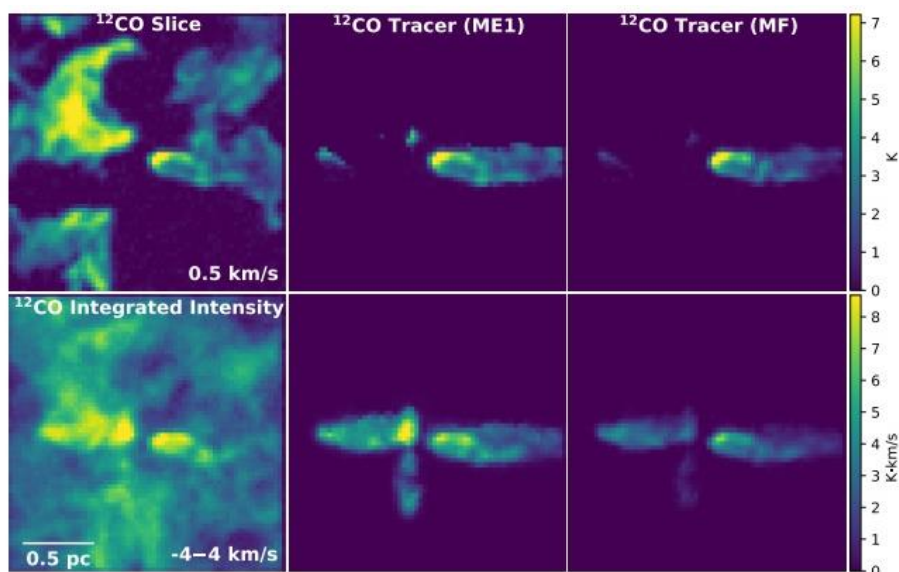


Сурет 18 – Cas3D моделінің болжамдары бойынша бағаланған және бақылау бойынша есептелген көпіршіктердің энергиясы [175]

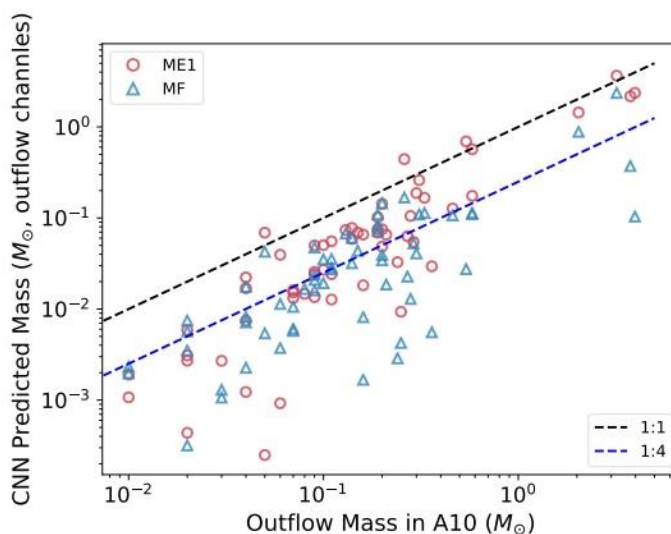


Сурет 19 – Cas3D моделінің болжамдары бойынша бағаланған және бақылау бойынша есептелген көпіршіктердің импульсі [175]

[176] жұмыста молекулалық сызық спектрлеріндегі протожұлдыздық сырт ағындарды анықтау үшін *casi-3d* терең оқытуды қолданған. Протожұлдыздық сырт ағындарды іске қосатын және оларды синтетикалық бақылаулар жасау үшін қолданатын жұлдыздардың пайда болу магнитті-гидродинамикалық модельдеу арқылы іске асқан. [175] жұмыстағы модельдер қолданылған. Екі модель Персейде бұрын көзбен анықталған барлық 60 ағынды сәтті анықтаған. Сонымен қатар, *casi-3d* сенімділігі жоғары 20 жаңа сырт ағынды анықтайды. MF моделі болжаған Персейдегі жеке көздердің массасы, импульсі және энергиясы алдыңғы бағалаулармен салыстырылған. 20-суретте сырт ағынды анықтау нәтижесі келтірілген [176]. 21-суретте бақылау арқылы анықталған сырт ағынның параметрін болжау нәтижесімен салыстыру келтірілген.



Сурет 20 – ^{12}CO жасанды бақылау арқылы сырт ағын мен оның ізін анықтау. Жоғарғы қатарғы бірінші панель: ^{12}CO эмиссиясы $V = 0.5$ км/с жылдамдықта. Төменгі қатардағы бірінші панель: -4-тен 4 км/с-қа дейінгі ^{12}CO интегралды қарқындылығы [176]



Сурет 21 – *Casi-3d* болжаған сырт ағын массасы мен бақылау арқылы есептеген сырт ағын массасы арасындағы байланыс [176]

1.4 Бөлім бойынша қорытындылау

Әдебиеттерді талдаудан келесі қорытындылар жасауға болады:

1. Молекулалық сырт ағындар бүкіл жұлдыз масса ауқымында қоңыр ергежейліден бастап массивтік жұлдыздарға дейін жүреді және іске қосу механизмін түсіну массивті жұлдыздардың қалыптасуын түсіну үшін өте маңызды [177,91,132]. Соңғы 40 жылда массасы аз сырт ағындар саны айтарлықтай өсіп, нәтижесінде бірнеше түрлі модельдер пайда болғанмен [178-181], массивті жұлдыздардың пайда болуымен байланысты молекулалық сырт ағындар саны жағынан салыстырмалы түрде аз [103,128,87,182,130,91,132]. Жұлдыздардың массивті түзілуіне байланысты сырт ағындардың жүйелік зерттеулері массасы аз жұлдыздағы процестерді зерттеуге қарағанда әлдеқайда кеш басталды. 122 массивті жұлдыз түзуші аймақ (MSF) бағытында CO (1–0) канаттарын іздеу олардың 90%-ында орташа және жоғары жылдамдықтағы канаттар табылды. 10 MSF аймағының CO (1-0) картографиясы бес үлкен массалық сырт ағынды анықталды. Кейінірек 69 массивтік протожұлдыздарды CO (2-1) үміткерлеріне жүргізілген шолу жоғары жылдамдықты газдың жұлдыздардың жас объектілерінде кең таралғаны көрсетілді. 26 дереккөздің 21-інде биполярлы сырт ағын анықталды. Бұл зерттеулер көрсеткендей, массасы үлкен сырт ағындар массасы аз сырт ағындарға қарағанда әлдеқайда массивті және қуатты. Массивті және массасы аз сырт ағындардың коллимациялық факторлары айтарлықтай ерекшеленбейтіндігі анықталды, бұл өзге жұмыс нәтижелерінен ерекшеленді. 6,7 ГГц жиілікте метанол мазерімен байланысты 54 массасы үлкен сырт ағындарды зерттеу іске асырылып, массасы үлкен сырт ағындар аз массалы объектілер үшін де орындалатын сырт ағындар белсенділігі мен шоғыр массасы арасындағы масштабтау заңына бағынды, яғни аз массалы және массасы үлкен жұлдыздарда қалыптасу үдерісі бірдейлігін көрсетілді. Сырт ағындар қоршаған ортадағы турбуленттілікті тудыратындай қуатты, бірақ бұлт турбуленттілігіне айтарлықтай ықпал етпейді деп болжанды. Массивті жұлдыздардың пайда болуының процестері әлі де қызу пікірталастың тақырыбы болып табылатындығын ескере отырып, бұл процестерді түсіну үшін егжей-тегжейлі зерттеу үшін үлкен сырт ағындарды анықтау өзекті болып саналады.

2. Астрофизикалық мәліметтер жиынтығын талдауда ML әдістерін қолдану өсуде. Үлкен көлемдегі мәліметтер жиынтығын санаулы уақытта өңдеу қабілеті бар бұл әдістер машиналық оқытуды одан әрі тартымды етеді. Машиналық оқыту саласында үздіксіз жаңалықтар ағыны болғандықтан, оны астрономиядағы қолдану оның орасан зор әлеуетін көрсетеді. Деректерді талдаудың бұл жаңа әдісі астрономиялық мәселелер туралы басқаша ойлануды, деректер туралы жаңа көзқарастарды дамытуды және информатика, техника және басқа салалардағы зерттеушілермен белсенді ынтымақтастықты талап етеді. Қолмен сәйкестендіру зерттеулері көп деректерді өңдеуге байланысты ауыр және адамдар бейнені қалай қабылдауы сияқты субъективті факторларды қамтиды. Машиналық оқыту алгоритмдері қарапайымдылығымен және дәлдігімен үлгіні тану саласында кеңінен қолданыла бастады. Белгіленген өлшемшарттан гөрі алдын-ала белгіленген үлгілер жиынтығына сүйене

отырып, олар нақты анықтау қиын құрылымдарды анықтауға арналған тамаша құралдар болар еді.

3. Жаңа болашағы бар зерттеу әдістерін қолдану жұлдыздардың қалыптасуына байланысты кейбір мәселелерді шеше алады. Бұл әдістер жинағы жоғарыда аталған машиналық оқыту болып табылады. Машиналық оқытудың классификация, сәйкестендіру және тану тапсырмаларында жоғары дәлдікке ие екенін ескеріп, молекулалық бұлттарды жіктеуде және анықтауда тиімді шешім болмақ. Қосымша мәліметтер алынып, жаттығулар жиынтығының сапасы мен көлемі жақсарған сайын, машиналық оқыту өзінің білімін және мәліметтер жиынтығының моделін жақсарта алады, одан да нақты болжамдар жасай алады. Сондай-ақ, адамдардан айырмашылығы, машиналық оқыту модельдері жедел және автоматты түрде жаңа масштабталатын процесс арқылы жаңа деректер туралы болжам жасай алады.

Жоғарыда айтылғандардың негізінде бұл жұмыстың мақсаты келесідей құрса болады: массивті жұлдыздардың пайда болуының процестерін түсіну үшін үлкен сырт ағындарды анықтау және зерттеу болып табылады.

2. COHRS CO (3–2) ШОЛУЫ БОЙЫНША МАССАСЫ ҮЛКЕН СЫРТ АҒЫНДАРДЫ АНЫҚТАУ

2.1 Мұрағаттық деректер және үлгілер

2.1.1 Мұрағаттық деректер

ATLASGAL – Галактиканың ішкі жазықтығын 870 мкм тереңдіктегі ең үлкен және сезімтал жүйелік шолу болып табылады. Бұл тығыз шоғырлардың риясыз дерекқоры тыныштықтан бастап H II-ге дейінгі әр түрлі кезеңдердегі массасы үлкен сырт ағындарды зерттеуге арналған үлкен жұлдыздардың қалыптасуының толық тізбегін қамтамасыз етеді. ATLASGAL дерекқорында жартылай амплитуда деңгейінде толық ең (FWHM – Full width at half maximum) сәулесінің өлшемі 19.2" ие, ал әдеттегі орташа квадраттық қателігі (rms – root mean square) 345 ГГц-те ~ 4 бұрыштық секунд (arcsec). Шолудың сезімталдығы 0.3–0.5 Янски/сәуле (Jy/beam) (5σ) ие және 20 кпк гелиоцентрлік қашықтықта массасы Күн массасынан 1000-нан үлкен ($\geq 1000 M_{\odot}$) болатын барлық суық тығыз шоғырларды (< 25 K) анықтауға мүмкіндік береді [183]. $|l| < 60^{\circ}$ және $|b| < 1.5^{\circ}$ аймағында барлығы ~ 10163 шағын шоғырлар анықталған болатын және [125] жұмыста үлкен жұлдыздардың қалыптасу (MSF – massive star formation) шоғырларының толық физикалық қасиеттері келтірілген. Біз бұл деректерді сырт ағын параметрлері мен олардың сәйкес келетін шоғырларының қасиеттері арасындағы байланысты салыстыру үшін қолданамыз.

COHRS [81] Гавайидегі Джеймс Клерк Максвелл телескопындағы гетеродинді массивті қабылдағыш бағдарламасының (Heterodyne Array Receiver Programme) көмегімен алынды. Аяқталғаннан кейін, бұл шолу $|b| \leq 0.5^{\circ}$ және $10^{\circ} < |l| < 65^{\circ}$ аралығын қамтиды. Бірінші мәліметтер шығарылымы $|b| \leq 0.5^{\circ}$ және $10.25^{\circ} < |l| < 17.5^{\circ}$ және $50.25^{\circ} < |l| < 55.25^{\circ}$ аралығын және $|b| \leq 0.25^{\circ}$ және $17.5^{\circ} < |l| < 50.25^{\circ}$ аралығын қамтиды, барлығы 29 шаршы градусты құрайды. Зерттеудің бұрыштық ажыратымдылығы 13.8" ие және 0.42 км/с арна үшін орташа квадраттық қателігі шамамен ~ 2 K құрайды. Осы жиілікте негізгі сәулелік тиімділік 0.61 құрайды. COHRS CO (3–2) мәліметтері сырт ағын белсенділігінің көрсеткіші және жұлдыздардың пайда болуының алғашқы кезеңдерінің классикалық көрсеткіші ретінде қызмет етеді [184].

2.1.2 Түпнұсқа үлгілер

ATLASGAL [183] үлкен шоғырлар каталогында COHRS [81] қамтылған аймақтарда орналасқан 1869 шоғыр бар. Осы шоғырларда барлығы 770-і CO (3–2) эмиссиясымен байланысты және [125] жұмыстан алынған олардың физикалық қасиеттері 2-кестеде келтірілген. 770 шоғыр үшін $T_{dust}(K)$, $\lg[N_{H_2}(cm^{-2})]$, $\lg[M_{clump}(M_{\odot})]$, $\lg[L_{bol}(L_{\odot})]$ және $\lg[L_{bol}/M_{clump}(L_{\odot}/M_{\odot})]$

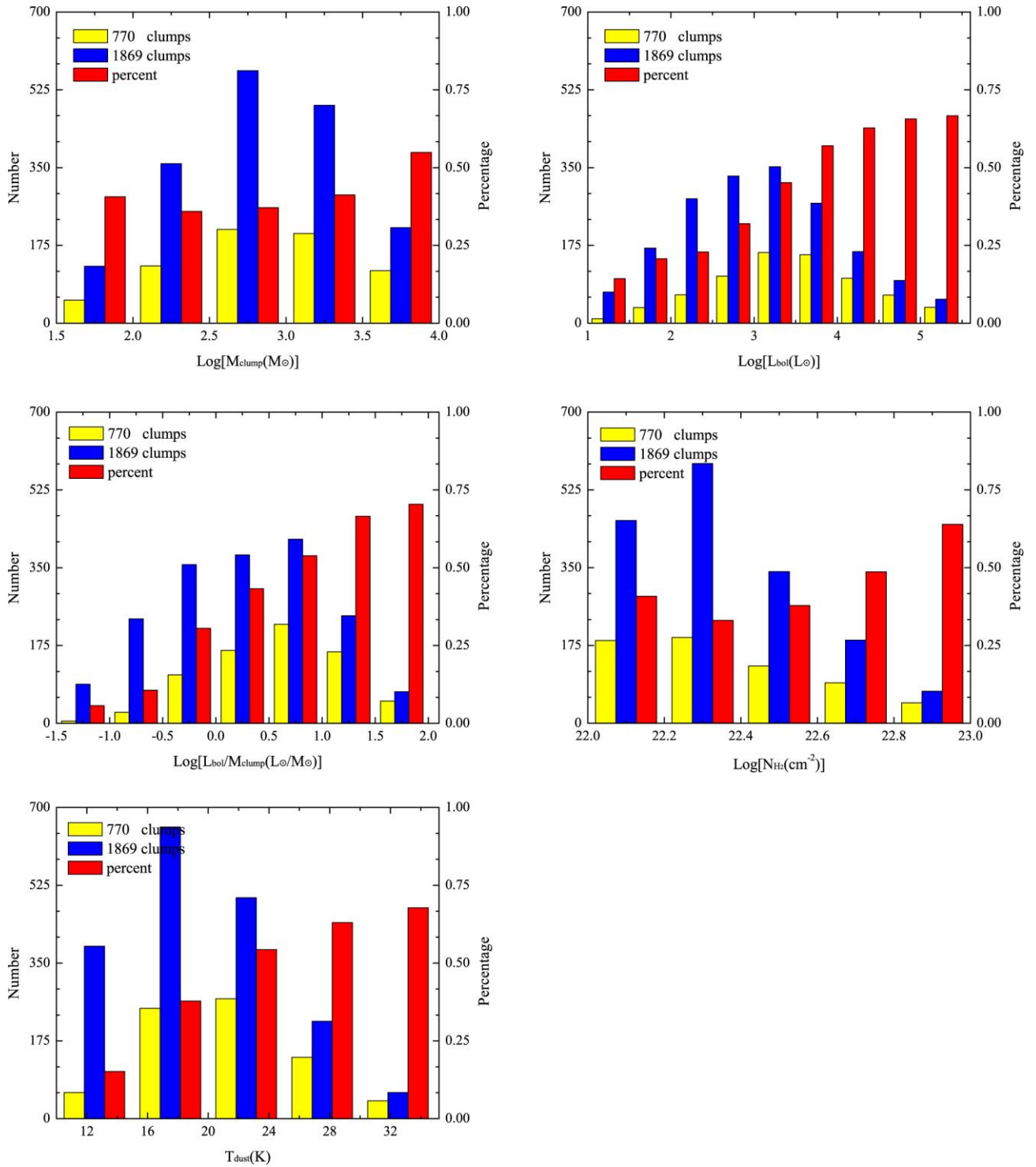
орташа мәндері сәйкесінше 21.61 ± 5.15 , 22.37 ± 0.34 , 2.87 ± 0.68 , 3.50 ± 0.98 және 0.63 ± 0.33 құрайды.

Кесте 2 – Сырт ағындарды анықтауға қажетті 770 ATLASGAL шоғырының физикалық қасиеттері*

ATLASGAL Name	Evolution Type	Dist. (кpc)	T_{dust} (K)	$\lg[L_{bol}] (L_{\odot})$	$\lg[M_{clump}] (M_{\odot})$	$\lg[N_{H_2}] (cm^{-2})$
G010.284-00.114	YSO	3.5	19.3	3.9	3.2	23.042
G010.342-00.142	MSF	3.5	26.3	4.2	2.9	22.953
G010.472+00.027	MSF	8.5	25.1	5.7	4.4	23.803
G010.618-00.031	YSO	8.5	16.6	3.1	3.4	22.314
G010.621-00.442	Protostellar	5.0	19.0	3.7	3.6	22.489

*Бұл мәндер [125] жұмыстан алынған. Бұл кесте толығымен онлайн-журналда машинада оқылатын формада қол жетімді. Мұнда оның формасы мен мазмұнын көрсету үшін кестенің тек бір бөлігі көрсетілген.

22-суретте 1869 ATLASGAL шоғырларының және таңдалған 770 COHRS үлгілерінің T_{dust} , N_{H_2} , L_{bol} , M_{clump} және L_{bol}/M_{clump} үлестірімдері көрсетілген. Үлгілердің ішінде CO (3-2) жылу тығыз газ көрсеткіші бар шоғырларды анықтау ықтималдығы T_{dust} , L_{bol} және L_{bol}/M_{clump} жоғарылаған сайын тез артады, бұл жұлдыздардың қалыптасу белсенділігінің дамып келе жатқандығын көрсетеді. Алайда, M_{clump} және N_{H_2} анықтау ықтималдығында шамалы өзгеріс көрсетеді, бұл M_{clump} және N_{H_2} шоғырлардың даму басталғаннан кейін өзгермейтінін растайды [125]. Тұтастай алғанда, CO (3-2) -ге байланысты 770 шоғырлар үшін T_{dust} , N_{H_2} , L_{bol} , M_{clump} және L_{bol}/M_{clump} орташа мәндері барлық 1869 шоғырлардан сәл үлкен (5-кестені қараңыз). Болометриялық жарықтығы бойынша осы екі үлгілер үшін Колмогоров-Смирнов (K-S) тестілері олардың әр түрлі ата-аналық үлестірулеріне (parent distribution) тиістілігін ұсынады (статистикалық мән = 0.18, p-мәні $\ll 0.001$; p-мәні > 0.05 екі үлгінің бір ата-аналық үлестірімнен шыққандығын көрсетеді). Жарықтық-массаның болометриялық қатынасы (статистикалық мән = 0.2, p-мән $\ll 0.001$) және шаң температурасы (статистикалық мән = 0.19, p-мән $\ll 0.001$). Бұл нәтижелер жоғарыда аталған CO (3-2) шоғырлары салыстырмалы түрде дамыған және қазіргі кезде жұлдыздар түзіп жатыр деген идеяны қолдайды. Шекті баған тығыздығының салыстырмалы түрде үлкен p-мәндері (статистикалық мән = 0.07, p-мән = 0.02) және шоғыр массасы (статистикалық мән = 0.05, p-мән = 0.07), яғни бұл екі параметр шоғырлар дамуына сезімтал еместігін көрсетеді [125].



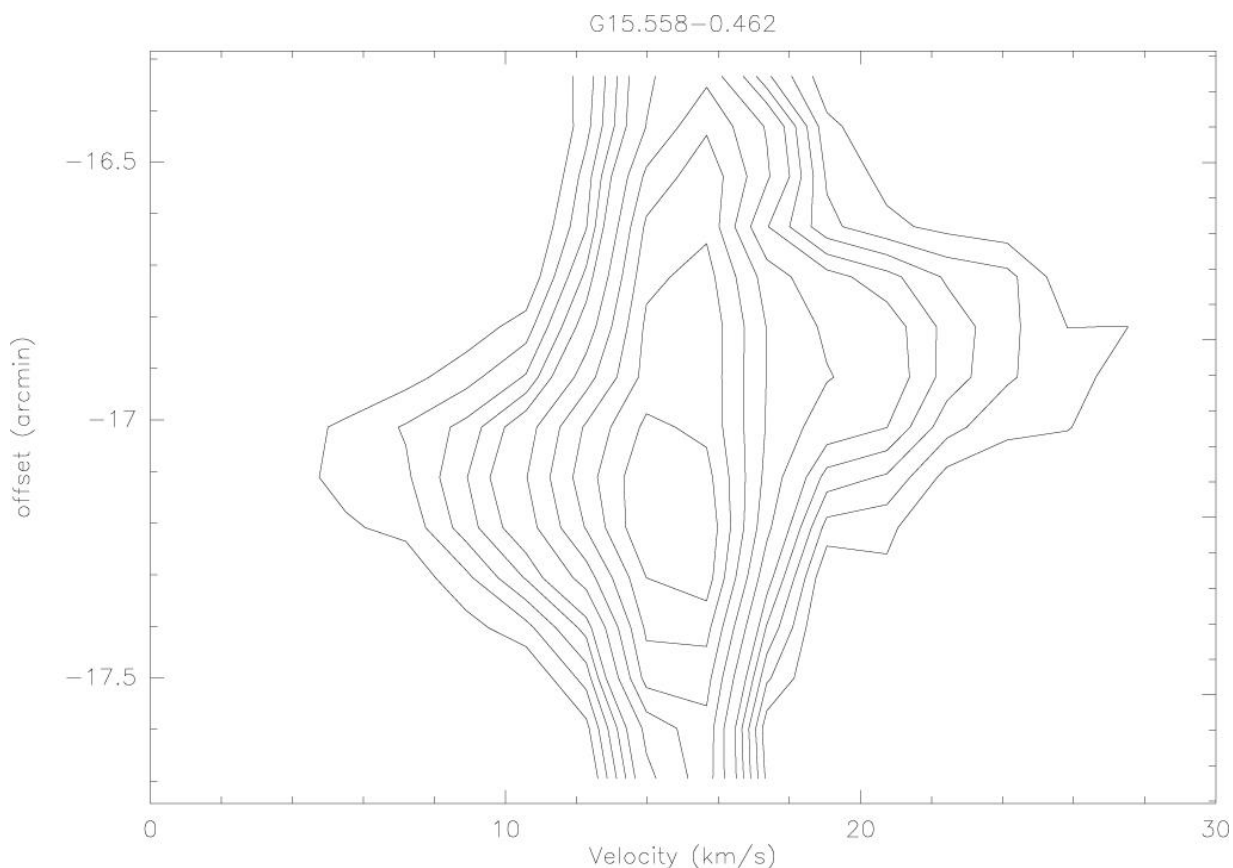
Сурет 22 – Анықталған CO (3–2) эмиссиясымен (сары түсті гистограмма) байланысты таңдалған 770 шоғырлар мен толық 1869 шоғырмен (көк түсті гистограмма) салыстыру үшін M_{clump} , L_{bol} , L_{bol}/M_{clump} , N_{H_2} және T_{dust} таралуы.

Қызыл түсті гистограммалар сәйкес диаграммадағы анықталған CO (3-2) эмиссиясымен байланысты шоғырларды анықтау жылдамдығын білдіреді

2.2 Сырт ағынды сәйкестендіру

Бастапқы үлгілер арасындағы сырт ағындарды анықтау негізінен CO (3-2) спектрлерінің сызық қанаттарын және позиция-жылдамдық (Position-Velocity – PV) диаграммасын галактикалық ендік пен бойлық бойымен кесілген кескінін

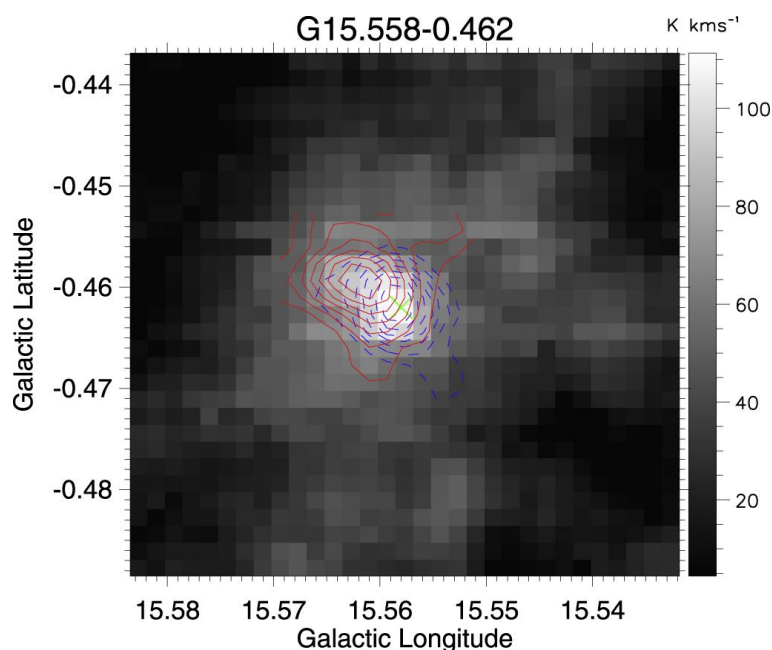
тексеру арқылы жасалды. 770 шоғыр үміткерлерінің арасында 157 массасы үлкен сырт ағындар анықталды және олардың барлық PV диаграммалары А қосымшасында көрсетілген. 23-суретте G15.558-0.462 дереккөзінің PV диаграммасы шығыс ағынның нақты ерекшеліктерін көрсетеді және қызыл және көк жапырақшалардың жылдамдық диапазонын анықтайды. [85] жұмыста кейбір сырт ағын бөліктері көру аймағындағы жақын көздердің жоғары жылдамдық компоненттерімен ерекшеленбеуі мүмкін екенін атап өтті. Массасы үлкен сырт ағынға үміткер 157 кандидаттың 39-ында тек бір анық қызыл немесе көк жапырықшасы бар, ал қалған бөлігі анық емес, яғни ластанған.



Сурет 23 – G15.558-0.462 дереккөзінің PV диаграммасы. Контур деңгейлері 1.95-тен 5.85 К-ге дейін 0.975 К және 7.48-ден 13.46 К-ге дейін 1.496 К

Сонымен қатар, тоғыз дереккөздің қызыл және көк жапырақшалары бір-бірімен қабаттасады, ал 24 дереккөзде бір жапырақша толық жоғалып кеткен, яғни байқалмайды. Сондықтан, біз кеңістікте бөлінген қызыл және көк жапырақшалары бар массалы үлкен 85 сырт ағынды сақтаймыз. Қашықтығы бағаланбаған бір шоғырды есепке алмасақ, онда осы жұмыста 84 массасы үлкен сырт ағындарды талдауға бағытталады. Осы 84 массасы үлкен сырт ағындардың CO (3-2) интегралды қарқындылық картасы Б қосымшасында көрсетілген. 24-суретте бір дереккөзге сырт ағын жапырақшаларының CO (3-2) интегралды қарқындылық суреті бейнеленген, мұнда көк және қызыл сырт ағын жапырақшаларын білдіретін көк нүктелі және қызыл тұтас контурлар шоғырдың CO (3-2) интегралды қарқындылық кескініне беттестірілді (сұр

масштабта). 3-кестеде анықталған дереккөздер үшін контур деңгейлері және интегралды эмиссияның жылдамдық диапазоны келтірілген.



Сурет 24 – G15.558-0.462 дереккөзі үшін интегралды CO эмиссиясына (сұр масштаб) салынған көк ығысу (көк үзік сызық) және қызыл ығысу (қызыл тұтас сызық) эмиссиясын көрсететін интегралды қарқындылық контуры

Кесте 3 – Көк және қызыл ығысулардың эмиссиясы үшін интегралды қарқындылық контур деңгейлері және сырт ағынның көк және қызыл жапырақшаларының сипаттамалары: ΔV_b және ΔV_r

ATLASGAL Name	Contour Start/Step (blue) ($K km s^{-1}$)	Contour Start/Step (red) ($K km s^{-1}$)	ΔV_b ($km s^{-1}$)	ΔV_r ($km s^{-1}$)
G10.284-0.114	4.44 / 4.26	5.52 / 3.21	[3.0, 10.0]	[17.2, 28.0]
G10.342-0.142	5.18 / 3.71	4.03 / 5.69	[-3.7, 6.3]	[15.5, 21.5]
G10.618-0.031	2.84 / 0.78	3.10 / 1.05	[58.8, 61.3]	[65.4, 68.4]
G10.621-0.442	4.61 / 2.78	3.94 / 1.39	[-10.9, -4.6]	[1.4, 6.0]
G10.624-0.384	5.39 / 13.6	5.87 / 16.3	[-18.8, -8.0]	[2.0, 14.8]
G10.626-0.337	4.51 / 1.53	5.10 / 3.92	[-15.0, -9.2]	[-1.4, 6.0]
G10.684-0.307	2.45 / 0.74	2.74 / 1.62	[-6.4, -4.4]	[-0.5, 2.0]
G11.767-0.041	2.84 / 0.55	3.93 / 0.74	[4.0, 5.7]	[10.0, 13.3]
G11.839-0.101	4.26 / 1.79	3.78 / 1.40	[8.6, 13.0]	[17.3, 20.8]
G12.024-0.031	4.88 / 4.90	6.06 / 3.74	[102.0, 108.0]	[113.8, 123.0]
G12.198-0.034	3.81 / 0.75	5.27 / 2.54	[42.3, 45.7]	[54.0, 60.5]
G12.218+0.134	4.08 / 0.79	4.55 / 2.12	[32.4, 36.1]	[41.2, 45.8]
G12.223+0.139	1.11 / 0.49	1.57 / 2.07	[33.6, 36.2]	[41.5, 46.7]
G12.403-0.467	3.33 / 0.70	3.13 / 0.41	[40.5, 43.0]	[49.4, 51.6]
G12.524-0.289	5.61 / 2.63	3.04 / 0.92	[25.0, 32.7]	[39.0, 41.3]
G13.671-0.009	5.57 / 1.38	5.70 / 2.30	[37.8, 41.2]	[46.0, 49.5]

3-кестенің жалғасы

G13.692+0.019	1.28 / 0.54	1.60 / 0.73	[40.3, 41.7]	[46.0, 48.3]
G13.714-0.084	4.22 / 0.28	6.58 / 1.32	[42.9, 44.6]	[50.8, 54.9]
G13.736-0.082	2.90 / 0.93	3.61 / 1.85	[42.9, 45.6]	[49.5, 53.7]
G13.794+0.256	2.20 / 0.25	2.96 / 0.53	[45.0, 46.5]	[52.5, 55.2]
G14.017-0.161	1.37 / 1.49	1.65 / 4.49	[31.2, 36.0]	[46.0, 53.0]
G14.194-0.194	6.31 / 9.10	5.55 / 8.84	[23.2, 36.3]	[42.0, 52.2]
G14.891-0.404	2.77 / 0.62	5.89 / 4.18	[56.1, 58.7]	[64.0, 75.8]
G15.178+0.044	2.77 / 0.79	3.01 / 0.81	[23.5, 26.3]	[30.8, 34.0]
G15.203-0.441	2.57 / 0.50	2.10 / 1.97	[15.3, 17.5]	[22.4, 23.9]
G15.558-0.462	7.06 / 5.27	7.92 / 6.13	[4.8, 12.5]	[17.3, 27.0]
G15.588-0.297	3.21 / 0.24	2.56 / 0.29	[54.8, 56.4]	[61.0, 62.0]
G16.586-0.051	6.06 / 2.73	8.32 / 3.00	[52.5, 56.0]	[62.0, 68.6]
G19.009-0.029	10.78 / 8.28	8.09 / 2.28	[51.5, 58.6]	[64.8, 68.8]
G19.439+0.152	3.29 / 0.54	3.09 / 1.20	[108.5, 110.3]	[115.2, 116.8]
G19.472+0.171	6.47 / 7.14	7.00 / 5.84	[9.2, 16.0]	[24.4, 32.4]
G19.518+0.077	5.12 / 0.94	5.45 / 1.42	[119.5, 122.0]	[125.9, 128.7]
G19.609-0.137	4.15 / 2.13	5.08 / 6.02	[51.3, 54.2]	[60.2, 64.6]
G19.631-0.162	3.71 / 0.78	4.67 / 1.82	[53.1, 55.5]	[60.9, 64.6]
G19.754-0.129	6.20 / 2.92	6.41 / 2.38	[111.0, 118.0]	[123.0, 130.5]
G19.892+0.101	2.16 / 0.18	4.99 / 2.10	[42.1, 43.2]	[47.8, 53.4]
G20.081-0.136	4.74 / 2.94	5.13 / 6.88	[32.8, 38.0]	[45.7, 51.8]
G20.662-0.139	5.52 / 2.93	4.08 / 4.26	[48.8, 54.9]	[59.0, 62.4]
G20.731-0.059	4.94 / 3.85	2.67 / 0.15	[48.5, 54.0]	[63.0, 64.6]
G20.746-0.092	5.70 / 3.49	5.54 / 4.62	[48.8, 55.4]	[61.5, 67.8]
G20.761-0.062	6.10 / 4.59	8.40 / 8.72	[47.0, 54.0]	[61.0, 74.3]
G23.897+0.064	6.15 / 0.58	6.07 / 0.11	[32.9, 34.9]	[44.0, 46.0]
G24.624-0.101	7.27 / 1.14	7.15 / 1.70	[107.6, 110.6]	[115.6, 118.5]
G25.398-0.141	9.58 / 6.60	8.64 / 5.16	[85.9, 92.0]	[102.5, 107.5]
G25.458-0.039	6.34 / 0.44	5.34 / 0.39	[90.8, 93.5]	[97.5, 99.5]
G25.796+0.242	5.75 / 0.92	5.60 / 3.33	[103.0, 106.0]	[112.5, 115.4]
G26.601-0.221	6.75 / 2.13	5.76 / 1.36	[102.2, 106.0]	[110.4, 113.1]
G27.366-0.166	6.98 / 4.05	6.37 / 6.07	[82.0, 88.0]	[95.0, 100.0]
G27.741-0.231	3.47 / 0.42	3.53 / 0.32	[92.1, 94.2]	[99.5, 101.7]
G27.758+0.051	4.63 / 1.23	4.38 / 1.12	[92.1, 96.0]	[103.5, 107.0]
G27.883+0.204	2.80 / 0.68	3.72 / 0.84	[90.3, 92.0]	[96.0, 99.0]
G27.923+0.196	3.15 / 0.44	3.52 / 0.52	[89.6, 91.6]	[96.4, 99.0]
G29.276-0.129	5.12 / 3.50	6.04 / 5.11	[51.0, 58.8]	[64.0, 74.9]
G29.862-0.044	10.37 / 5.65	9.00 / 6.03	[89.5, 97.0]	[103.7, 109.4]
G30.224-0.179	6.76 / 3.08	9.01 / 4.73	[98.8, 101.8]	[106.2, 111.5]
G30.386-0.104	4.82 / 1.99	4.99 / 1.80	[81.0, 84.5]	[89.5, 93.3]
G30.623-0.111	2.92 / 0.07	4.18 / 1.00	[109.5, 110.8]	[117.0, 119.6]
G30.866+0.114	8.59 / 2.93	9.89 / 5.24	[32.0, 36.0]	[43.0, 48.3]

3-кестенінің жалғасы

G31.391+0.206	3.92 / 0.82	5.63 / 2.16	[15.7, 17.4]	[20.8, 24.4]
G31.581+0.077	9.64 / 7.58	8.31 / 5.16	[84.0, 93.8]	[98.2, 105.4]
G32.051-0.089	6.87 / 1.90	7.63 / 2.18	[64.4, 68.9]	[73.2, 78.8]
G32.117+0.091	6.12 / 3.27	6.82 / 4.04	[89.0, 92.8]	[100.0, 104.7]
G32.797+0.191	7.18 / 6.92	5.84 / 4.20	[0.1, 10.7]	[21.0, 28.0]
G33.393+0.011	4.45 / 0.95	6.69 / 3.11	[94.5, 98.0]	[107.0, 114.9]
G33.643-0.227	5.81 / 1.98	4.57 / 1.41	[53.9, 59.2]	[64.0, 67.3]
G33.914+0.109	5.93 / 2.64	5.83 / 4.89	[97.8, 104.0]	[111.0, 117.0]
G34.454+0.006	8.53 / 2.71	6.46 / 1.48	[78.8, 86.6]	[91.5, 96.0]
G35.466+0.141	5.44 / 2.03	6.35 / 1.00	[70.4, 73.9]	[78.0, 82.7]
G35.579-0.031	10.41 / 9.20	10.71 / 9.17	[36.0, 48.0]	[56.0, 68.7]
G37.268+0.081	1.67 / 1.10	1.42 / 0.58	[84.0, 88.0]	[96.0, 98.9]
G37.546-0.112	1.15 / 0.51	1.19 / 0.65	[47.0, 48.8]	[57.2, 59.0]
G37.734-0.112	1.83 / 3.29	2.12 / 2.67	[36.8, 42.1]	[50.0, 57.1]
G37.754+0.196	1.44 / 1.40	1.59 / 1.92	[39.0, 42.5]	[47.0, 51.3]
G39.573+0.012	2.39 / 0.60	1.93 / 0.46	[19.0, 21.0]	[25.2, 26.5]
G40.283-0.219	4.36 / 14.1	3.47 / 6.93	[53.7, 70.0]	[80.0, 90.3]
G41.122-0.219	2.23 / 3.99	2.56 / 1.39	[53.9, 58.0]	[64.5, 70.0]
G43.706-0.171	2.84 / 0.30	2.51 / 0.25	[61.0, 63.5]	[69.6, 71.5]
G43.994-0.012	5.65 / 4.37	4.62 / 3.55	[51.0, 63.2]	[68.0, 76.1]
G45.121+0.131	4.96 / 7.01	5.43 / 9.70	[46.0, 53.3]	[64.0, 72.8]
G45.454+0.061	7.45 / 5.75	5.67 / 1.03	[50.5, 6.0]	[64.0, 66.6]
G47.031+0.244	2.63 / 0.57	2.78 / 0.55	[49.9, 52.0]	[59.0, 61.4]
G48.606+0.022	7.18 / 5.73	10.01 / 8.15	[6.0, 14.0]	[23.2, 38.8]
G49.726-0.012	2.21 / 0.28	2.29 / 0.24	[44.5, 46.5]	[52.75, 54.9]
G49.982-0.137	2.98 / 1.00	1.93 / 0.84	[40.4, 44.0]	[49.3, 50.9]

2.3 Сырт ағын параметрлері

84 сырт ағынның физикалық қасиеттері [185] жұмыстағы тәртіпке сәйкес есептелді. Сыртқа шығатын газдың жалпы бағаналы тығыздығы келесі өрнек бойынша анықталады:

$$N_{tot}({}^{12}\text{CO}) = \frac{3k^2 T_{ex}}{4\pi^3 \mu_d^2 h\nu^2 \exp(-2h\nu/kT_{ex})} \int T_{mb} d\nu, \quad (1)$$

мұндағы, $k = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg}$, $\mu_d = 0.112 \times 10^{-18} \text{ esu cm}$, $\nu = 345.79599 \times 10^9 \text{ Hz}$ және ν -ның өлшем бірлігі km s^{-1} . Жарықтылық температурасы T_{mb} бастапқы сәуленің тиімділік коэффициентін (0.61) қолдану арқылы антенна температурасынан есептеледі [81]. Осы шолудың анықтау шегі бағаналы тығыздыққа $N_{H_2} \sim 6.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ сәйкес келеді. Бұл процесте қозу

температурасы 20 К құрайды [186], ал CO (3-2) сызығының қанаттары оптикалық жұқа.

Сырт ағын жапырақшасының белгілі бір аймағындағы әр пиксельдің массасы келесі өрнекпен есептеледі:

$$M_{pixel} = N_{tot}({}^{12}\text{CO})[H_2/CO]\mu_{H_2}m_H A_{pixel} \quad (2)$$

мұндағы, $\mu_{H_2} = 2.72$ – орташа молекулалық салмақ [187], $m_H = 1.67 \times 10^{-24}$ – сутек атомының массасы, $[H_2/CO] = 10^{-4}$ деп алынды, ал A_{pixel} – ең төменгі контур (3σ) арқылы анықталатын ағын жапырақшасының әрбір пиксель ауданы. Әрбір сырт ағынның жиынтық массасы (M) ең төменгі контурмен анықталған барлық кеңістіктік пиксельдерді қосу арқылы алынады. Сырт ағын жапырақшасының белгілі бір аймағындағы әрбір пиксель үшін арна жылдамдығының импульсі мен кинетикалық энергиясы келесідей есептеледі: $P_{v,pixel} = M_{v,pixel} \times v$ және $E_{v,pixel} = (1/2)M_{v,pixel} \times v^2$, мұндағы v – жүйенің жылдамдығына қатысты әр арнаның жылдамдығы, ал $M_{v,pixel}$ осы каналдағы эмиссияға сәйкес келеді. Әрбір сырт ағынның жиынтық импульсі (P) және кинетикалық энергиясы (E) барлық арна жылдамдықтары мен ең төменгі контурмен анықталған барлық кеңістіктік пиксельдер бойынша қосылу арқылы есептеледі. Сонымен, сырт ағынның массалық лездігі, механикалық жарықтылық және механикалық күш сәйкесінше $\dot{M}_{out} = M_{out}/t_{dyn}$, $L_{out} = E_{out}/t_{dyn}$ және $F_{out} = P_{out}/t_{dyn}$ ретінде анықталады. t_{dyn} динамикалық уақыты $t_{dyn} = l/V$ ретінде анықталады, мұндағы l – көк және қызыл жапырақшаларының шыңдары арасындағы қашықтық, ол сырт ағынның орташа жылдамдығы P/M ретінде анықталған.

Сырт ағынның көлбеу бұрышын оңай анықтау оңай емес болғандықтан, біз осыған ұқсас зерттеулерге [96] сәйкес болу үшін орташа көлбеу бұрышын 57.3° деп қабылдадық. 4-кестеде 84 массасы үлкен сырт ағындардың сырт ағын массасы, импульсі, энергиясы, динамикалық уақыты, механикалық күші, механикалық жарықтылығы және масса жылдамдығы келтірілген.

Кесте 4 – 84 ATLASGAL шоғыры үшін сырт ағын сипаттамалары: масса M_{out} , импульс P , энергия E , динамикалық уақыт t_{dyn} , механикалық күш F_{out} , механикалық жарықтылық L_{out} және массаны жоғалту лездігі \dot{M}_{out}

ATLASGA L Name	M_{out} (M_\odot)	P ($M_\odot km s^{-1}$)	E ($10^{45} erg$)	t_{dyn} ($10^4 year$)	F_{out} ($10^3 M_\odot km s^{-1} yr^{-1}$)	L_{out} (L_\odot)	\dot{M}_{out} ($10^4 M_\odot yr^{-1}$)
G010.284- 00.114	75.2	945.2	137.24	8.6	10.12	12.42	8.790

4-кестенің жалғасы

G010.342-00.142	55.3	703.8	92.26	0.9	72.35	80.20	62.130
G010.618-00.031	59.0	350.9	20.79	32.4	0.99	0.50	1.820
G010.621-00.442	94.1	774.8	66.69	6.2	11.41	8.30	15.133
G010.624-00.384	527.2	7950.6	1291.15	1.1	677.99	931.07	490.882
G010.626-00.337	107.4	1040.9	108.88	12.2	7.84	6.93	8.831
G010.684-00.307	16.7	78.0	3.74	6.0	1.18	0.48	2.764
G011.767-00.041	0.7	4.3	0.27	2.9	0.14	0.07	0.243
G011.839-00.101	2.4	16.6	1.16	3.5	0.43	0.25	0.689
G012.024-00.031	239.1	2567.4	301.19	12.7	18.55	18.40	18.864
G012.198-00.034	81.5	895.6	98.72	7.0	11.69	10.90	11.615
G012.218+00.134	15.7	114.3	8.90	4.1	2.53	1.67	3.799
G012.223+00.139	16.3	133.4	11.52	3.9	3.15	2.30	4.200
G012.403-00.467	9.4	72.1	5.34	9.5	0.69	0.43	0.987
G012.524-00.289	15.1	150.1	15.93	5.7	2.42	2.17	2.654
G013.671-00.009	11.9	84.0	5.96	2.9	2.63	1.58	4.074
G013.692+00.019	9.0	50.8	2.78	3.7	1.27	0.59	2.461
G013.714-00.084	11.5	102.8	9.14	5.2	1.83	1.37	2.227
G013.736-00.082	26.4	153.8	9.44	5.0	2.81	1.46	5.267
G013.794+00.256	2.1	15.8	1.17	3.8	0.38	0.24	0.553
G014.017-00.161	28.7	387.0	50.99	6.7	5.26	5.86	4.263
G014.194-00.194	155.6	1966.3	295.32	2.9	62.86	79.84	54.312

4-кестенің жалғасы

G014.891-00.404	200.8	2333.2	333.39	6.4	33.62	40.62	31.596
G015.178+00.044	5.9	37.8	2.44	3.7	0.93	0.51	1.595
G015.203-00.441	5.2	26.5	1.36	10.8	0.22	0.10	0.480
G015.558-00.462	10.8	109.2	12.41	0.8	12.27	11.79	13.307
G015.588-00.297	12.7	62.1	3.06	24.3	0.23	0.10	0.522
G016.586-00.051	23.7	210.6	19.34	3.8	5.03	3.91	6.178
G019.009-00.029	105.6	1087.6	117.54	5.0	20.03	18.31	21.230
G019.439+00.152	82.7	462.0	25.60	15.8	2.68	1.26	5.245
G019.472+00.171	870.6	10664.4	1329.73	3.7	261.94	276.20	233.505
G019.518+00.077	47.9	260.7	14.27	11.4	2.09	0.97	4.189
G019.609-00.137	66.9	485.2	36.77	10.2	4.36	2.80	6.565
G019.631-00.162	23.9	176.4	12.88	15.8	1.02	0.63	1.511
G019.754-00.129	158.0	1476.9	149.07	11.1	12.14	10.36	14.178
G019.892+00.101	12.2	89.1	7.05	4.1	1.97	1.32	2.960
G020.081-00.136	421.3	4430.8	489.60	5.5	73.94	69.09	76.767
G020.662-00.139	502.0	3525.8	262.94	31.5	10.26	6.47	15.959
G020.731-00.059	192.8	2114.8	229.27	10.9	17.73	16.25	17.651
G020.746-00.092	656.5	6582.5	708.21	5.3	112.82	102.65	122.872
G020.761-00.062	452.5	5356.7	712.81	3.2	153.24	172.43	141.340
G023.897+00.064	20.3	215.3	21.71	15.6	1.26	1.08	1.298
G024.624-00.101	38.3	261.6	17.62	8.5	2.81	1.60	4.487

4-кестенің жалғасы

G025.398-00.141	611.4	8051.7	1030.62	3.5	207.85	224.98	172.340
G025.458-00.039	17.9	98.1	5.36	6.0	1.49	0.69	2.967
G025.796+00.242	131.3	1006.2	76.32	15.2	6.08	3.90	8.663
G026.601-00.221	23.5	160.7	11.18	7.2	2.04	1.20	3.265
G027.366-00.166	130.9	1331.5	137.33	2.5	47.88	41.76	51.408
G027.741-00.231	11.0	75.2	4.96	7.9	0.88	0.49	1.396
G027.758+00.051	20.8	204.8	19.67	1.9	9.67	7.85	10.704
G027.883+00.204	33.8	184.5	10.11	17.8	0.95	0.44	1.905
G027.923+00.196	17.1	107.4	6.59	13.5	0.73	0.38	1.261
G029.276-00.129	33.0	455.2	71.05	1.0	43.32	57.17	34.324
G029.862-00.044	331.6	3719.0	433.97	6.7	50.72	50.05	49.377
G030.224-00.179	196.1	1410.3	106.27	16.6	7.80	4.97	11.844
G030.386-00.104	83.1	583.3	41.22	12.0	4.45	2.66	6.923
G030.623-00.111	8.1	59.9	4.27	5.1	1.08	0.65	1.597
G030.866+00.114	24.1	237.4	23.23	1.8	12.25	10.14	13.574
G031.391+00.206	2.6	14.2	0.82	1.8	0.74	0.36	1.492
G031.581+00.077	145.6	1449.3	162.53	2.4	55.47	52.60	60.847
G032.051-00.089	69.9	522.4	42.07	6.1	7.89	5.37	11.516
G032.117+00.091	69.9	676.2	64.42	5.2	11.86	9.55	13.376
G032.797+00.191	722.2	10930.4	1647.84	8.8	113.80	145.07	82.102
G033.393+00.011	80.7	1009.3	127.64	5.0	18.31	19.58	15.991

4-кестенің жалғасы

G033.643-00.227	47.1	342.4	25.93	11.6	2.71	1.73	4.066
G033.914+00.109	298.4	3016.9	309.79	6.6	41.96	36.44	45.319
G034.454+00.006	55.8	514.3	54.15	2.6	17.88	15.92	21.201
G035.466+00.141	54.1	408.7	32.68	14.5	2.58	1.74	3.722
G035.579-00.031	433.1	6185.7	964.25	3.3	169.90	223.96	129.894
G037.268+00.081	37.4	361.7	34.57	3.9	8.52	6.89	9.615
G037.546-00.112	63.2	581.2	50.78	6.8	7.79	5.76	9.256
G037.734-00.112	101.2	1128.1	130.23	2.8	36.66	35.79	35.922
G037.754+00.196	8.4	57.1	4.05	4.5	1.16	0.69	1.853
G039.573+00.012	0.7	3.6	0.19	3.0	0.11	0.05	0.232
G040.283-00.219	187.9	3754.5	818.71	1.0	331.62	611.50	181.266
G041.122-00.219	202.9	1790.8	165.09	13.1	12.55	9.79	15.535
G043.706-00.171	7.7	61.1	4.68	3.3	1.70	1.10	2.336
G043.994-00.012	62.8	714.9	97.68	2.4	27.13	31.35	26.032
G045.121+00.131	1040.3	16147.7	2499.60	10.6	140.09	183.38	98.550
G045.454+00.061	368.5	3665.7	363.40	20.8	16.12	13.51	17.694
G047.031+00.244	10.8	90.2	7.25	2.4	3.51	2.38	4.569
G048.606+00.022	514.3	7391.5	1191.62	4.9	139.08	189.60	105.673
G049.726-00.012	9.8	70.6	4.92	31.6	0.20	0.12	0.312
G049.982-00.137	35.1	257.1	19.00	12.8	1.85	1.15	2.748

Біздің үлгілер үшін бұл айнымалылардың типтік мәндері массасы төмен сырт ағындардың (мысалы, [95-97,127] жұмыстар) шамасына қарағанда екі

еседен артық. Бұл алдыңғы нәтижеге сәйкес келеді, яғни массивті жұлдыздардың қалыптасуы қуатты сырт ағындарды тудыруы мүмкін [133-134,87,89,91,132]. CO (1–0) және CO (2–1) сызықтарымен анықталған сырт ағындармен салыстырғанда, CO (3–2) сызығының қанаттары көбінесе кеңістіктік шамасы кіші, яғни CO (3–2) массивті жұлдыз түзілуіне жақынырақ жылы газды іздеуін ұсынады.

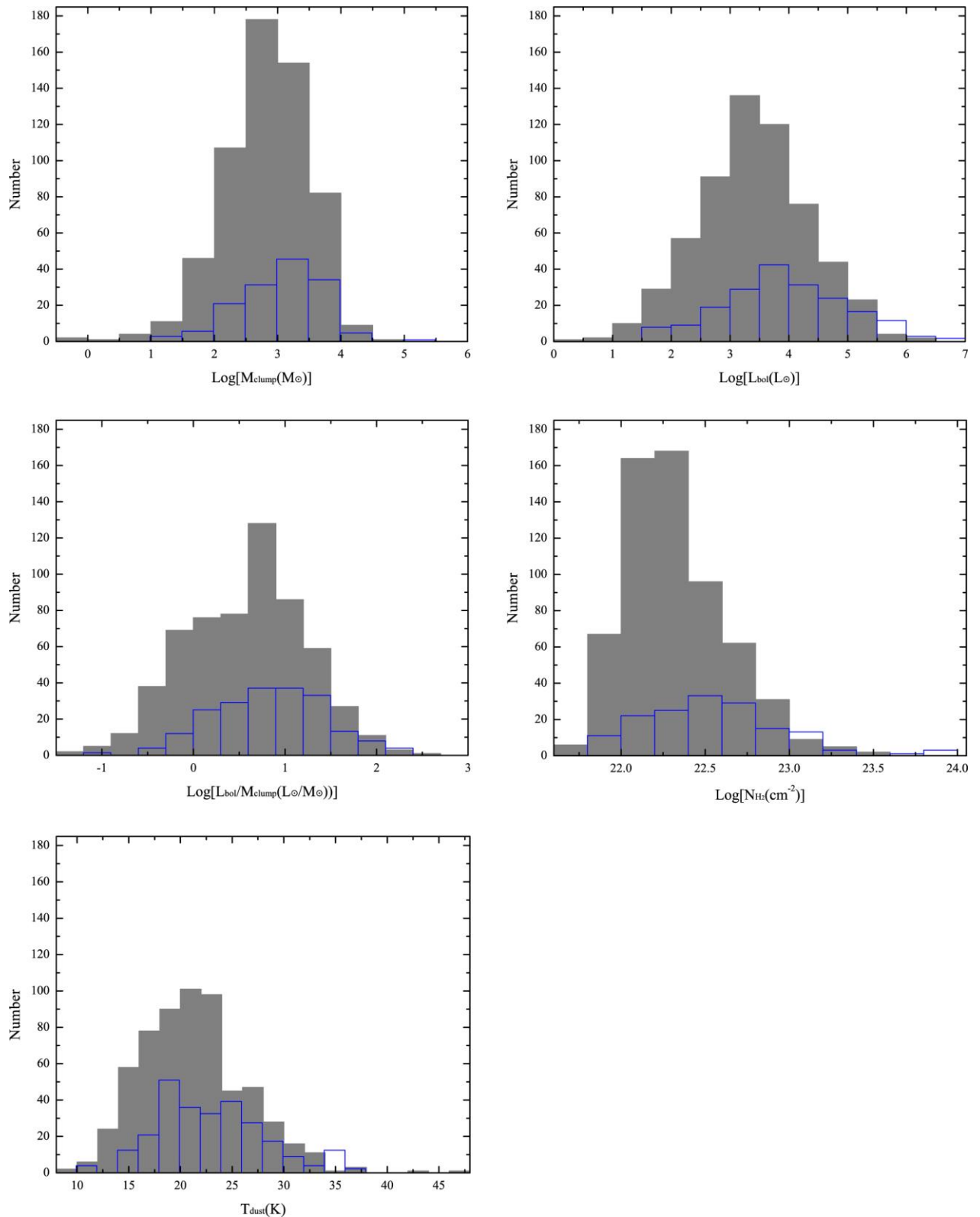
2.4 Сырт ағыны бар және сырт ағыны жоқ шоғырларды салыстыру

ATLASGAL және COHRS шолуларынан таңдалған 770 массивті шоғырлар CO (3-2) эмиссиясы анықталған 157 массасы үлкен дереккөздің үлгісіне және тіркелмеген 613 шоғырдың үлгісіне жіктелуі мүмкін. 25-суретте екі үлгілердің физикалық қасиеттерінің таралуы келтірілген және сәйкес типтік мәндер 5-кестеде келтірілген. Сырт ағынмен байланысты шоғырлар едәуір үлкенірек, бағанның тығыздығы мен температурасы жоғары, сонымен қатар жарықтылығы жоғары және дамыған нысандар. KS сынақтары осы екі үлгінің бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленетіндігін көрсетеді, бұл жарықтылығы төмен және дамымаған аналогтарымен салыстырғанда жарық және дамыған орталық көздері бар шоғырлар сырт ағынмен байланысы бар екенін білдіреді [132].

2.5 Сырт ағындарды анықтау ықтималдығы

Массивті шоғырлар арасында сырт ағын дереккөздерін анықтау деңгейі тек 20% құрайды, бұл алдыңғы нәтижелерден әлдеқайда төмен, яғни 66% [132], 66% [92], 57% [103,128] және 39-50% [123]. Бұл басқа CO ауысуларымен салыстырғанда әлсіз CO (3-2) эмиссиясына және дереккөздеріміздің галактикалық жазықтықтың ішкі аймағында орналасуымен байланысты болуы мүмкін. Бұл жерде молекулалық сақина бағытында жоғары жұлдызаралық жұтылуы және сәуле бойымен әр түрлі жылдамдық компоненттерінің ластануы сырт ағындарды анықтауды қиындатады. Сонымен қатар, объектілердің ішкі жойылуы да осы нәтижелерге әсер етеді [103,128]. Бір аймақта ($28^\circ \leq |l| \leq 46^\circ$ және $|b| \leq 0.25^\circ$) COHRS және CHIMPS екеуі де қамтылған, 298 шоғырдан CO (3-2) арқылы анықталған 66 сырт ағын сәйкестендіріген болатын, ал 261 шоғырдан ^{13}CO және C^{18}O арқылы анықталған 187 сырт ағын сәйкестендіріген [132]. Бұл екі зерттеуде [132] барлығы 36 сырт ағын анықталды. COHRS орташа квадраттық қателігі 2K, ал CHIMPS ^{13}CO және C^{18}O зерттеуінің орташа квадраттық қателігінің мәні 0.6 K болатындығын ескере отырып, біздің үлгіде сырт ағынның төмен анықтау деңгейі COHRS сезімталдығының төмендігіне байланысты болуы мүмкін.

ATLASGAL шоғырын төрт эволюциялық сатыға жіктеді [188,125]: (а) ең жас тыныш фаза (70 мкм-де әлсіз эмиссиясы бар жұлдызсыз немесе жұлдыз алдындағы фаза), (ә) протожұлдыз (орта инфрақызыл диапазонда 24 мкм-де әлсіз эмиссиясы бар, бірақ алыс инфрақызыл диапазонда жарық шоғырлар), (б) YSO (Young stellar object) түзетін шоғырлар (орта инфрақызыл 24 мкм-де эмиссиясы жарық) және (в) MSF (massive star forming) шоғырлары (H II



Сурет 25 – Бұлт үлгілерінің көрсеткіш гистограммалары. Көк тіктөртбұрыштары гистограмма CO (3–2) үлгісі арасындағы сырт ағыны бар 157 дереккөзді білдіреді, ал сұр тікбұрыштары гистограмма сырт ағынсыз 613 дереккөзді білдіреді. Жоғарғы солдан оңға қарай: шоғыр массаның, болометриялық жарықтылықтың, жарықтылық-масса қатынасының, H_2 баған тығыздық шыңының логарифмдік үлестірімдері мен шаң температурасының үлестірімі

Кесте 5 – Шоғырлар мен сырт ағындардың физикалық параметрлерінің қысқаша мазмұны

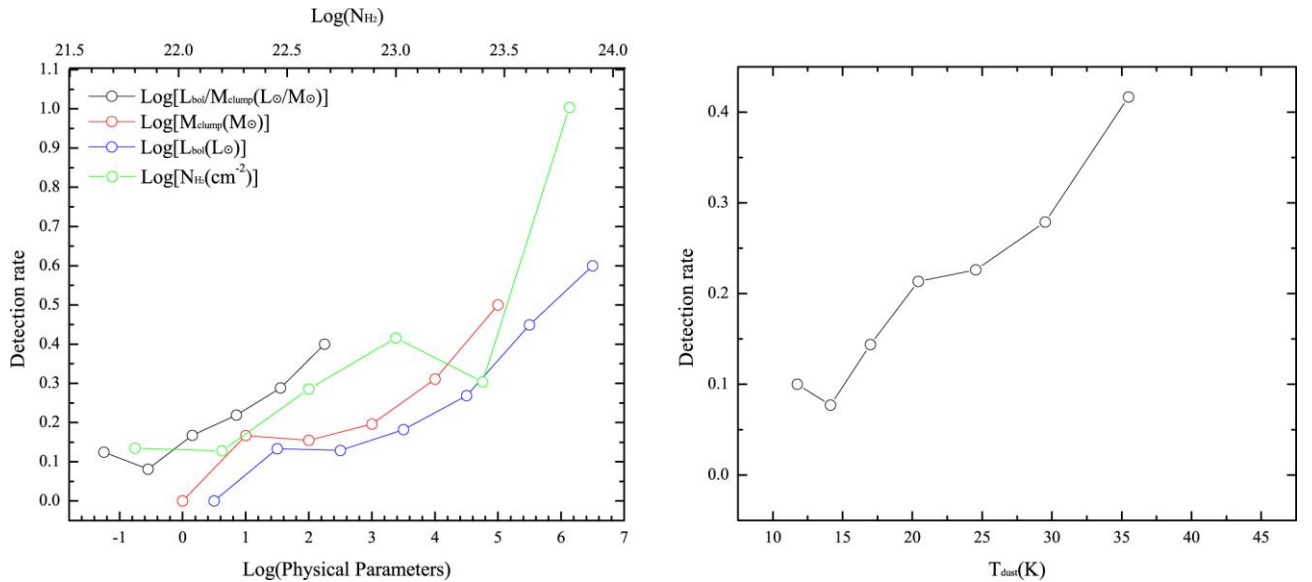
Parameter	Mean \pm std	Median	Min	Max
1869 ATLASGAL Clumps in COHRS				
$T_{dust} (K)$	19.5 ± 5.5	19.0	7.9	56.1
$\lg [M_{clump} (M_{\odot})]$	2.83 ± 0.61	2.85	-0.40	5.04
$\lg [L_{bol} (L_{\odot})]$	3.10 ± 1.00	3.06	0.30	6.91
$\lg [L_{bol}/M_{clump} (L_{\odot}/M_{\odot})]$	0.27 ± 0.79	0.30	-2.40	2.83
$\lg [N_{H_2} (cm^{-2})]$	22.34 ± 0.28	22.30	21.60	23.92
770 Sample Clumps				
$T_{dust} (K)$	21.6 ± 5.2	21.2	9.7	46.4
$\lg [M_{clump} (M_{\odot})]$	2.87 ± 0.68	2.90	-0.30	5.04
$\lg [L_{bol} (L_{\odot})]$	3.50 ± 0.98	3.49	0.46	6.91
$\lg [L_{bol}/M_{clump} (L_{\odot}/M_{\odot})]$	0.63 ± 0.65	0.68	-1.42	2.53
$\lg [N_{H_2} (cm^{-2})]$	22.37 ± 0.34	22.31	21.76	23.92
157 Clumps with Outflows				
$T_{dust} (K)$	23.1 ± 5.1	22.6	10.7	37.0
$\lg [M_{clump} (M_{\odot})]$	3.06 ± 0.64	3.12	1.15	5.04
$\lg [L_{bol} (L_{\odot})]$	3.91 ± 1.03	3.89	1.71	6.91
$\lg [L_{bol}/M_{clump} (L_{\odot}/M_{\odot})]$	0.84 ± 0.61	0.89	-1.11	2.19
$\lg [N_{H_2} (cm^{-2})]$	22.55 ± 0.40	55.51	21.88	23.92
Distance(kpc)	6.5	5.9	1.3	15.4
613 Clumps without Outflows				
$T_{dust} (K)$	21.2 ± 5.1	20.9	9.7	46.4
$\lg [M_{clump} (M_{\odot})]$	2.82 ± 0.68	2.86	-0.30	4.50
$\lg [L_{bol} (L_{\odot})]$	3.39 ± 0.93	3.39	0.46	6.21
$\lg [L_{bol}/M_{clump} (L_{\odot}/M_{\odot})]$	0.57 ± 0.65	0.65	-1.42	2.53
$\lg [N_{H_2} (cm^{-2})]$	22.32 ± 0.30	22.28	21.76	23.45
Distance(kpc)	6.4	5.4	0.3	15.9

5-кестенің жалғасы

Outflow Properties for 84 Clumps with Further Analysis					
$M_{out} (M_{\odot})$	140.18 211.05	\pm	54.72	0.69	1040.29
$P(10M_{\odot} km s^{-1})$	163.52 288.12	\pm	43.20	0.36	1614.77
$E(10^{45} erg)$	212.52 425.34	\pm	35.67	0.19	2499.60
$t(10^4 year)$	7.91 \pm 6.76		5.58	0.81	32.39
$\dot{M}_{out} (10^{-4} M_{\odot} yr^{-1})$	32.17 \pm 67.96		8.73	0.23	490.88
$F_{out} (10^{-3} M_{\odot} km s^{-1} yr^{-1})$	38.07 \pm 92.49		6.94	0.11	677.99
$L_{out} (L_{\odot})$	46.65 \pm 129.98		5.17	0.05	931.07

аймақтарында радио-жарық, массивті YSO және метанол мазерлері), олардың кейбіреулері H II аймақтарымен [189] қолдана отырып анықталған. Біздің 770 шоғырдың ішінде 19 тыныш шоғыр, 93 протожұлдыз шоғыры, 386 YSO түзуші шоғыр, 269 MSF шоғыры және әлі классификацияланбаған 3 шоғыр бар. Сырт ағындар тиісінше 5 тыныш шоғырда (5/19 немесе 26%), 7 протожұлдыз шоғырларда (7/93 немесе 8%), 67 YSO шоғырларда (67/386 немесе 17%) және 78 MSF шоғырларда (78/269 немесе 29%) анықталды. Анықтау ықтималдығы протожұлдыз дереккөздерден MSF көздеріне дейін артады. Алайда, тыныштық кезеңі үшін анықтау ықтималдығы 26% протожұлдыз және YSO кезеңдеріне қарағанда жоғары, тыныштық шоғырларының үлгісі аз болғанын ескерсек, бұл анықтау ықтималдығы күмәнді болуы мүмкін.

770 шоғырдың 754-інің және 157 сырт ағынның 156-сының қашықтығы өлшенді және олардың физикалық параметрлері [125] жұмыста алынған болатын. 26-суретте анықтау деңгейінің шоғыр массасына, болометриялық жарықтылыққа, жарықтылық-масса қатынасына, шоғырдың (N_{H_2}) H_2 шыңының баған тығыздығына және шаң температурасына байланысты графигі көрсетілген. Сырт ағынды анықтау ықтималдығы M_{clump} , L_{bol} , L_{bol}/M_{clump} және N_{H_2} бойынша артады және болғанда 56% дейін өседі. Бұл нәтижелер массивтік, жарықтылығы жоғары, тығыз және дамыған дереккөздерден сырт ағынды анықтау ықтималдығы жоғары болатынын көрсетеді, бұл ^{13}CO нәтижелерімен сәйкес келеді [132]. Шаң температурасының функциясы ретінде анықтау ықтималдығы да осындай өзгерістерді көрсетеді. [125] жұмыста шаң температурасы, болометриялық жарықтық және L_{bol}/M_{clump} қатынасы эволюциялық сатының алға жылжуымен өсетіндігін анықтады. Бұл нәтижелер эволюциялық саты алға жылжыған сайын сырт ағынды анықтау деңгейі артады деп болжайды.



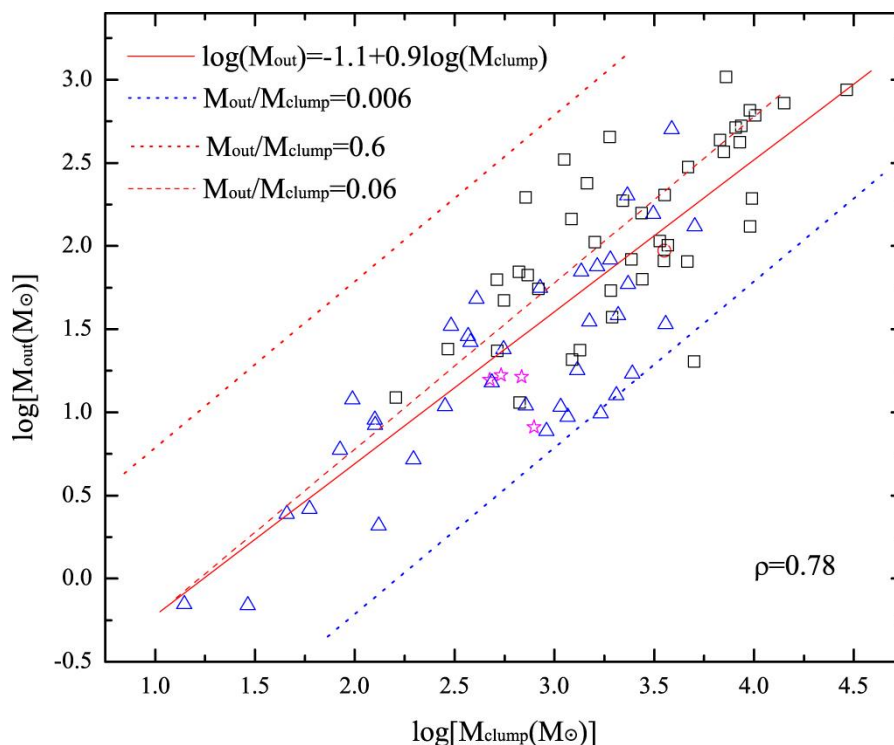
Сурет 26 – Сырт ағын дереккөздерін анықтау ықтималдығы. Сол жақта: анықтау ықтималдығы шоғыр массасының функциясы ретінде (қызыл тұтас сызық), орталық объектілердің болOMETриялық жарықтығы (көк тұтас сызық), жарықтылық-масса қатынасы (қара тұтас сызық) және шоғырдың H_2 шыңының баған тығыздығы (жасыл тұтас сызық) логарифмдік масштабта. Бұл параметрлердің мәндері төменгі абсцисса осінде, ал $\lg(N_{H_2})$ жоғарғы x осінде көрсетілген. Оң жақта: шаңның температурасына байланысты сырт ағын дереккөздерін анықтау ықтималдығы

2.6 Сырт ағын параметрлерін шоғыр қасиеттерімен салыстыру

Біздің 84 массасы үлкен сырт ағын үшін сырт ағын массасы мен шоғыр массасы арасында күшті корреляция анықталды (27-суретті қараңыз), ол алдыңғы нәтижелерге сәйкес келетін $M_{out} \propto M_{clump}^{0.9 \pm 0.07}$ дәрежелі заңға сәйкестігін көрсетті [87,130,190,91,132]. M_{out}/M_{clump} қатынасы 0.004-тен 0.296-ға дейін, орташа мәні 0.06 құрайды, ал 84 дереккөздің тек екеуі осы шектен төмен. Негізгі газдың шамамен 6% -ы молекулалық сырт ағынға тиісілі, бұл тасымалдау жылдамдығына сәйкес [87] жұмыста 4% және [132] жұмыста 5%.

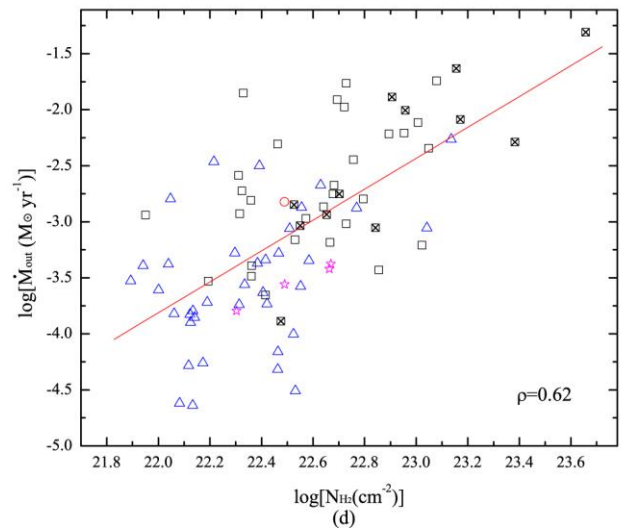
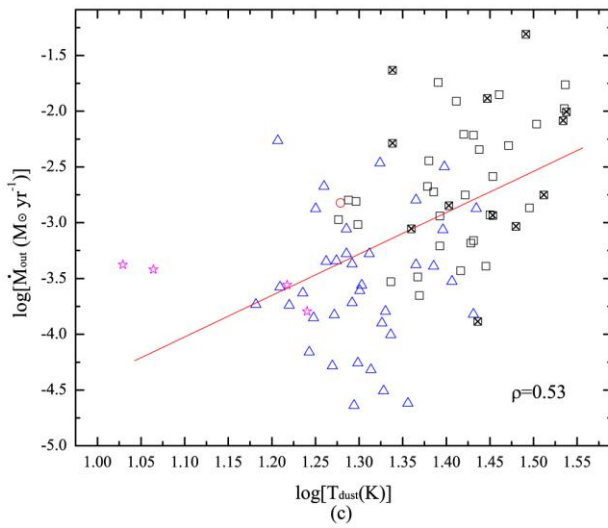
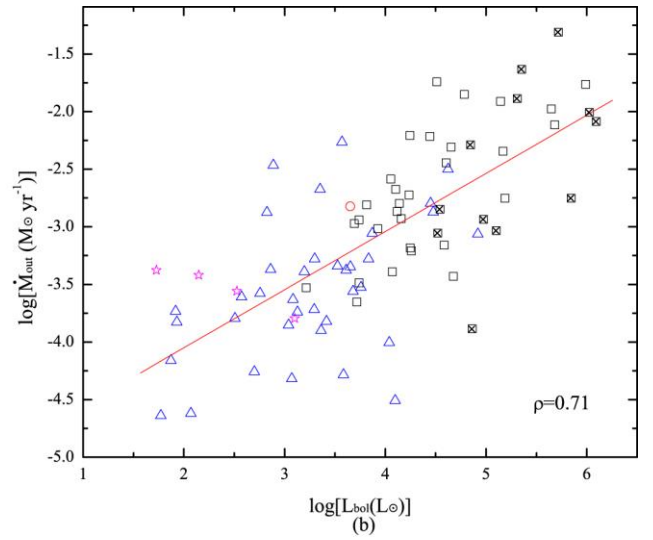
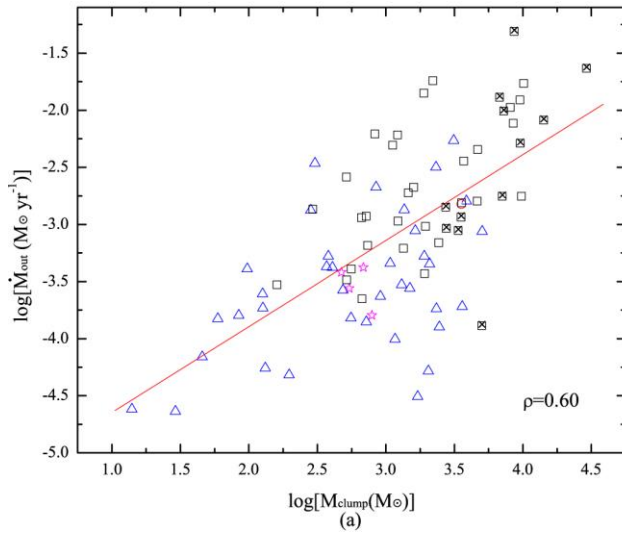
28-суретте сырт ағынның массаны жоғалту жылдамдығының (\dot{M}_{out}) M_{clump} , L_{bol} , T_{dust} және N_{H_2} тәуелділіктері тұрғызылған және мәліметтердің шашырауы салыстырмалы түрде үлкен болғанымен, барлық жағдайда айқын оң тенденцияны табуға болады. 28-суреттегі (с) сол жақта орналасқан екі тыныштық нүктесін ескермесек, сырт ағынның массаны жоғалту лездігі мен шаңның температурасы арасындағы байланыс күшті. Екінші жағынан, егер 28-суреттегі (d) MSF шоғыры алынып тасталса, шоғырдың таралуы дисперсиясы артады және корреляция аз болады немесе мүлдем болмайды. Біздің нәтижелер көрсеткендей, \dot{M}_{out} шаң температурасының жоғарылауымен бірге жоғарылайды (Сурет 28 (с)), бұл сырт ағынның масса жоғалту жылдамдығы жоғары шоғырлар анағұрлым дамыған сатыда екендігін көрсетеді, бұл [125]

жұмыстағы эволюциялық кезеңнің жоғарылауымен шаңның температурасы көтерілуі мүмкін деген қорытындысын дәлелдейді.



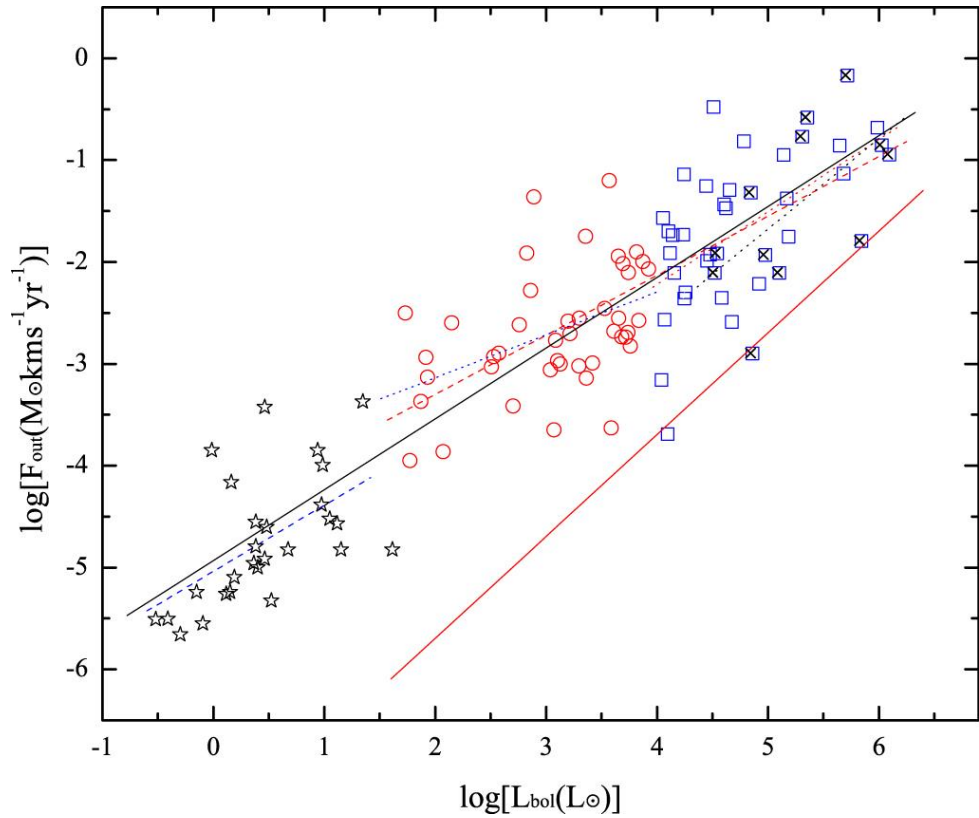
Сурет 27 – Сырт ағын массасының шоғыр массасына тәуелділігі. Күлгін жұлдызшалар, қызыл дөңгелектер, көк үшбұрыштар және қара квадраттар сәйкесінше тыныш, протожұлдыз, YSO және MSF шоғырларына жатады. Қызыл нүктелі сызық пен көк нүктелі сызық M_{out}/M_{clump} қатынасы сәйкесінше 0.6 және 0.006 құрайды. Тұтас қызыл сызық – бұл орташа мәні 0.06-ға тең логарифмдік шкалада ең кіші квадраттар әдісімен сызықты аппроксимацияны білдіреді. ρ – Спирменнің дәрежелік корреляция коэффициенті

Жарықтылығы жоғары және бағаналардың тығыздығы (N_{H_2}) үлкен массивтік шоғырлар – бұл масса жоғалту жылдамдығы (\dot{M}_{out}) жоғары протожұлдыз иелері. Сонымен қатар, сырт ағынның масса жоғалту жылдамдығы мен аккреция жылдамдығы арасындағы байланыс $\dot{M}_{accr} \sim \dot{M}_{out}/6$ [87,91] бағандың тығыздығы жоғары массивтік шоғырлардың массасы тезірек өсіріп, массасы аз және баған тығыздығы аз шоғырларға қарағанда H II аймақтарын әлдеқайда тез құрайтындығын көрсетеді [100,91,183]. Жоғарыда келтірілген нәтижелер M_{clump} , L_{bol} , және N_{H_2} параметрлері жоғары сырт ағынды шоғырлар дамыған сатысында тұрғанын көрсетеді. Біздің үлгі үшін сырт ағынның орташа масса жоғалту жылдамдығы $3.2 \times 10^{-3} M_{\odot} yr^{-1}$ болған жағдайда, орташа массаның аккреция жылдамдығы $5.4 \times 10^{-4} M_{\odot} yr^{-1}$ тең болады.



Сурет 28 – Сырт ағынның масса жоғалтуының басқа параметрлерден тәуелділігі. а) сырт ағын массасының жоғалту лездігінің шоғырдың массасына тәуелділігі; (b) сырт ағын массасының жоғалту лездігінің болометриялық жарқырауға тәуелділігі; (c) сырт ағын массасының жоғалту лездігінің шаң температурасына тәуелділігі; (d) сырт ағын массасының жоғалту лездігінің H_2 шыңының баған тығыздығына (N_{H_2}) тәуелділігі. Маркерлер 27-суреттегідей дереккөздің түрін білдіреді. Қара кіресті қара квадраттар Н II аймақтарындағы MSF шоғырларын көрсетеді. Әр графиктегі қызыл сызық – бұл ең кіші квадраттар әдісімен сызықтық аппроксимацияға сәйкес келеді. ρ – Спирменнің дәрежелік корреляция коэффициенті

29-суретте [96] әдебиеттен алынған аз массалы биполярлы сырт ағын дереккөздерімен бірге біздің массасы үлкен сырт ағындарымыз үшін F_{out} сырт ағын күшінің болометриялық жарықтылыққа тәуелділігі тұрғызылған. Сәйкестік үшін сырт ағынның механикалық күшінің барлық мәндері орташа көлбеу бұрышы 57.3° болатын көлбеу коэффициенті көмегімен түзетілді. Барлық массасы аз және үлкен дереккөздер үшін F_{out} сырт ағын күші сәулелену



Сурет 29 – Сырт ағын күшінің орталық көздердің болOMETриялық жарқырауына тәуелділігі. Қара жұлдызшалар [96] жұмыстан алынған массасы аз сырт ағын дереккөздерін білдіреді. Қызыл дөңгелектер мен көк квадраттар біздің сырт ағын үлгісін білдіреді сәйкесінше $L_{bol} < 10^4 L_{\odot}$ және $L_{bol} > 10^4 L_{\odot}$ үшін. Қара кіреспен көк квадраттар Н II аймағындағы MSF шоғырын білдіреді. Қара тұтас сызық ($\lg(F_{out}) = -4.90 + 0.70 \lg(L_{bol})$) барлық дереккөздер үшін жақсы жұмыс істейді. Көк үзік-үзік сызық ($\lg(F_{out}) = -5.04 + 0.65 \lg(L_{bol})$) массасы аз сырт ағынға жақсы сәйкес келетіндігін көрсетеді [96]. Қызыл үзік-үзік сызық ($\lg(F_{out}) = -4.47 + 0.58 \lg(L_{bol})$) біздің зерттеуіміздегі барлық массивті сырт ағындарға ең жақсы сәйкестікті білдіреді. Көк нүктелі сызық ($\lg(F_{out}) = -3.98 + 0.42 \lg(L_{bol})$) пен қызыл нүктелі сызық ($\lg(F_{out}) = -5.07 + 0.71 \lg(L_{bol})$) біздің сырт ағын дереккөзімізге жақсы сәйкес келеді сәйкесінше $L_{bol} < 10^4 L_{\odot}$ және $L_{bol} > 10^4 L_{\odot}$ үшін. Қара нүктелі сызық ($\lg(F_{out}) = -6.12 + 0.88 \lg(L_{bol})$) Н II аймақтарындағы MSF шоғырлары үшін жақсы. Тұтас қызыл сызық $F = L_{bol}/c$ білдіреді

күш сызығынан $F = L_{bol}/c$ едәуір жоғары орналасқан және болOMETриялық жарықтылықтың жоғарылауымен жүйелі түрде өседі $\lg(F_{out}) = -4.90 + 0.70 \lg(L_{bol})$. Массасы аз және үлкен сырт ағындар үшін жеке сызықтық сәйкестіктері көлбеуде аз айырмашылыққа ие үшін 0.65 және 0.58, Бұл [132] жұмыстағы үлгілерге қарағанда аз. Екінші жағынан, біздің бастапқы

үлгілерге арналған көлбеу төмен және жоғары $L_{bol} = 10^4 L_{\odot}$ 0.42 және 0.71 деңгейлерінде айтарлықтай ерекшеленеді. Бірақ біздің алғашқы үлгілеріміз сезімталдықпен шектеледі және $L_{bol} < 10^4 L_{\odot}$ үшін толық емес болып қалады, оны 22-суреттен де байқаса болады. Демек, осы ауқымдағы массасы үлкен дереккөздерге жақсы сәйкестік үлгіні үлкейткенше дұрыс емес болып қалады. Боллометриялық жарықтылық жоғарылаған кезде сырт ағын күші F_{out} жүйелі түрде өсуі және массасы аз дереккөздер мен массасы үлкен ($L_{bol} < 10^4 L_{\odot}$) дереккөздер үшін ұқсас сәйкестендіру сырт ағындарның іске қосылу механизмі бірдей екендігін көрсетеді. Екінші жағынан, әр түрлі L_{bol} дереккөздері үшін $F_{out} - L_{bol}$ қатынастарындағы айырмашылықтарды байқау үшін деректер нүктелеріндегі таралу тым үлкен. Дереккөздер үшін көлбеуді номинал ретінде қабылдау, сонымен қатар массасы көбірек көздер үшін шарттар басқаша болады деген күтуге қайшы келеді.

Сонымен қатар, тығыз топтар мен кластерлердегі массасы үлкен дереккөздерде тығыздығы төмен аймақтарға қарағанда жұлдыздар массасы тез өсіп, N II аймақтарын тезірек түзеді [100,91,183]. Сол сияқты, олар ұжымдық сырт ағынды тудырады және осы (хаосты) сырт ағынның тиімді ашылу бұрышын арттырады, нәтижесінде кері байланыс пайда болады, сырт ағынның өзгеріске ұшырайды және импульс жоғалтады, нәтижесінде $F_{out} - L_{bol}$ арақатынасы азаяды [109,191-192].

Екінші жағынан, N II аймақтарынан шыққан жұлдызды желдер мен ультракүлгін сәулелену өрістері жұлдыздық материалды шығарып, кластердің басқа мүшелерінің пайда болуына жол бермейді [109]. 29-суретте N II аймақтары бар бірнеше дереккөздер үлкен ағынды көрсететін тік көлбеуді көрсетеді. [92] жұмыста төмен/орташа массалы протокластерлер ядролары $L < 6400 L_{\odot}$ ие жеке сырт ағындарын түсіндіре алады және жарықтылығы жоғары массасы ең үлкен протожұлдыз ядролары сырт ағындарға үстемдік етеді және сырт ағындардың энергиясы сақталады. N-дененің өзара әрекеттесуі де (яғни байланысқан магнит өрісі; [193]) массивті жұлдыздардың түзілуінде басым әсер етуі мүмкін, бұл YSO кезеңінде сырт ағын параметрлерінің көбірек ауытқуына әкеледі [194-195].

$F_{out} - L_{bol}$ тәуелділік көлбеуінің кез-келген айырмашылықтары осылайша кластерлер мен тығыз топтардағы жұлдыздардың түзілу процестеріндегі айырмашылықтарды анықтай алады немесе балама түрде басқа қалыптасу механизмін ұсынады [196].

2.7 Бөлімнің негізгі нәтижелері

Бұл бөлімде 770 ATLASGAL шоғырында COHRS қамтылған аймақта орналасқан, CO (3-2) эмиссиясы тіркелген және массивті жұлдыздардың пайда болу шарттарын қанағаттандыратын сырт ағынды іздеуге байланысты жан-жақты зерттеулер сипатталған. Зерттеудің негізгі нәтижелері келесідей:

1. Толық үлгілерде 20% анықтау ықтималдығымен барлығы 157 массасы үлкен сырт ағындар анықталды, және анықталған биполярлы сырт ағындармен

және сенімді қашықтықтағы 84 сырт ағынның параметрлері есептеліп, әрі қарай зерттеу үшін қаралды. Бұл төмен анықтау жылдамдығы объектілердің жұлдызаралық және ішкі сіңірілуіне, Галактиканың молекулалық сақинасынан CO эмиссиясының ластануына және қозуы төменгі сызықтармен салыстырғанда CO (3-2) сызығының сигнал деңгейінің төмендігіне байланысты болуы мүмкін.

2. Сырт ағындар тиісінше 5 тыныш шоғырларда (5/19 немесе 26%), 7 протожұлдыз шоғырларында (7/93 немесе 8%), 67 YSO шоғырларда (67/386 немесе 17%) және 78 MSF шоғырларда (78/269 немесе 29%) анықталды. 26% тыныш шоғырда анықтау жылдамдығы үлгінің аздығына байланысты.

3. Сырт ағыны бар шоғырлар сырт ағынсыз шоғырларға қарағанда M_{clump} , L_{bol} , L_{bol}/M_{clump} , N_{H_2} және T_{dust} мәндері жоғары болады және [132] жұмыс бойынша анықтау деңгейі осы параметрлерге байланысты артады.

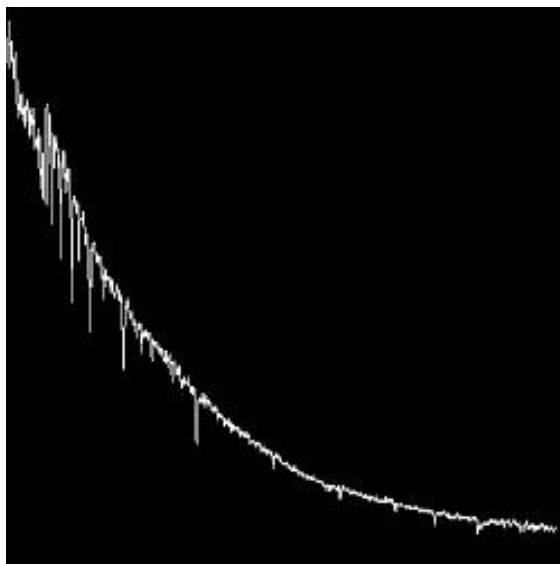
4. Біздің үлгі үшін сырт ағын массасы мен шоғыр массалары арасындағы статистикалық байланыс $\lg(M_{out}/M_{\odot}) = (-1.1 \pm 0.21) + (0.9 \pm 0.07) \lg(M_{clump}/M_{\odot})$. Бұл қатынас [87,130,190,91,132] жұмыстарда жүргізілген зерттеулермен келісілген.

5. Сырт ағындардағы массаны жоғалту лездігі M_{clump} , L_{bol} , N_{H_2} және T_{dust} ұлғайған сайын жоғарылайды. Бұл осы параметрлер жоғары мәндерге ие сырт ағыны бар шоғырлардың эволюциясы дамыған сатыда тұрғанын көрсетеді.

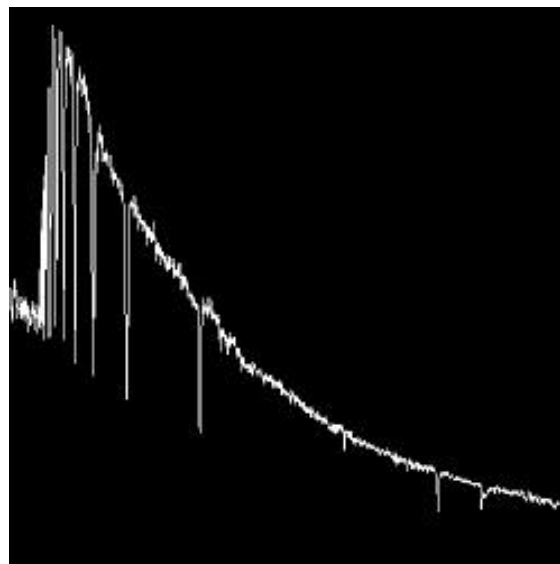
6. Сырт ағынының механикалық күші F_{out} болометриялық жарықтылықтың жоғарылауымен жүйелі түрде жоғарылайды $\lg(F_{out}) = -4.90 + 0.70 \lg(L_{bol})$. Бөлшектеп сәйкестеу массасы аз және үлкен дереккөздердің қатынасы өте ұқсас екенін көрсетеді. Бұл бүкіл L_{bol} диапазонындағы дереккөздердің бірдей іске қосылу механизміне ие екендігін көрсетеді, және осы уақытқа дейін кластер мен тығыз топтардың осы қатынастан ауытқуының дәлелі жоқ.

3.1 Машиналық оқыту және мәліметтерді талдау

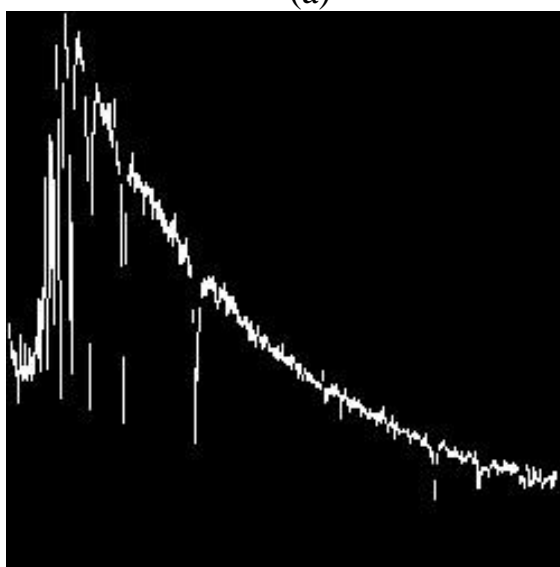
Жұлдыздардың спектрлік классын анықтаудың дәстүрлі әдістері спектрлі немесе көпжолқты фотометрияны талдауға негізделген. Спектрлі типтер мен жұлдыздардың параметрлерін білу жұлдызды популяцияны зерттеу және біздің Галактиканың қалыптасу тарихын зерттеу үшін тікелей қызығушылық тудырады [197-199]. Нейрондық желілерді жұлдыздың спектрлерін талдауда қолдануға болады [200-201]. Бұл өңдеу уақытын тездетуі мүмкін. Осы жұмыста жұлдыздардың спектрлерін талдау үшін нейрондық желінің моделі құрылды және оқытуға арналған мәліметтер жиналған болатын. Мәліметтер O, B, A, F, G, K және M класындағы спектрлер. 30-суртта мысал ретінде әр класқа тиісілі бір спектр келтірілген.



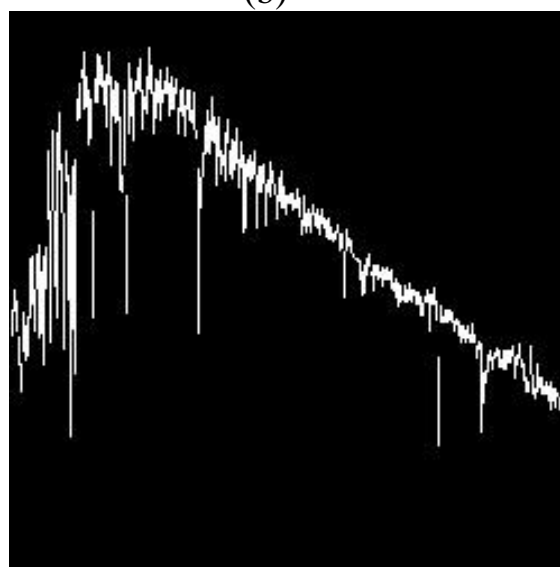
(a)



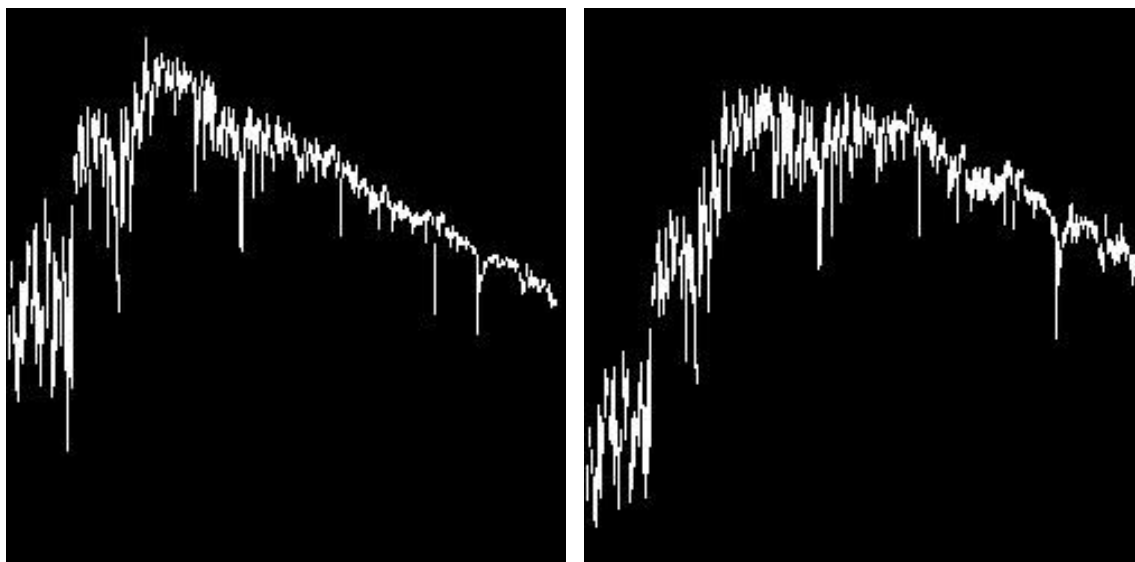
(b)



(c)

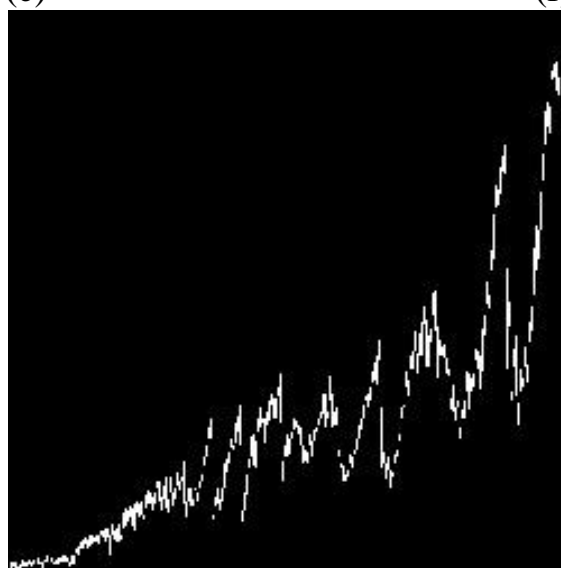


(d)



(e)

(f)



(g)

Сурет 30 – Әрбір спектрлік класқа тиісілі жұлдыз спектрлері:
 O – HD 35619 (a), B – HD 30584 (b), A – FEIGE 41 (c), F – HD 23511 (d),
 G – HD 17647 (e), K – HD 23524 (f), M – HD 110964 (g)

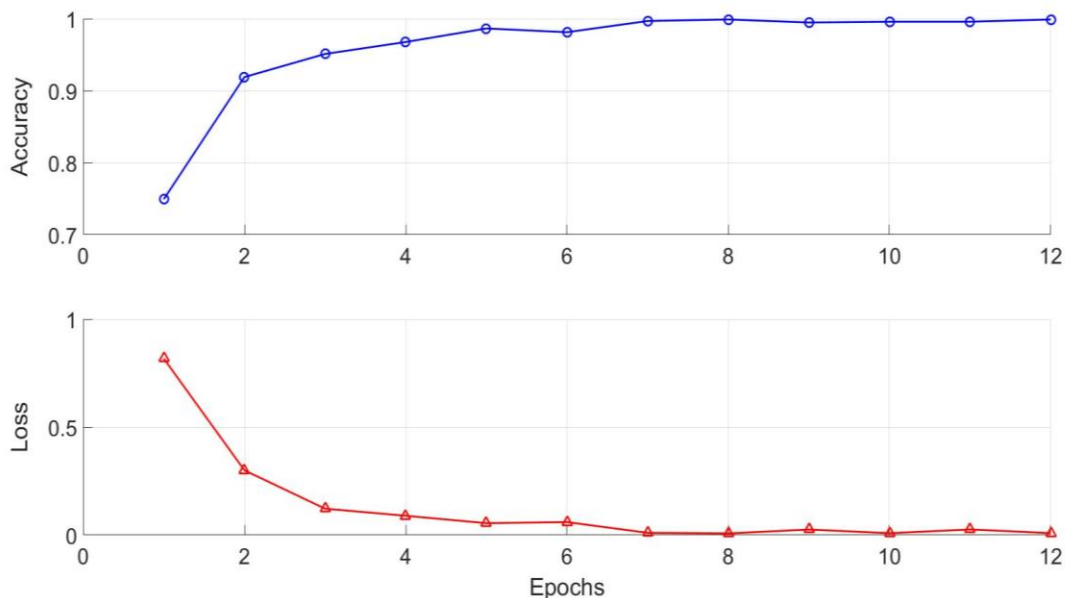
Әрбір кластан бірнеше суреттен алынды және нейрондық желімен оқыту үшін өлшемі 250*250 шамасына өзгертілді. Модельді оқыту нәтижесі келесі суретте келтірілген (Сурет 31). Бұл жұмыста оқыту қадамын 12-ге тең етіп алынды. Себебі бұл шама үлкен болғанымен нейрондық желінің дәлдігі аз шамаға өзгереді. Оқыту қадамының нейрондық желі дәлдігі мен қателігіне тәуелділік графигі 32-суретте көрсетілген. Графиктен байқап отырғандай, дәлдік бірге ұмылады, ал қателік нөлге ұмтылады. Бұл нейрондық желінің дұрыс оқытылуының белгісі болып саналады. Оқытылған нейрондық желі моделін тексеру үшін қосымша спектрлер берілді және жіктеу нәтижесі 33-суретте көрсетілген.

```

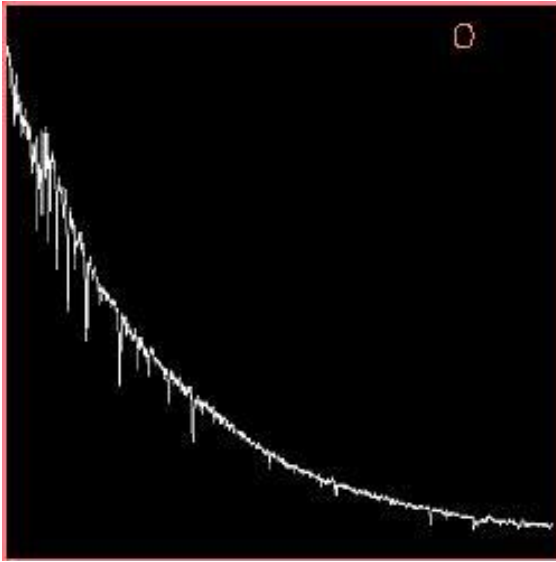
Python 3.6.7 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
s: 0.0146 - acc: 0.9974 [=====>.....] - ETA: 4s - loss: 0.
[=====>.....]13/31 [=====>.....] - ETA: 4s - loss: 0.
0176 - acc: 0.9976 [=====>.....]
[=====>.....]14/31 [=====>.....] - ETA: 3s - loss: 0.0164
- acc: 0.9978 [=====>.....]
[=====>.....]15/31 [=====>.....] - ETA: 3s - loss: 0.0164 - acc
: 0.9979 [=====>.....]
[=====>.....]16/31 [=====>.....] - ETA: 3s - loss: 0.0154 - acc: 0.9
980 [=====>.....]
[=====>.....]17/31 [=====>.....] - ETA: 3s - loss: 0.0147 - acc: 0.9982 [
[=====>.....]18/3
1 [=====>.....] - ETA: 2s - loss: 0.0139 - acc: 0.9983 [=====
[=====>.....]19/31 [=====
=====>.....] - ETA: 2s - loss: 0.0132 - acc: 0.9984 [=====
[=====>.....]20/31 [=====
=====>.....] - ETA: 2s - loss: 0.0125 - acc: 0.9984 [=====
[=====>.....]21/31 [=====
=====>.....] - ETA: 2s - loss: 0.0120 - acc: 0.9985 [=====
[=====>.....]22/31 [=====
====>.....] - ETA: 1s - loss: 0.0114 - acc: 0.9986 [=====
[=====>.....]23/31 [=====
.....] - ETA: 1s - loss: 0.0112 - acc: 0.9986 [=====
[=====>.....]24/31 [=====>....
...] - ETA: 1s - loss: 0.0108 - acc: 0.9987 [=====
[=====>.....]25/31 [=====>.....]
- ETA: 1s - loss: 0.0104 - acc: 0.9988 [=====
[=====>.....]26/31 [=====>.....] - ETA
: 1s - loss: 0.0100 - acc: 0.9988 [=====
[=====>.....]27/31 [=====>....] - ETA: 0s
- loss: 0.0096 - acc: 0.9988 [=====
[=====>.....]28/31 [=====>....] - ETA: 0s - los
s: 0.0100 - acc: 0.9989 [=====
[=====>.....]29/31 [=====>..] - ETA: 0s - loss: 0.
0096 - acc: 0.9989 [=====
[=====>.....]30/31 [=====>.] - ETA: 0s - loss: 0.0093
- acc: 0.9990 [=====
[=====>.....]31/31 [=====] - 32s 1s/step - loss: 0.0091 -
acc: 0.9990 - val_loss: 1.1244e-06 - val_acc: 1.0000
387.48845386505127
>>> |
Ln: 63 Col: 4

```

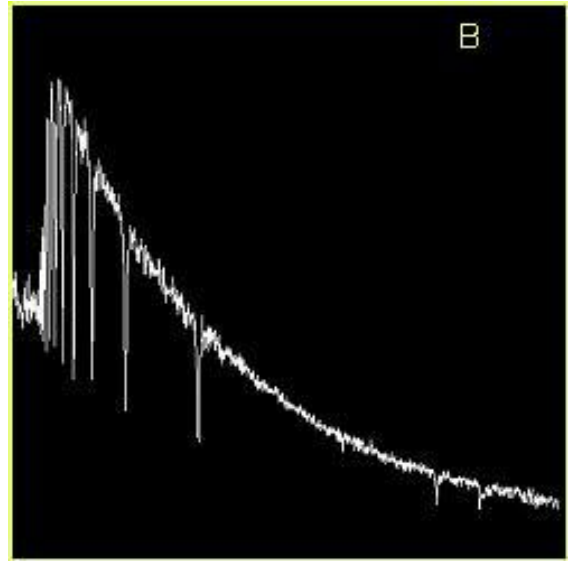
Сурет 31 – Машиналық оқыту әдісін қолдана отырып нейрондық желіні оқыту нәтижесі



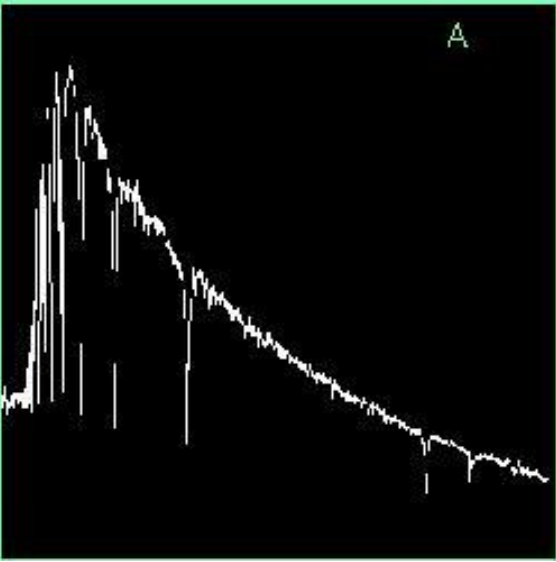
Сурет 32 – Оқыту барысындағы әр қадам кезіндегі дәлдік (көк сызық) пен қателіктің (қызыл сызық) тәуелділік графигі



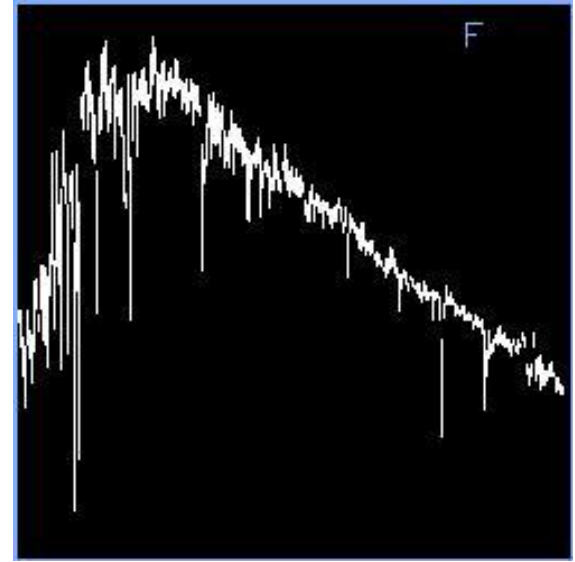
(a)



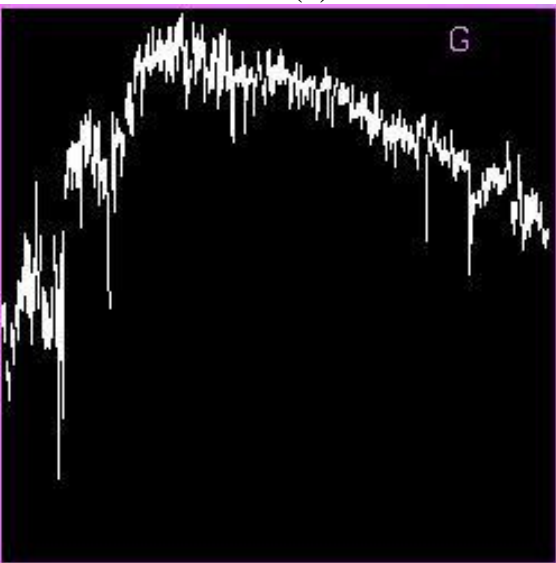
(b)



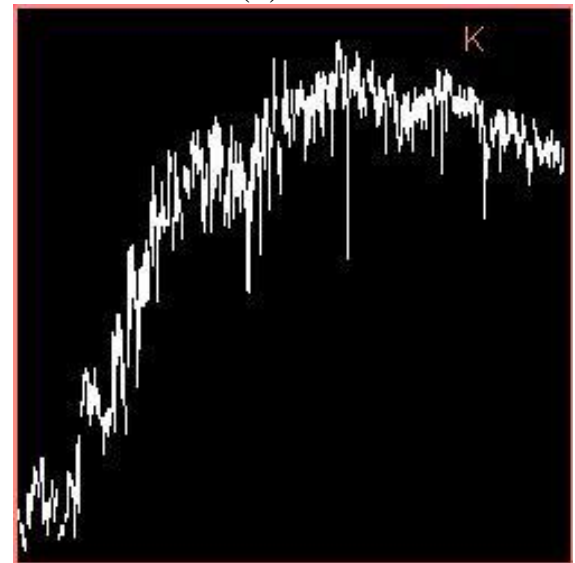
(c)



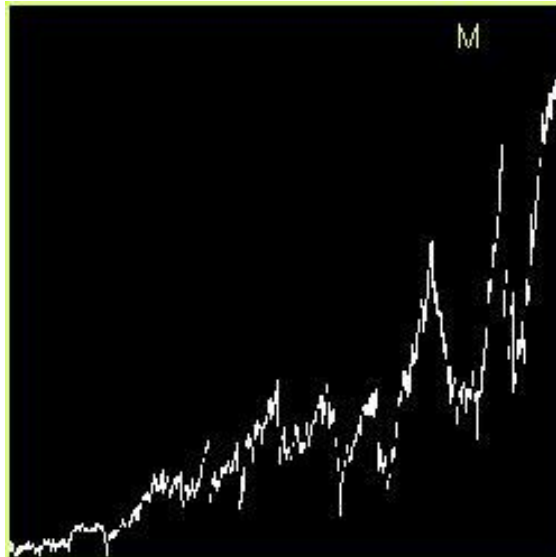
(d)



(e)



(f)



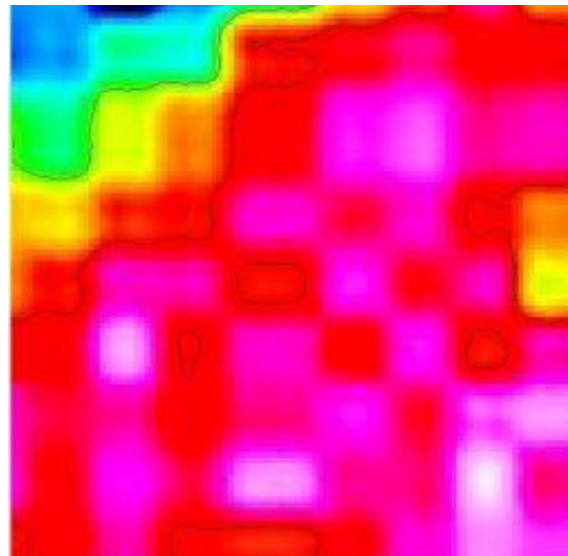
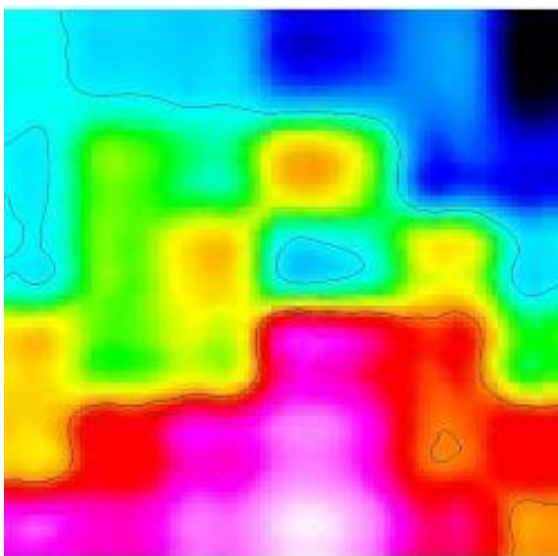
(g)

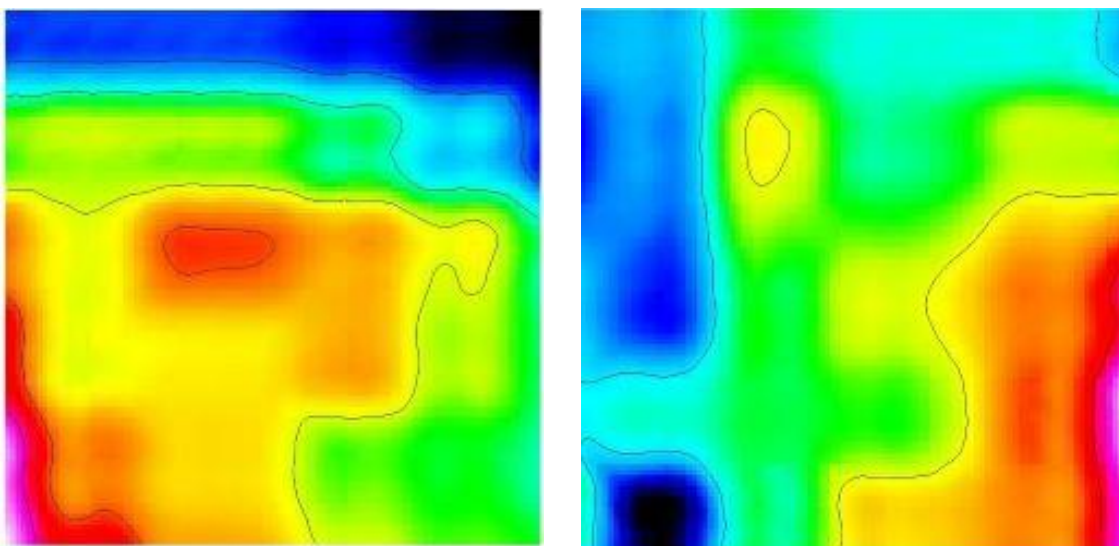
Сурет 33 – Үйірткілі нейрондық желінің жұлдыз спектрлерін жіктеуі. Суретте сәйкес спектрлік класы көрсетілген, яғни (a) – O, (b) – B, (c) – A, (d) – F, (e) – G, (f) – K, (g) – M кластары

Бұл нәтижеден машиналық оқыту әдісімен жұлдыздың спектрлік мәліметтерін талдау мүмкіндігін байқауға болады.

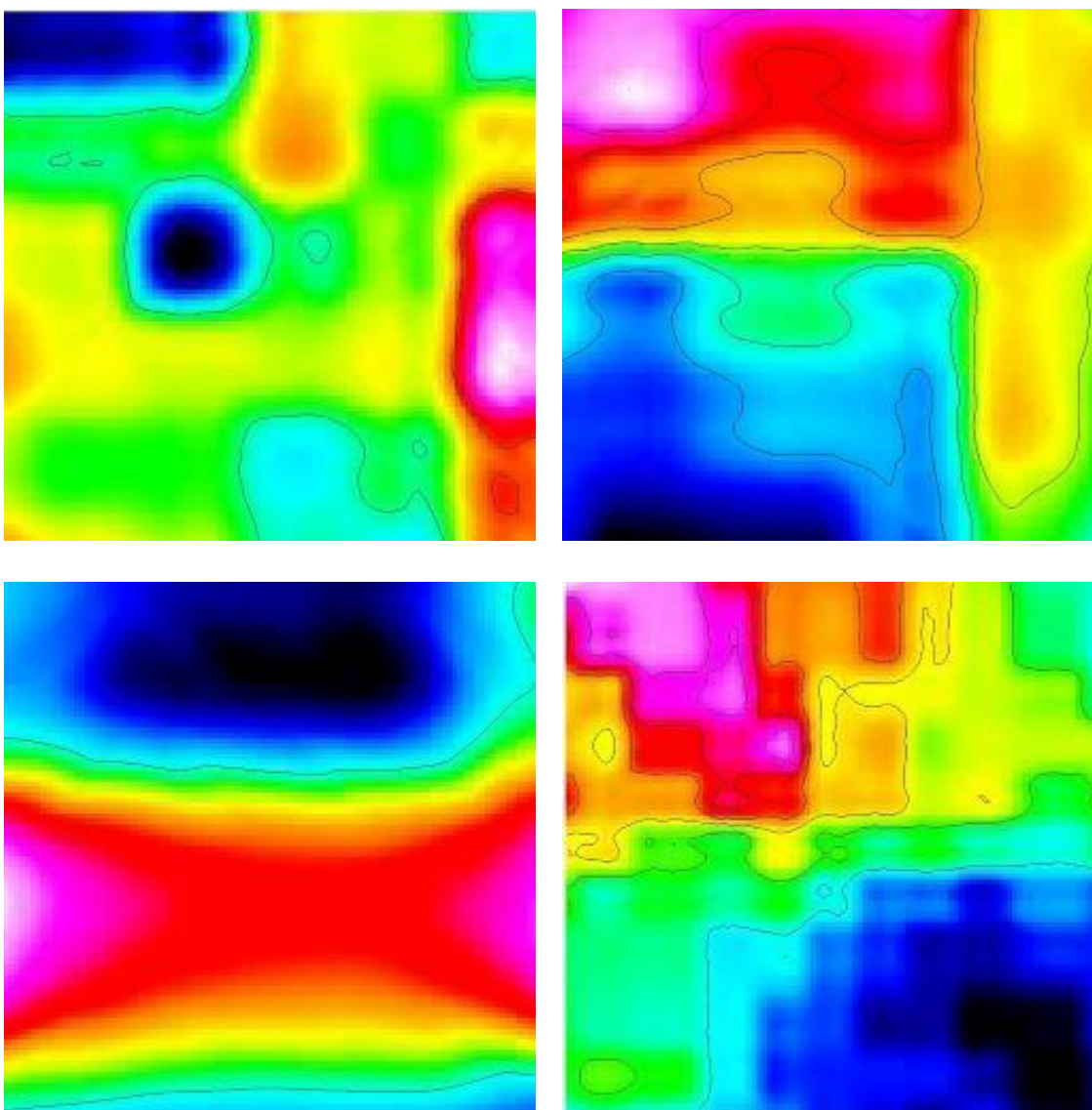
3.2 Терең оқыту арқылы молекулалық бұлттардың және жұлдыздардың қалыптасуын жіктеу

Нейрондық желімен жұлдызсыз және жұлдызға дейінгі түбір класындағы молекулалық бұлт аймағы жіктелді. Бұл кескіндер CO^{13} арқылы барланған мәліметтер болып табылады. Әрбір кластан бірнеше суреттен алынды. 34-суретте және 35-суреттерде сәйкесінше оқытуға арналған жұлдызсыз класындағы және жұлдызға дейінгі түбір класындағы молекулалық бұлт аймағының көрінісі көрсетілген.





Сурет 34 – Жұлдызсыз класындағы молекулалық бұлт аймағының көрінісі.
Class бағдарламасы арқылы өңделген



Сурет 35 – Жұлдызға дейінгі түбір класындағы молекулалық бұлт аймағының көрінісі

Үйірткілі нейрондық желі молекулалық бұлт аймағын 2 класқа жіктеді. Оқыту оқыту нәтижесі келесі суретте келтірілген (Сурет 36). 36-суретте оқыту барысында нейрондық желі моделінің қателігі $7.8 \cdot 10^{-8}$ тең, ал дәлдік бірге тең екені көрсетілген.

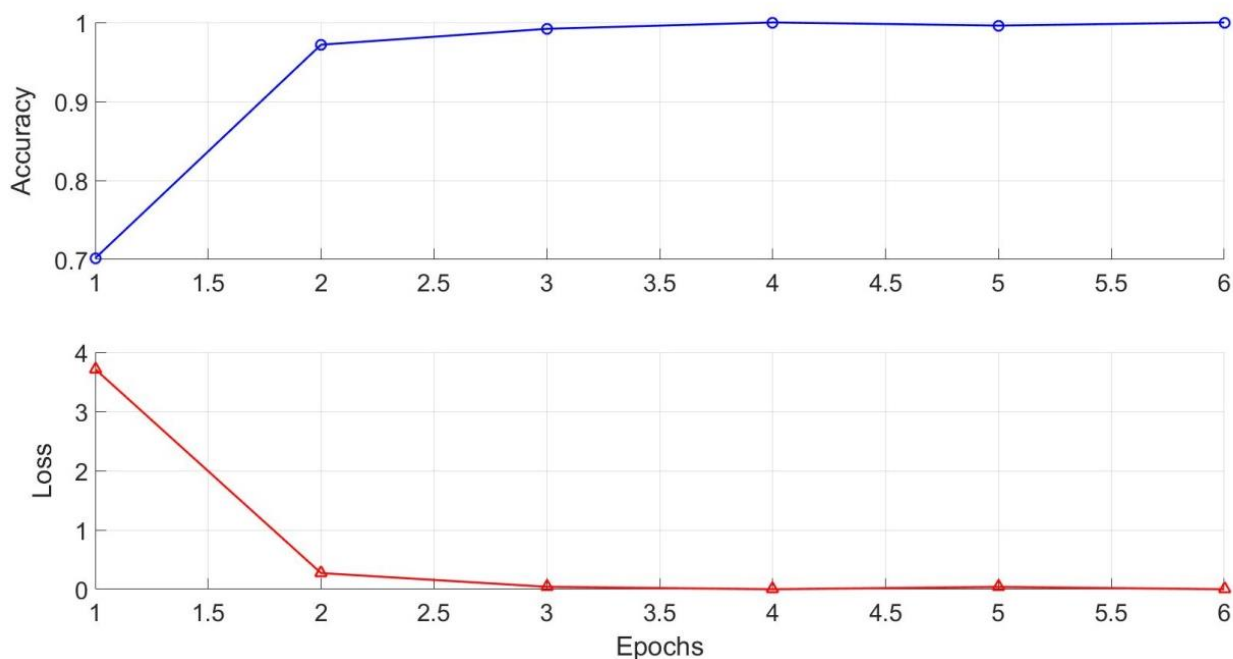
```

Python 3.6.7 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
[Progress bar]19/31 [=====>
.....] - ETA: 1s - loss: 6.8276e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]20/31 [=====
==>.....] - ETA: 1s - loss: 6.8276e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]21/31 [=====
=====>.....] - ETA: 1s - loss: 6.8276e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]22/31 [=====
=====>.....] - ETA: 1s - loss: 6.8276e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]23/31 [=====
=====>.....] - ETA: 1s - loss: 8.1244e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]24/31 [=====
=====>.....] - ETA: 1s - loss: 8.0704e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]25/31 [=====
=====>.....] - ETA: 0s - loss: 8.0207e-08 - acc: 1.0000
Warning (from warnings module):
  File "C:\Python36\lib\site-packages\keras\callbacks.py", line 122
    % delta_t_median)
UserWarning: Method on_batch_end() is slow compared to the batch update (0.112685). Check your callbacks.
[Progress bar]26/31 [=====
=====>.....] - ETA: 0s - loss: 7.9748e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]27/31 [=====
=====>.....] - ETA: 0s - loss: 7.9323e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]28/31 [=====
=====>.....] - ETA: 0s - loss: 7.8928e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]29/31 [=====
=====>.....] - ETA: 0s - loss: 7.8561e-08 - acc: 1.0000
Warning (from warnings module):
  File "C:\Python36\lib\site-packages\keras\callbacks.py", line 122
    % delta_t_median)
UserWarning: Method on_batch_end() is slow compared to the batch update (0.101310). Check your callbacks.
[Progress bar]30/31 [=====
=====>.....] - ETA: 0s - loss: 7.8218e-08 - acc: 1.0000[Progress bar]
[Progress bar]31/31 [=====] - 50s 2s/step - loss: 7.7897e-08 - acc: 1.0000 - val_loss: 6.8276e-08 - val_acc: 1.0000
313.87007451057434
>>> |
Ln: 92 Col: 4

```

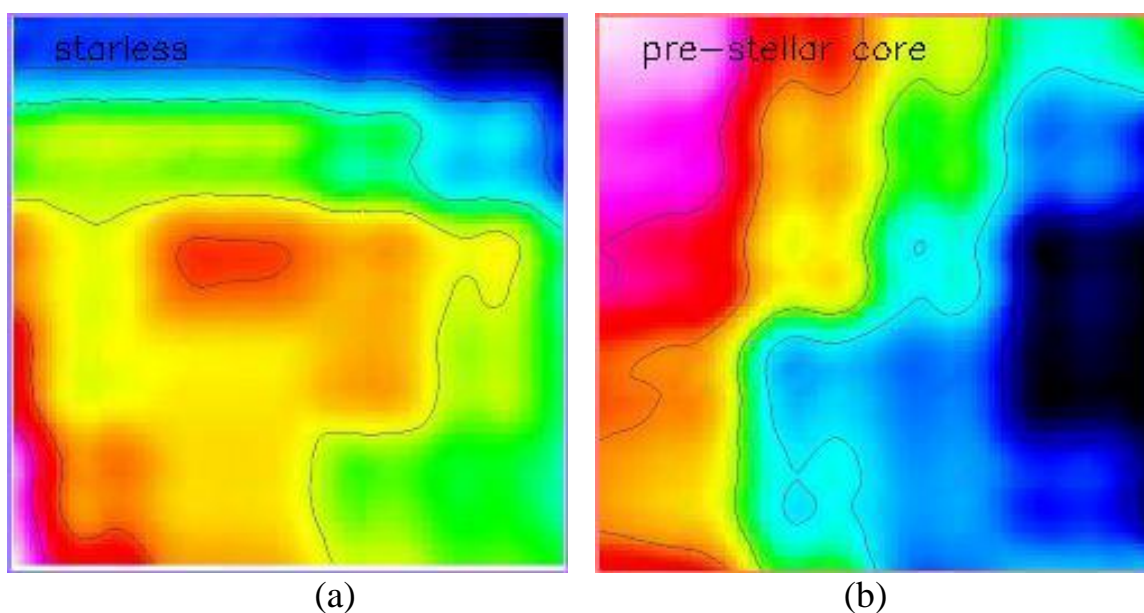
Сурет 36 – Молекулалық бұлттарды жіктеуге арналған нейрондық желі моделін оқыту нәтижесі

Оқыту кезінде оқыту қадамының нейрондық желінің класқа жіктеу дәлдігі мен қателігіне тәуелділігі 37-суретте келтірілген.



Сурет 37 – Оқыту қадамының дәлдікке (көк сызық) және қателікке (қызыл сызық) тәуелділігі

Моделді тексеру үшін әрбір кластан суреттер алынды және жіктеу нәтижесі 38-суретте келтірілген.



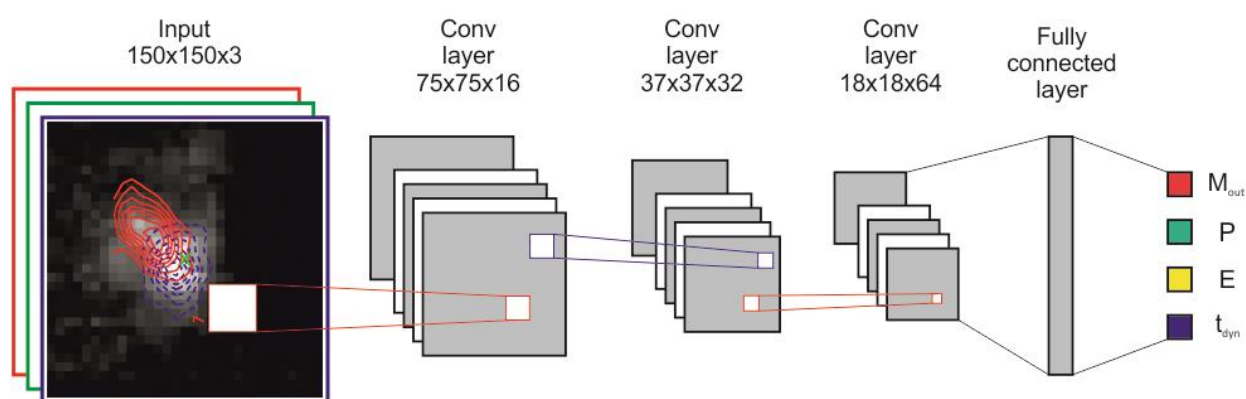
Сурет 38 – Нейрондық желі моделінің молекулалық бұлт аймақтарын жіктеу нәтижесі: жұлдызсыз (a), жұлдызға дейінгі түбір (b) аймақ

Терең оқытуды молекулалық бұлттарды жіктеуде қолдану мүмкіндігі бар. Бұл модель жіктеу өнімділігін арттыра алады және жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіншілік береді [202-203].

3.3 Жұлдыз қалыптасу аймағының параметрлерін анықтаудағы нейрондық желілер

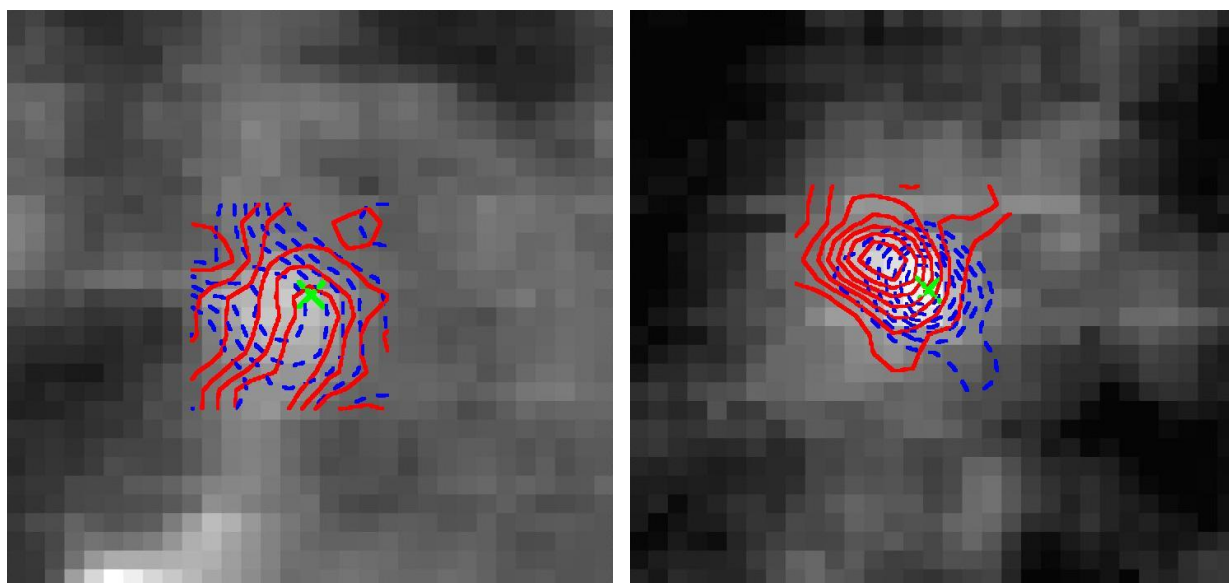
Машиналық оқыту заманауи астрофизикада үлкен көлемдегі мәліметтерге болжам жасаудың керемет қуаттылығымен танымал болып келеді [204]. Gaia деректерінің екінші басылымы үшін жұлдыздардың тиімді температурасын регрессиялауда машиналық оқыту алгоритмі пайдаланылған болатын [205].

Бұл диссертациялық жұмыста жұлдыз қалыптасу аймағының параметрлеріне болжам жасау үшін үйірткілі нейрондық желінің моделі құрастырылды (Сурет 39) [206-209]. Кіріс мәліметтердің өлшемі 128×128 болды. Үйірткі ядросының өлшемі 3×3 шамасына тең етіліп алынды. Модель үш үйірткілі қабат және екі толық байланысты қабаттан құралды.



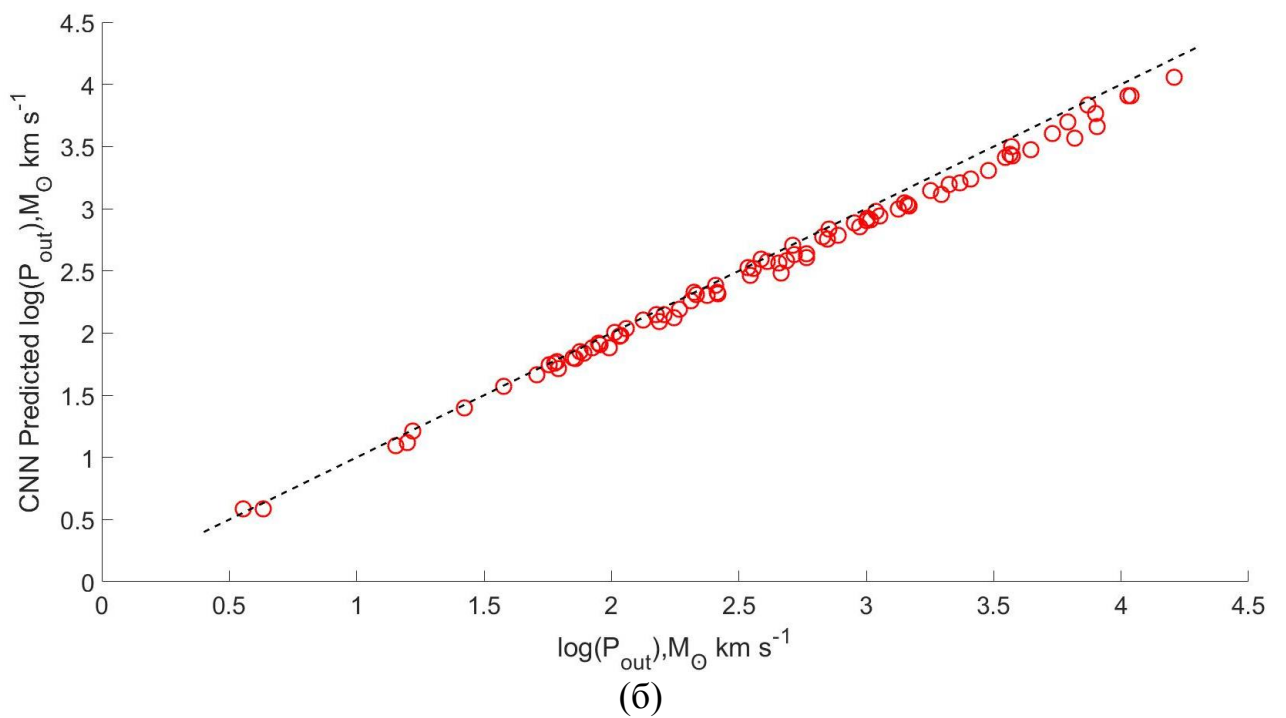
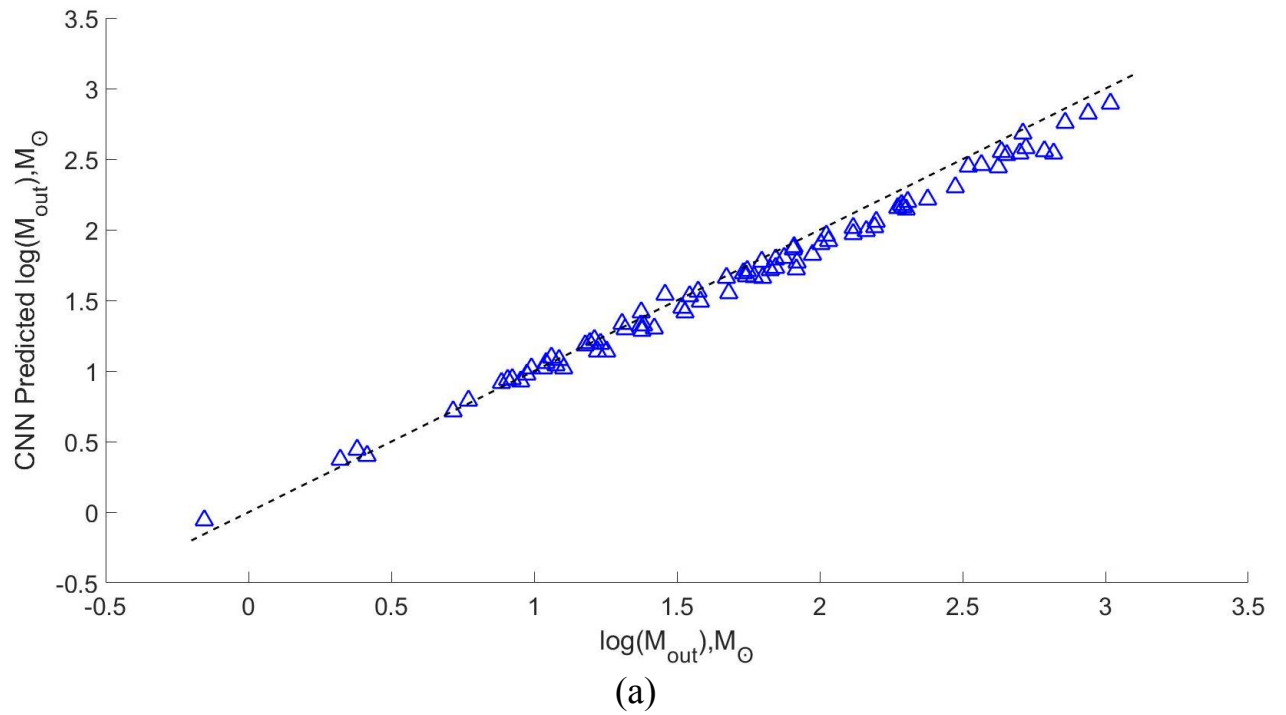
Сурет 39 – Үйірткілі нейрондық желі архитектурасы

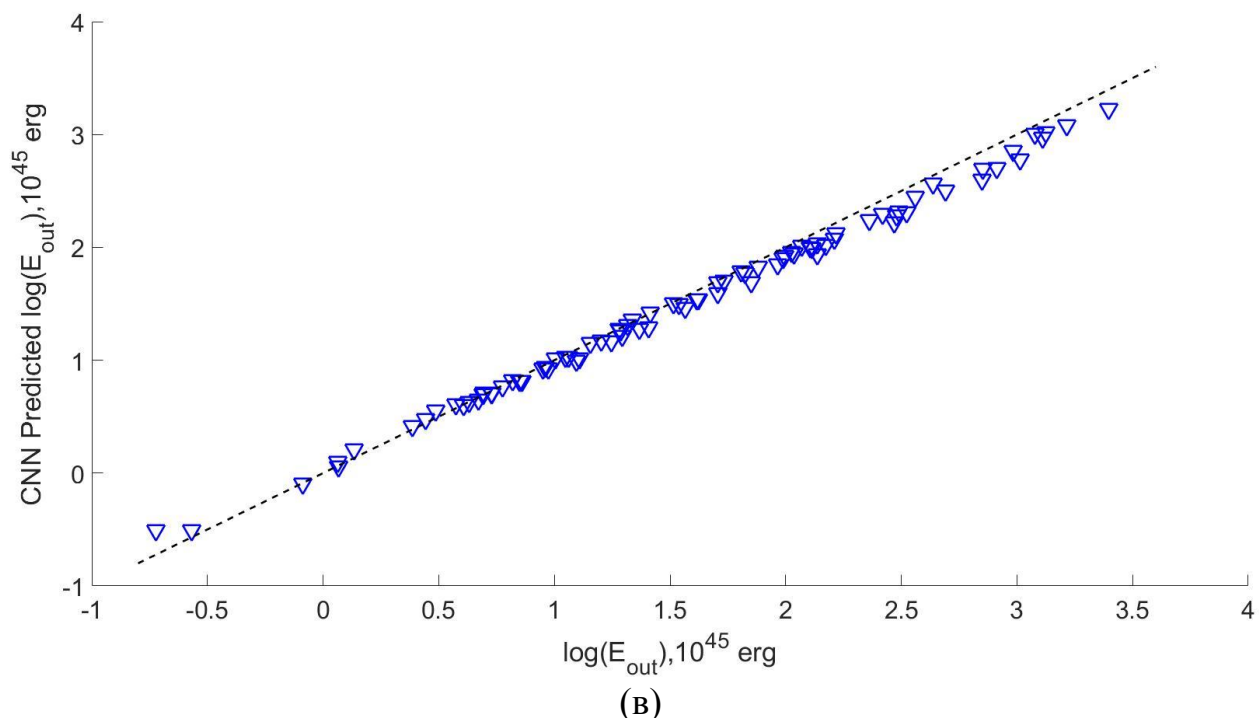
40-суретте нейрондық желіні тексеруге арналған кіріс мәліметтері көрсетілген, алайда тек екеуі келтірілген.



Сурет 40 – Үйірткілі нейрондық желіні тексеруге арналған мәліметтердің мысалы

Нейрондық желі сырт ағынның массасын, импульсін, энергиясын болжауға арналған [210]. Шығыс мақсатты мәлімет диссертациялық жұмыста анықталған мәндермен салыстырылды (Сурет 41).





Сурет 41 – Нейрондық желінің болжаған мәндерінің нақты физикалық параметрлерімен салыстыру нәтижесі. (а) масса, (б) импульс, (в) энергия

3.4 Бөлімнің негізгі нәтижелері

1. Жұлдыз қалыптасу аймағын жіктеу мақсатында жұлдыз спектрлерін жіктеуге арналған нейрондық желі моделі құралды. Оқытылған нейрондық желі моделі жоғары дәлдікке ие болды. Моделдің дәлдігі оқытылмаған мәліметтерді бере отырырып жіктеу арқылы тексерілді. Алынған нәтижелер машиналық оқыту әдістерін жіктеу тапсырмаларында қолданудың тиімділігін көрсетеді. Сонымен қатар, жіктеу уақытын біраз тездетеді [211].

2. Терең оқыту арқылы сырт ағынның параметрлерін анықтауға болады. Нейрондық желі сырт ағынның параметрлерін анықтай алады: масса, импульс, кинетикалық энергия.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыста жүргізілген зерттеулер келесі негізгі нәтижелерге әкелді:

1. 770 ATLASGAL шоғырында COHRS қамтылған аймақта орналасқан, CO (3-2) эмиссиясы тіркелген және массивті жұлдыздардың пайда болу шарттарын қанағаттандыратын сырт ағынды іздеуге байланысты жан-жақты зерттелді. Толық үлгілерде 20% анықтау жылдамдығымен барлығы 157 массасы үлкен сырт ағындар анықталды, және анықталған биполярлы сырт ағындармен және сенімді қашықтықтағы 84 сырт ағынның қасиеттері есептелді. Бұл төмен анықтау жылдамдығы объектілердің жұлдызаралық және ішкі сіңірілуіне, Галактиканың молекулалық сақинасынан CO эмиссиясының ластануына және қозуы төменгі сызықтармен салыстырғанда CO (3-2) сызығының сигнал деңгейінің төмендігіне байланысты болуы мүмкін.

2. Сырт ағындар тиісінше 5 тыныш шоғырларда (5/19 немесе 26%), 7 протожұлдыз шоғырларында (7/93 немесе 8%), 67 YSO шоғырларда (67/386 немесе 17%) және 78 MSF шоғырларда (78/269 немесе 29%) анықталды. 26% тыныш шоғырда анықтау жылдамдығы үлгінің аздығына байланысты. Сырт ағыны бар шоғырлар сырт ағынсыз шоғырларға қарағанда M_{clump} , L_{bol} , L_{bol}/M_{clump} , N_{H_2} және T_{dust} мәндері жоғары болады және анықтау деңгейі осы параметрлерге байланысты артады. Сонымен қатар, нейрондық желімен сырт ағынның параметрлері (массасы, импульсі, энергиясы) анықталды және бұл сырт ағын параметрлерін анықтау әдісіне жақын нәтижелер көрсетті. Біздің үлгі үшін сырт ағын массасы мен шоғыр массалары арасындағы статистикалық байланыс $\lg(M_{out}/M_{\odot}) = (-1.1 \pm 0.21) + (0.9 \pm 0.07)\lg(M_{clump}/M_{\odot})$. Бұл қатынас өзге де жұмыстарда жүргізілген зерттеулермен келісілген. Сырт ағындардағы массаны жоғалту лездігі M_{clump} , L_{bol} , N_{H_2} және T_{dust} ұлғайған сайын жоғарылайды. Бұл осы параметрлер жоғары мәндерге ие сырт ағыны бар шоғырлардың эволюциясы дамыған сатыда тұрғанын көрсетеді.

3. Сырт ағынының механикалық күші F_{out} болометриялық жарықтылықтың жоғарылауымен жүйелі түрде жоғарылайды $\lg(F_{out}) = -4.90 + 0.70\lg(L_{bol})$. Бөлшектеп сәйкестеу массасы аз және үлкен дереккөздердің қатынасы өте ұқсас екенін көрсетеді. Бұл бүкіл L_{bol} диапазонындағы дереккөздердің бірдей іске қосылу механизміне ие екендігін көрсетеді, және осы уақытқа дейін кластер мен тығыз топтардың осы қатынастан ауытқуының дәлелі жоқ.

Сонымен, диссертациялық жұмыста қойылған міндеттер толығымен шешілді. Жұмыстың нәтижелері массивті жұлдыздардың қалыптасуын түсіну үшін қолданылуы мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Wilson T.L., Johnston K.J. The Structure and Content of Molecular Clouds: 25 Years of Molecular Radioastronomy. – Berlin: Springer, 1994. – Vol. 439. – 323 p.
- 2 Swings P., Rosenfeld L. Considerations regarding interstellar molecules //The Astrophysical Journal. – 1937. – Vol. 86. – P. 483-486.
- 3 Douglas A.E., Herzberg G. Note on CH⁺ in Interstellar Space and in the Laboratory //The Astrophysical Journal. – 1941. – Vol. 94. – P. 381.
- 4 Weinreb S., Barrett A.H., Meeks M.L., Henry J.C. Radio observations of OH in the interstellar medium //Nature. – 1963. – Vol. 200, № 4909. – P. 829-831.
- 5 Сурдин В.Г. Гигантские молекулярные облака. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
- 6 Sanders D.B., Solomon P.M., Scoville N.Z. Giant molecular clouds in the Galaxy. I-The axisymmetric distribution of H₂ //The Astrophysical Journal. – 1984. – Vol. 276. – P. 182-203.
- 7 Dame T.M., Ungerechts H., Cohen R.S., de Geus E.J., Grenier I.A., May J., Murphy D.C., Nyman L.-A., Thaddeus P. A composite CO survey of the entire Milky Way //The Astrophysical Journal. – 1987. – Vol. 322. – P. 706-720.
- 8 Dame T.M., Hartmann D., Thaddeus P. The Milky Way in molecular clouds: a new complete CO survey //The Astrophysical Journal. – 2001. – Vol. 547, № 2. – P. 792.
- 9 Beech M. The Pillars of Creation: Giant Molecular Clouds, Star Formation, and Cosmic Recycling. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – 269 p.
- 10 Ackermann M., Ajello M., Atwood W.B., Baldini L., Ballet J., Barbiellini G., Bastieri D., Bechtol K., Bellazzini R., Berenji B., Blandford R.D., Bloom E.D., Bonamente E., Borgland A.W., Brandt T.J., Bregeon J., Brigida M., Bruel P., Buehler R., Buson S., Caliandro G.A., Cameron R.A., Caraveo P.A., Cavazzuti E., Cecchi C., Charles E., Chekhtman A., Chiang J., Ciprini S., Claus R., Cohen-Tanugi J., Conrad J., Cutini S., de Angelis A., de Palma F., Dermer C.D., Digel S.W., Silva E. do Couto e., Drell P.S., Drlica-Wagner A., Falletti L., Favuzzi C., Fegan S.J., Ferrara E.C., Focke W.B., Fortin P., Fukazawa Y., Funk S., Fusco P., Gaggero D., Gargano F., Germani S., Giglietto N., Giordano F., Giroletti M., Glanzman T., Godfrey G., Grove J.E., Guiriec S., Gustafsson M., Hadasch D., Hanabata Y., Harding A.K., Hayashida M., Hays E., Horan D., Hou X., Hughes R.E., Jóhannesson G., Johnson A.S., Johnson R.P., Kamae T., Katagiri H., Kataoka J., Knödlseher J., Kuss M., Lande J., Latronico L., Lee S.-H., Lemoine-Goumard M., Longo F., Loparco F., Lott B., Lovellette M.N., Lubrano P., Mazziotta M.N., McEnery J.E., Michelson P.F., Mitthumsiri W., Mizuno T., Monte C., Monzani M.E., Morselli A., Moskalenko I.V., Murgia S., Naumann-Godo M., Norris J.P., Nuss E., Ohsugi T., Okumura A., Omodei N., Orlando E., Ormes J.F., Paneque D., Panetta J.H., Parent D., Pesce-Rollins M., Pierbattista M., Piron F., Pivato G., Porter T.A., Rainò S., Rando R., Razzano M., Razzaque S., Reimer A., Reimer O., Sadrozinski H.F.-W., Sgrò C., Siskind E.J., Spandre G., Spinelli P., Strong A.W., Suson D.J., Takahashi H., Tanaka T., Thayer J.G., Thayer J.B., Thompson D.J., Tibaldo L., Tinivella M., Torres D.F., Tosti G., Troja E., Usher

T.L., Vandenbroucke J., Vasileiou V., Vianello G., Vitale V., Waite A.P., Wang P., Winer B.L., Wood K.S., Wood M., Yang Z., Ziegler M., Zimmer S. Fermi-LAT observations of the diffuse γ -ray emission: implications for cosmic rays and the interstellar medium //The Astrophysical Journal. – 2012. – Vol. 750, № 1. – P. 3.

11 Wang Q.D., Yu K.C. Shadowing the soft x-ray background by infrared cirrus: A study of selected regions //The Astronomical Journal. – 1995. – Vol. 109. – P. 698-708.

12 Lombardi M., Alves J., Lada C.J. 2MASS wide field extinction maps-IV. The Orion, Monoceros R2, Rosette, and Canis Major star forming regions //Astronomy & Astrophysics. – 2011. – Vol. 535. – P. A16.

13 Ade P.A.R., Aghanim N., Alves M.I.R., Arnaud M., Ashdown M., Atrio-Barandela F., Aumont J., Baccigalupi C., Banday A.J., Barreiro R.B., Battaner E., Benabed K., Benoit-Lévy A., Bernard J.-P., Bersanelli M., Bielewicz P., Bobin J., Bonaldi A., Bond J.R. Bouchet F.R., Boulanger F., Burigana C., Cardoso J.-F., Catalano A., Chamballu A., Chiang H.C., Christensen P.R., Clements D.L., Colombi S., Colombo L.P.L., Combet C., Couchot F., Crill B.P., Cuttaia F., Danese L., Davies R.D., Davis R.J., de Bernardis P., de Rosa A., de Zotti G., Delabrouille J., Dickinson C., Diego J.M., Donzelli S., Doré O., Douspis M., Dupac X., Efstathiou G., Enßlin T.A., Eriksen H.K., Finelli F., Forni O., Frailis M., Franceschi E., Galeotta S., Ganga K., Génova-Santos R.T., Ghosh T., Giard M., Giardino G., Giraud-Héraud Y., González-Nuevo J., Górski K.M., Gregorio A., Gruppuso A., Hansen F.K., Harrison D.L., Henrot-Versillé S., Herranz D., Hildebrandt S.R., Hivon E., Hobson M., Hornstrup A., Hovest W., Huppenberger K.M., Jaffe A. H., Jaffe T.R., Jones W.C., Keihänen E., Keskitalo R., Kisner T.S., Kneissl R., Knoche J., Kunz M., Kurki-Suonio H., Lagache G., Lähteenmäki A., Lamarre J.-M., Lasenby A., Lawrence C.R., Leonardi R., Liguori M., Lilje P.B., Linden-Vørnle M., López-Caniego M., Lubin P.M., Macías-Pérez J.F., Maino D., Mandolesi N., Martin P.G., Martínez-González E., Masi S., Massardi M., Matarrese S., Mazzotta P., Meinhold P.R., Melchiorri A., Mendes L., Mennella A., Migliaccio M., Mitra S., Miville-Deschênes M.-A., Moneti A., Montier L., Morgante G., Mortlock D., Munshi D., Murphy J.A., Naselsky P., Nati F., Natoli P., Nørgaard-Nielsen H.U., Noviello F., Novikov D., Novikov I., Oxborrow C.A., Pagano L., Pajot F., Paladini R., Paoletti D., Pasian F., Pearson T.J., Peel M., Perdereau O., Perrotta F., Piacentini F., Piat M., Pierpaoli E., Pietrobon D., Plaszczynski S., Pointecouteau E., Polenta G., Ponthieu N., Popa L., Pratt G.W., Prunet S., Puget J.-L., Rachen J.P., Reach W.T., Rebolo R., Reich W., Reinecke M., Remazeilles M., Renault C., Ricciardi S., Riller T., Ristorcelli I., Rocha G., Rosset C., Roudier G., Rubiño-Martín J.A., Rusholme B., Sandri M., Savini G., Scott D., Spencer L.D., Stolyarov V., Strong A.W., Sutton D., Suur-Uski A.-S., Sygnet J.-F., Tauber J.A., Tavagnacco D., Terenzi L., Tibbs C.T., Toffolatti L., Tomasi M., Tristram M., Tucci M., Valenziano L., Valiviita J., Van Tent B., Varis J., Vielva P., Villa F., Wade L.A., Wandelt B.D., Watson R., Yvon D., Zacchei A., Zonca A. Planck intermediate results-XXIII. Galactic plane emission components derived from Planck with ancillary data //Astronomy & Astrophysics. – 2015. – Vol. 580. – P. A13.

- 14 Schuller F., Menten K.M., Contreras Y., Wyrowski F., Schilke P., Bronfman L., Henning T., Walmsley C.M., Beuther H., Bontemps S., Cesaroni R., Deharveng L., Garay G., Herpin F., Lefloch B., Linz H., Mardones D., Minier V., Molinari S., Motte F., Nyman L.-Å., Reveret V., Risacher C., Russeil D., Schneider N., Testi L., Troost T., Vasyunina T., Wienen M., Zavagno A., Kovacs A., Kreysa E., Siringo G., Weiß A. ATLASGAL – The APEX telescope large area survey of the galaxy at 870 μm //Astronomy & Astrophysics. – 2009. – Vol. 504, № 2. – P. 415-427.
- 15 Aguirre J.E., Ginsburg A.G., Dunham M.K., Drosback M.M., Bally J., Battersby C., Bradley E.T., Cyganowski C., Dowell D., Evans N.J. II, Glenn J., Harvey P., Rosolowsky E., Stringfellow G.S., Walawender J., Williams J.P. The Bolocam Galactic plane survey: survey description and data reduction //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2010. – Vol. 192, № 1. – P. 4.
- 16 Heyer M., Dame T.M. Molecular clouds in the milky way //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2015. – Vol. 53. – P. 583-629.
- 17 Solomon P.M., Klemperer W. The formation of diatomic molecules in interstellar clouds //The Astrophysical Journal. – 1972. – Vol. 178. – P. 389-422.
- 18 Schwartz P.R., Wilson W.J., Epstein E.E. The distribution of galactic carbon monoxide: a preliminary survey //The Astrophysical Journal. – 1973. – Vol. 186. – P. 529-536.
- 19 Burton W.B., Gordon M.A., Bania T.M., Lockman F.J. The overall distribution of carbon monoxide in the plane of the Galaxy //The Astrophysical Journal. – 1975. – Vol. 202. – P. 30-49.
- 20 Scoville N.Z., Solomon P.M. Molecular clouds in the Galaxy //Astrophysical Journal. – 1975. – Vol. 199. – P. L105-L109.
- 21 Gordon M.A., Burton W.B. Carbon monoxide in the Galaxy. I-The radial distribution of CO, H₂, and nucleons //The Astrophysical Journal. – 1976. – Vol. 208. – P. 346-353.
- 22 Bania T.M. Carbon monoxide in the inner Galaxy //The Astrophysical Journal. – 1977. – Vol. 216. – P. 381-403.
- 23 Cohen R.S., Thaddeus P. An out-of-plane galactic carbon monoxide survey //The Astrophysical Journal. – 1977. – Vol. 217. – P. L155-L159.
- 24 Burton W.B., Gordon M.A. Carbon monoxide in the Galaxy. III-The overall nature of its distribution in the equatorial plane //Astronomy and Astrophysics. – 1978. – Vol. 63. – P. 7-27.
- 25 Solomon P.M., Rivolo A.R., Barrett J., Yahil A. Mass, luminosity, and line width relations of Galactic molecular clouds //The Astrophysical Journal. – 1987. – Vol. 319. – P. 730-741.
- 26 Bania T.M. Carbon monoxide in the inner Galaxy-The 3 kiloparsec arm and other expanding features //The Astrophysical Journal. – 1980. – Vol. 242. – P. 95-111.
- 27 Cohen R.S., Cong H., Dame T.M., Thaddeus P. Molecular clouds and galactic spiral structure //The Astrophysical Journal. – 1980. – Vol. 239. – P. L53-L56.

- 28 Kutner M.L., Mead K.N. Molecular clouds outside the solar circle in the first quadrant of our Galaxy //The Astrophysical Journal. – 1981. – Vol. 249. – P. L15-L18.
- 29 McCutcheon W.H., Robinson B.J., Whiteoak J.B. A CO survey of the southern galactic plane //Proceedings of the Astronomical Society of Australia. – 1981. – Vol. 4. – P. 243-247.
- 30 Casoli F., Combes F., Gerin M. Observations of molecular clouds in the second galactic quadrant //Astronomy and Astrophysics. – 1984. – Vol. 133. – P. 99-109.
- 31 Israel F.P., de Graauw Th., van der Biezen J., de Vries C.P., Brand J., Habing H.J., Leene A., van de Stadt H., van Amerongen J., Wouterloot J.G.A., Selman F. A first CO (J= 2-1) survey of the southern Milky Way //Astronomy and Astrophysics. – 1984. – Vol. 134. – P. 396-401.
- 32 Liszt H.S., Burton W.B., Xiang D.L. CO-13 in the inner galactic plane //Astronomy and Astrophysics. – 1984. – Vol. 140. – P. 303-313.
- 33 Robinson B.J., Manchester R.N., Whiteoak J.B., Sanders D.B., Scoville N.Z., Clemens D.P., McCutcheon W.H., Solomon P.M. The distribution of CO in the Galaxy for longitudes 294 deg to 86 deg //The Astrophysical Journal. – 1984. – Vol. 283. – P. L31-L35.
- 34 Dame T.M., Thaddeus P. A wide-latitude CO survey of molecular clouds in the northern Milky Way //The Astrophysical Journal. – 1985. – Vol. 297. – P. 751-765.
- 35 Knapp G.R., Stark A.A., Wilson R.W. The global properties of the Galaxy. III-Maps of the (C-12)(O) emission in the first quadrant of the Galaxy //The Astronomical Journal. – 1985. – Vol. 90. – P. 254-300.
- 36 Sanders D.B., Clemens D.P., Scoville N.Z., Solomon P.M. Massachusetts-Stony Brook Galactic plane CO survey. I-(b, V) maps of the first Galactic quadrant //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1986. – Vol. 60. – P. 1-296.
- 37 Bally J., Langer W.D., Stark A.A., Wilson R.W. Filamentary structure in the Orion molecular cloud //The Astrophysical Journal. – 1987. – Vol. 312. – P. L45-L49.
- 38 Grabelsky D.A., Cohen R.S., Bronfman L., Thaddeus P., May J. Molecular clouds in the Carina arm: Large-scale properties of molecular gas and comparison with HI //The Astrophysical Journal. – 1987. – Vol. 315. – P. 122-141.
- 39 Bronfman L., Cohen R.S., Alvarez H., May J., Thaddeus P. A CO survey of the southern Milky Way: The mean radial distribution of molecular clouds within the solar circle //The Astrophysical Journal. – 1988. – Vol. 324. – P. 248-266.
- 40 Jacq T., Baudry A., Walmsley C.M. (C-13) O molecular clouds and HI in the longitude range L= 40 deg to L= 67.5 deg //Astronomy and Astrophysics. – 1988. – Vol. 207. – P. 145-153.
- 41 Robinson B.J., Manchester R.N., Whiteoak J.B., Otrupcek R.E., McCutcheon W.H. CO survey of the southern Galaxy //Astronomy and Astrophysics. – 1988. – Vol. 193. – P. 60-68.
- 42 Nyman L.A., Bronfman L., Thaddeus P. A CO survey of the Southern Coalsack //Astronomy and Astrophysics. – 1989. – Vol. 216. – P. 185-192.

- 43 Digel S., Bally J., Thaddeus P. Giant molecular clouds in the outer arm of the galaxy //The Astrophysical Journal. – 1990. – Vol. 357. – P. L29-L33.
- 44 Stacy J.A., Thaddeus P. A CO Survey of the GEM OB1/1C443 Molecular Cloud Complex //Astronomical Society of the Pacific Conference Series. – San Francisco, 1991. – Vol. 16. – P. 119.
- 45 Leung H.O., Thaddeus P. A complete CO survey of the Cygnus X region //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1992. – Vol. 81. – P. 267-301.
- 46 May J., Bronfman L., Alvarez H., Murphy D.C., Thaddeus P. A deep CO survey of the third galactic quadrant //Astronomy and Astrophysics Supplement Series. – 1993. – Vol. 99. – P. 105-165.
- 47 Dame T.M., Thaddeus P. Detection of a thick molecular disk in the galaxy //The Astrophysical Journal. – 1994. – Vol. 436. – P. L173-L176.
- 48 Dobashi K., Bernard J.P., Yonekura Y., Fukui Y. Molecular clouds in Cygnus. 1: A large-scale (13) CO survey //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1994. – Vol. 95. – P. 419-456.
- 49 Carpenter J.M., Snell R.L., Schloerb F.P. Anatomy of the Gemini OB1 molecular cloud complex //The Astrophysical Journal. – 1995. – Vol. 445. – P. 246-268.
- 50 Sakamoto S., Hasegawa T., Hayashi M., Handa T., Oka T. An Out-of-Plane CO ($J=2-1$) Survey of the Milky Way. I. The Data //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1995. – Vol. 100. – P. 125.
- 51 Digel S.W., Lyder D.A., Philbrick A.J., Puche D., Thaddeus P. A Large-Scale CO Survey toward W3, W4, and W5 //The Astrophysical Journal. – 1996. – Vol. 458. – P. 561.
- 52 Oliver R.J., Mashedier M.R.W., Thaddeus P. A new CO survey of the Monoceros OB1 region //Astronomy and Astrophysics. – 1996. – Vol. 315. – P. 578-590.
- 53 Bitran M., Alvarez H., Bronfman L., May J., Thaddeus P. A large scale CO survey of the Galactic center region //Astronomy and Astrophysics Supplement Series. – 1997. – Vol. 125, № 1. – P. 99-138.
- 54 Sato K. CO ($J=2-1$) Survey of the Outer Galaxy //Millimeter and Submillimeter Astronomy at 10 Milli-Arcseconds Resolution. – Tokyo, 1997. – P. 56.
- 55 Yonekura Y., Dobashi K., Mizuno A., Ogawa H., Fukui Y. Molecular clouds in Cepheus and Cassiopeia //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1997. – Vol. 110, № 1. – P. 21.
- 56 Heyer M.H., Brunt C., Snell R.L., Howe J.E., Schloerb F.P., Carpenter J.M. The five college radio astronomy observatory CO survey of the outer galaxy //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1998. – Vol. 115, № 2. – P. 241.
- 57 Kawamura A., Onishi T., Yonekura Y., Dobashi K., Mizuno A., Ogawa H., Fukui Y. A13co Survey of Molecular Clouds in Gemini and Auriga //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1998. – Vol. 117, № 2. – P. 387.
- 58 Kato S., Mizuno N., Asayama S.I., Mizuno A., Ogawa H., Fukui Y. NANTEN Observations of the Southern Coalsack in 13CO and C18O $J=1-0$

Emission //Publications of the Astronomical Society of Japan. – 1999. – Vol. 51, № 6. – P. 883-893.

59 Lee Y., Jung J.H., Chung H.S., Kim H.-G., Park Y.-S., Kim H.R., Kim B.-G., Kim J., Han S.-T. Galactic anticenter CO survey-I. Area to, to //Astronomy and Astrophysics Supplement Series. – 1999. – Vol. 138, № 2. – P. 187-202.

60 Yamaguchi N., Mizuno N., Saito H., Matsunaga K.I., Mizuno A., Ogawa H., Fukui Y. A study of dense molecular gas and star formation toward the Vela Molecular Ridge with NANTEN //Publications of the Astronomical Society of Japan. – 1999. – Vol. 51, № 6. – P. 775-790.

61 Ungerechts H., Umbanhowar P., Thaddeus P. A CO survey of giant molecular clouds near Cassiopeia A and NGC 7538 //The Astrophysical Journal. – 2000. – Vol. 537, № 1. – P. 221.

62 Lee Y., Stark A.A., Kim H.G., Moon D.S. The Bell Laboratories 13CO Survey: Longitude-Velocity Maps //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2001. – Vol. 136, № 1. – P. 137.

63 Moriguchi Y., Yamaguchi N., Onishi T., Mizuno A., Fukui Y. A 12CO Survey of Molecular Clouds toward the Vela Supernova Remnant with NANTEN //Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2001. – Vol. 53, № 6. – P. 1025-1036.

64 Sawada T., Hasegawa T., Handa T., Morino J.I., Oka T., Booth R., Bronfman L., Hayashi M., Luna Castellanos A., Nyman L.-Å., Sakamoto S., Seta M., Shaver P., Sorai K., Usuda K.S. The Tokyo-Onsala-ESO-Calán Galactic CO J= 2-1 Survey. I. The Galactic Center Region //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2001. – Vol. 136, № 1. – P. 189.

65 Mizuno A., Fukui Y. Physical properties of molecular clouds as revealed by NANTEN CO survey: from the galactic center to the galactic warp //Astronomical Society of the Pacific Conference Series. – San Francisco, 2004. – Vol. 317. – P. 59.

66 Jackson J.M., Rathborne J.M., Shah R.Y., Simon R., Bania T.M., Clemens D.P., Chambers E.T., Johnson A.M., Dormody M., Lavoie R., Heyer M.H. The boston university-five college radio astronomy observatory galactic ring survey //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2006. – Vol. 163, № 1. – P. 145.

67 Schneider N., Bontemps S., Simon R., Jakob H., Motte F., Miller M., Kramer C., Stutzki J. A new view of the Cygnus X region-KOSMA CO 2 1, 3 2, and CO 3 2 imaging //Astronomy & Astrophysics. – 2006. – Vol. 458, № 3. – P. 855-871.

68 Yoda T., Handa T., Kohno K., Nakajima T., Kaiden M., Yonekura Y., Ogawa H., Morino, J.I., Dobashi K. The AMANOGAWA-2SB galactic plane survey I. Data on the galactic equator //Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2010. – Vol. 62, № 5. – P. 1277-1289.

69 Schneider N., Bontemps S., Simon R., Ossenkopf V., Federrath C., Klessen R.S., Motte F., André Ph., Stutzki J., Brunt C. The link between molecular cloud structure and turbulence //Astronomy & Astrophysics. – 2011. – Vol. 529. – P. A1.

70 Burton M.G., Braiding C., Glueck C., Goldsmith P., Hawkes J., Hollenbach D.J., Kulesa C., Martin C.L., Pineda J.L., Rowell G., Simon R., Stark A.A., Stutzki J., Tothill N.J. H., Urquhart J.S., Walker C., Walsh A.J., Wolfire M. The Mopra

southern galactic plane CO survey //Publications of the Astronomical Society of Australia. – 2013. – Vol. 30. – P. e044.

71 Barnes P.J., Muller E., Indermuehle B., O'Dougherty S.N., Lowe V., Cunningham M., Hernandez A.K., Fuller G.A. The three-mm ultimate Mopra Milky Way Survey. I. Survey overview, initial data releases, and first results //The Astrophysical Journal. – 2015. – Vol. 812, № 1. – P. 6.

72 McKee C.F., Ostriker E.C. Theory of star formation //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2007. – Vol. 45. – P. 565-687.

73 Johnstone D., Di Francesco J., Kirk H. An extinction threshold for protostellar cores in Ophiuchus //The Astrophysical Journal Letters. – 2004. – Vol. 611, № 1. – P. L45.

74 Hatchell J., Richer J.S., Fuller G.A., Quattrone C.J., Ladd E.F., Chandler C.J. Star formation in Perseus-Clusters, filaments and the conditions for star formation //Astronomy & Astrophysics. – 2005. – Vol. 440, №.1. – P. 151-161.

75 Molinari S., Swinyard B., Bally J., Barlow M., Bernard J.-P., Martin P., Moore T., Noriega-Crespo A., Plume R., Testi L., Zavagno A., Abergel A., Ali B., André P., Baluteau J.-P., Benedettini M., Berné O., Billot N.P., Blommaert J., Bontemps S., Boulanger F., Brand J., Brunt C., Burton M., Campeggio L., Carey S., Caselli P., Cesaroni R., Cernicharo J., Chakrabarti S., Chrysostomou A., Codella C., Cohen M., Compiègne M., Davis C. J., de Bernardis P., de Gasperis G., Di Francesco J., di Giorgio A.M., Elia D., Faustini F., Fischera J.F., Fukui Y., Fuller G. A., Ganga K., Garcia-Lario P., Giard M., Giardino G., Glenn J., Goldsmith P., Griffin M., Hoare M., Huang M., Jiang B., Joblin C., Joncas G., Juvela M., Kirk J., Lagache G., Li J.Z., Lim T.L., Lord S.D., Lucas P.W., Maiolo B., Marengo M., Marshall D., Masi S., Massi F., Matsuura M., Meny C., Minier V., Miville-Deschênes M.-A., Montier L., Motte F., Müller T.G., Natoli P., Neves J., Olmi L., Paladini R., Paradis D., Pestalozzi M., Pezzuto S., Piacentini F., Pomarès M., Popescu C.C., Reach W.T., Richer J., Ristorcelli I., Roy A., Royer P., Russeil D., Saraceno P., Sauvage M., Schilke P., Schneider-Bontemps N., Schuller F., Schultz B., Shepherd D.S., Sibthorpe B., Smith H.A., Smith M.D., Spinoglio L., Stamatellos D., Strafella F., Stringfellow G., Sturm E., Taylor R., Thompson M.A., Tuffs R.J., Umana G., Valenziano L., Vavrek R., Viti S., Waelkens C., Ward-Thompson D., White G., Wyrowski F., Yorke H.W., Zhang Q. Hi-GAL: the Herschel infrared galactic plane survey //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 2010. – Vol. 122, № 889. – P. 314.

76 Benjamin R.A., Churchwell E., Babler B.L., Bania T.M., Clemens D.P., Cohen M., Dickey J.M., Indebetouw R., Jackson J.M., Kobulnicky H.A., Lazarian A., Marston A.P., Mathis J.S., Meade M.R., Seager S., Stolovy S.R., Watson C., Whitney B.A., Wolff M.J., Wolfire M.G. GLIMPSE. I. An SIRTF legacy project to map the inner galaxy //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 2003. – Vol. 115, № 810. – P. 953.

77 Carey S.J., Noriega-Crespo A., Mizuno D.R., Shenoy S., Paladini R., Kraemer K.E., Price S.D., Flagey N., Ryan E., Ingalls J.G., Kuchar T.A., Pinheiro Gonçalves D., Indebetouw R., Billot N., Marleau F.R., Padgett D.L., Rebull L.M., Bressert E., Ali B., Molinari S. Martin P.G., Berriman G.B., Boulanger F., Latter W.B., Miville-Deschenes M.A., Shipman R., Testi L. MIPS GAL: A Survey of the

Inner Galactic Plane at 24 and 70 μm //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 2009. – Vol. 121, № 875. – P. 76.

78 Ginsburg A., Glenn J., Rosolowsky E., Ellsworth-Bowers T.P., Battersby C., Dunham M., Merello M., Shirley Y., Bally J., Evans II N.J., Stringfellow G., Aguirre J. The Bolocam Galactic Plane Survey. IX. Data Release 2 and Outer Galaxy Extension //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2013. – Vol. 208, № 2. – P. 14.

79 Contreras Y., Schuller F., Urquhart J.S., Csengeri T., Wyrowski F., Beuther H., Bontemps S., Bronfman L., Henning T., Menten K.M., Schilke P., Walmsley C.M., Wienen M., Tackenberg J., Linz H. ATLASGAL—compact source catalogue: $330^\circ < \ell < 21^\circ$ //Astronomy & Astrophysics. – 2013. – Vol. 549. – P. A45.

80 Purcell C. R., Hoare M. G., Diamond P. The CORNISH Survey of the galactic plane //Astronomical Society of the Pacific Conference Series. – San Francisco, 2008. – Vol. 387. – P. 389.

81 Lawrence A., Warren S.J., Almaini O., Edge A.C., Hambly N.C., Jameson R.F., Lucas P., Casali M., Adamson A., Dye S., Emerson J.P., Foucaud S., Hewett P., Hirst P., Hodgkin S.T., Irwin M.J., Lodieu N., McMahon R.G., Simpson C., Smail I. Mortlock D., Folger M. The UKIRT infrared deep sky survey (UKIDSS) //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2007. – Vol. 379, № 4. – P. 1599-1617.

82 Dempsey J.T., Thomas H.S., Currie M.J. CO (3–2) high-resolution survey of the galactic plane: R1 //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2013. – Vol. 20. – P. 8.

83 Lada C.J. Cold outflows, energetic winds, and enigmatic jets around young stellar objects //Annual review of astronomy and astrophysics. – 1985. – Vol. 23, № 1. – P. 267-317.

84 Reipurth B., Jewitt D., Keil K. Protostars and Planets V. – Tucson: University of Arizona Press, 2007. – 951 p.

85 Shepherd D.S., Churchwell E. Bipolar molecular outflows in massive star formation regions //The Astrophysical Journal. – 1996. – Vol. 472, № 1. – P. 225.

86 Mannings V., Boss A.P., Russell S.S., Protostars and Planets IV. – Tucson: University of Arizona Press, 2000. – 1422 p.

87 Beuther H., Schilke P., Sridharan T.K., Menten K.M., Walmsley C.M., Wyrowski F. Massive molecular outflows //Astronomy & Astrophysics. – 2002. – Vol. 383, № 3. – P. 892-904.

88 Molinari S., Testi L., Rodríguez L.F., Zhang Q. The formation of massive stars. I. High-resolution millimeter and radio studies of high-mass protostellar candidates //The Astrophysical Journal. – 2002. – Vol. 570, № 2. – P. 758.

89 Wu Y., Wei Y., Zhao M., Shi Y., Yu W., Qin S., Huang M. A study of high velocity molecular outflows with an up-to-date sample //Astronomy & Astrophysics. – 2004. – Vol. 426, № 2. – P. 503-515.

90 Kwan J., Scoville N. The nature of the broad molecular line emission at the Kleinmann-Low nebula //The Astrophysical Journal. – 1976. – Vol. 210. – P. L39-L43.

91 de Villiers H.M., Chrysostomou A., Thompson M.A., Ellingsen S.P., Urquhart J.S., Breen S.L., Burton M.G., Csengeri T., Ward-Thompson D. Methanol

maser associated outflows: detection statistics and properties //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2014. – Vol. 444, № 1. – P. 566-585.

92 Maud L.T., Moore T.J.T., Lumsden S.L., Mottram J.C., Urquhart J.S., Hoare M.G. A distance-limited sample of massive molecular outflows //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Vol. 453, № 1. – P. 645-665.

93 Snell R.L., Loren R.B., Plambeck R.L. Observations of CO in L1551-Evidence for stellar wind driven shocks //The Astrophysical Journal. – 1980. – Vol. 239. – P. L17-L22.

94 Shu F.H., Adams F.C., Lizano S. Star formation in molecular clouds: observation and theory //Annual review of astronomy and astrophysics. – 1987. – Vol. 25, № 1. – P. 23-81.

95 Bachiller R. Bipolar molecular outflows from young stars and protostars //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 1996. – Vol. 34, № 1. – P. 111-154.

96 Bontemps S., Andre P., Terebey S., Cabrit S. Evolution of outflow activity around low-mass embedded young stellar objects //Astronomy and Astrophysics. – 1996. – Vol. 311. – P. 858-872.

97 Hatchell J., Fuller G.A., Richer J.S. Star formation in perseus-III. Outflows //Astronomy & Astrophysics. – 2007. – Vol. 472, № 1. – P. 187-198.

98 Beuther H., Klessen R.S., Dullemond C.P., Henning T.K. Protostars and Planets VI, – Tucson: University of Arizona Press, 2014. – 914 p.

99 Yorke H.W., Sonnhalter C. On the formation of massive stars //The Astrophysical Journal. – 2002. – Vol. 569, № 2. – P. 846.

100 McKee C.F., Tan J.C. The formation of massive stars from turbulent cores //The Astrophysical Journal. – 2003. – Vol. 585, № 2. – P. 850.

101 Bonnell I.A., Bate M.R., Clarke C.J., Pringle J.E. Competitive accretion in embedded stellar clusters //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2001. – Vol. 323, № 4. – P. 785-794.

102 Kim K.T., Kurtz S.E. Occurrence frequency of CO outflows in massive protostellar candidates //The Astrophysical Journal. – 2006. – Vol. 643, № 2. – P. 978.

103 Zhang Q., Hunter T.R., Brand J., Sridharan T.K., Molinari S., Kramer M.A., Cesaroni R. Search for CO outflows toward a sample of 69 high-mass protostellar candidates: Frequency of occurrence //The Astrophysical Journal Letters. – 2001. – Vol. 552, № 2. – P. L167.

104 Cunningham A.J., Frank A., Carroll J., Blackman E.G., Quillen A.C. Protostellar outflow evolution in turbulent environments //The Astrophysical Journal. – 2009. – Vol. 692, № 1. – P. 816.

105 Arce H.G., Borkin M.A., Goodman A.A., Pineda J.E., Halle M.W. The COMPLETE survey of outflows in Perseus //The Astrophysical Journal. – 2010. – Vol. 715, № 2. – P. 1170.

106 Krumholz M.R., Klein R.I., McKee C.F. Radiation-hydrodynamic simulations of the formation of orion-like star clusters. II. The initial mass function from winds, turbulence, and radiation //The Astrophysical Journal. – 2012. – Vol. 754, № 1. – P. 71.

- 107 Mottram J.C., Brunt C.M. A cluster of outflows in the Vulpecula Rift //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2012. – Vol. 420, № 1. – P. 10-19.
- 108 Plunkett A.L., Arce H.G., Corder S.A., Dunham M.M., Garay G., Mardones D. Assessing molecular outflows and turbulence in the protostellar cluster Serpens South //The Astrophysical Journal. – 2015. – Vol. 803, № 1. – P. 22.
- 109 Bally J. Protostellar outflows //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2016. – Vol. 54. – P. 491-528.
- 110 Evans N.J., Balkum S., Levreault R.M., Hartmann L., Kenyon S. Molecular outflows from FU Orionis stars //The Astrophysical Journal. – 1994. – Vol. 424. – P. 793-799.
- 111 Königl A., Romanova M.M., Lovelace R.V.E. Are the outflows in FU Orionis systems driven by the stellar magnetic field? //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2011. – Vol. 416, № 1. – P. 757-766.
- 112 Qin S.L., Wang J.J., Zhao G., Miller M., Zhao J.H. Massive molecular outflows associated with UCHII/HII regions //Astronomy & Astrophysics. – 2008. – Vol. 484, № 2. – P. 361-369.
- 113 Lada C.J., Wilking B.A. The nature of the embedded population in the Rho Ophiuchi dark cloud-Mid-infrared observations //The Astrophysical Journal. – 1984. – Vol. 287. – P. 610-621.
- 114 Andre P., Ward-Thompson D., Barsony M. Submillimeter continuum observations of Rho Ophiuchi A-The candidate protostar VLA 1623 and prestellar clumps //The Astrophysical Journal. – 1993. – Vol. 406. – P. 122-141.
- 115 Bachiller R., Gómez-González J. Bipolar molecular outflows //The Astronomy and Astrophysics Review. – 1992. – Vol. 3, № 3-4. – P. 257-287.
- 116 Curtis E.I., Richer J.S., Swift J.J., Williams J.P. A submillimetre survey of the kinematics of the Perseus molecular cloud–II. Molecular outflows //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2010. – Vol. 408, № 3. – P. 1516-1539.
- 117 Churchwell E. Ultra-compact HII regions and massive star formation //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2002. – Vol. 40, № 1. – P. 27-62.
- 118 Zinnecker H., Yorke H.W. Toward understanding massive star formation //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2007. – Vol. 45, № 1. – P. 481-563.
- 119 Wu Y., Yang C., Li Y., Lei C., Sun J., Jing L.Ü., Han F. High-velocity molecular outflows near massive young stellar objects //Science in China Series A: Mathematics. – 1999. – Vol. 42, № 7. – P. 732-738.
- 120 Urquhart J.S., Morgan L.K., Figura C.C., Moore T.J.T., Lumsden S.L., Hoare M.G., Oudmaijer R.D., Mottram J.C., Davies B., Dunham M.K. The Red MSX Source survey: ammonia and water maser analysis of massive star-forming regions //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2011. – Vol. 418, № 3. – P. 1689-1706.
- 121 Urquhart J.S., Moore T.J.T., Menten K.M., König C., Wyrowski F., Thompson M.A., Csengeri T., Leurini S., Eden D.J. The almost ubiquitous association of 6.7-GHz methanol masers with dust //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Vol. 446, № 4. – P. 3461-3477.

122 Caswell J.L. The Methanol Multibeam Survey: a unique window on high-mass star formation in our Galaxy //Proceedings of the International Astronomical Union. – 2012. – Vol. 8, № S292. – P. 79-82.

123 Codella C., Lorenzani A., Gallego A.T., Cesaroni R., Moscadelli L. The association between masers and outflows in massive star forming regions //Astronomy & Astrophysics. – 2004. – Vol. 417, № 2. – P. 615-624.

124 König C., Urquhart J.S., Csengeri T., Leurini S., Wyrowski F., Giannetti A., Wienen M., Pillai T., Kauffmann J., Menten K.M., Schuller F. ATLASGAL-selected massive clumps in the inner Galaxy-III. Dust continuum characterization of an evolutionary sample //Astronomy & Astrophysics. – 2017. – Vol. 599. – P. A139.

125 Urquhart J.S., König C., Giannetti A., Leurini S., Moore T.J.T., Eden D.J., Pillai T., Thompson M.A., Braiding C., Burton M.G., Csengeri T., Dempsey J.T., Figura C., Froebrich D., Menten K. M., Schuller F., Smith M.D., Wyrowski F. ATLASGAL-properties of a complete sample of Galactic clumps //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2018. – Vol. 473, № 1. – P. 1059-1102.

126 Traficante A., Fuller G.A., Billot N., Duarte-Cabral A., Merello M., Molinari S., Peretto N., Schisano E. Massive 70 μm quiet clumps I: evidence of embedded low/intermediate-mass star formation activity //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017. – Vol. 470, № 4. – P. 3882-3923.

127 Bjerkeli P., Liseau R., Nisini B., Tafalla M., Bergman P., Melnick G., Rydbeck G. Physical properties of outflows-Comparing CO-and H₂O-based parameters in Class 0 sources //Astronomy & Astrophysics. – 2013. – Vol. 552. – P. L8.

128 Zhang Q., Hunter T.R., Brand J., Sridharan T.K., Cesaroni R., Molinari S., Wang J., Kramer M. Search for CO outflows toward a sample of 69 high-mass protostellar candidates. II. Outflow properties //The Astrophysical Journal. – 2005. – Vol. 625, № 2. – P. 864.

129 de Villiers H.M., Chrysostomou A., Thompson M.A., Urquhart J.S., Breen S.L., Burton M.G., Ellingsen S.P., Fuller G.A., Pestalozzi M., Voronkov M.A., Ward-Thompson D. 6.7-GHz methanol maser associated outflows: an evolutionary sequence //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Vol. 449, № 1. – P. 119-128.

130 López-Sepulcre A., Codella C., Cesaroni R., Marcelino N., Walmsley C.M. Molecular outflows towards O-type young stellar objects //Astronomy & Astrophysics. – 2009. – Vol. 499, № 3. – P. 811-825.

131 Matsushita Y., Machida M.N., Sakurai Y., Hosokawa T. Massive outflows driven by magnetic effects in star-forming clouds with high mass accretion rates //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017. – Vol. 470, № 1. – P. 1026-1049.

132 Yang A.Y., Thompson M.A., Urquhart, J.S., Tian, W.W. Massive outflows associated with ATLASGAL clumps //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2018. – Vol. 235, № 1. – P. 3.

133 Shepherd D.S., Churchwell E. High-velocity molecular gas from high-mass star formation regions //The Astrophysical Journal. – 1996. – Vol. 457. – P. 267.

- 134 Cabrit S., Bertout C. CO line formation in bipolar flows. III-The energetics of molecular flows and ionized winds //Astronomy and Astrophysics. – 1992. – Vol. 261. – P. 274-284.
- 135 Cabrit S., Bertout C. CO line formation in bipolar flows. II-Decelerated outflow case and summary of results //The Astrophysical Journal. – 1990. – Vol. 348. – P. 530-541.
- 136 van der Marel N., Kristensen L.E., Visser R., Mottram J.C., Yıldız U.A., van Dishoeck E.F. Outflow forces of low-mass embedded objects in Ophiuchus: a quantitative comparison of analysis methods //Astronomy & Astrophysics. – 2013. – Vol. 556. – P. A76.
- 137 Sridharan T.K., Beuther H., Schilke P., Menten K.M., Wyrowski F. High-mass protostellar candidates. I. The sample and initial results //The Astrophysical Journal. – 2002. – Vol. 566, № 2. – P. 931.
- 138 Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks //Communications of the ACM. – 2017. – Vol. 60, № 6. – P. 84-90.
- 139 Glorot X., Bengio Y. Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks //Proceedings of the thirteenth international conference on artificial intelligence and statistics. – Sardinia, 2010. – P. 249-256.
- 140 Nair V., Hinton G.E. Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines //Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning. – Haifa, 2010. – P. 807-814.
- 141 Kingma D.P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization //3rd International Conference for Learning Representations. – San Diego, 2015.
- 142 Bailer-Jones C.A.L., Irwin M., Von Hippel T. Automated classification of stellar spectra—II. Two-dimensional classification with neural networks and principal components analysis //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1998. – Vol. 298, № 2. – P. 361-377.
- 143 Gulati R.K., Gupta R., Gothoskar P., Khobragade S. Stellar spectral classification using automated schemes //The Astrophysical Journal. – 1994. – Vol. 426. – P. 340-344.
- 144 Bertin E., Arnouts S. SExtractor: Software for source extraction //Astronomy and Astrophysics Supplement Series. – 1996. – Vol. 117, № 2. – P. 393-404.
- 145 Sun C., Shrivastava A., Singh S., Gupta, A. Revisiting unreasonable effectiveness of data in deep learning era //Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – Venice, 2017. – P. 843-852.
- 146 Lanusse F., Ravanbakhsh S., Mandelbaum R., Schneider J., Poczos B. Deep Generative Models of Galaxy Images for the Calibration of the Next Generation of Weak Lensing Surveys //AAS. – 2017. – Vol. 229. – P. 342.05.
- 147 Jacobs C., Glazebrook K., Collett T., More A., McCarthy C. Finding strong lenses in CFHTLS using convolutional neural networks //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017. – Vol. 471, № 1. – P. 167-181.
- 148 Petrillo C.E., Tortora C., Chatterjee S., Vernardos G., Koopmans L.V.E., Verdoes Kleijn G., Napolitano N.R., Covone G., Kelvin L.S., Hopkins A.M. Testing

convolutional neural networks for finding strong gravitational lenses in KiDS //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2019. – Vol. 482, № 1. – P. 807-820.

149 Pourrahmani M., Nayyeri H., Cooray A. LensFlow: A convolutional neural network in search of strong gravitational lenses //The Astrophysical Journal. – 2018. – Vol. 856, № 1. – P. 68.

150 Schaefer C., Geiger M., Kuntzer T., Kneib J.P. Deep convolutional neural networks as strong gravitational lens detectors //Astronomy & Astrophysics. – 2018. – Vol. 611. – P. A2.

151 Hezaveh Y.D., Levasseur L.P., Marshall P.J. Fast automated analysis of strong gravitational lenses with convolutional neural networks //Nature. – 2017. – Vol. 548, № 7669. – P. 555-557.

152 Levasseur L.P., Hezaveh Y.D., Wechsler R.H. Uncertainties in parameters estimated with neural networks: Application to strong gravitational lensing //The Astrophysical Journal Letters. – 2017. – Vol. 850, № 1. – P. L7.

153 Morningstar W.R., Hezaveh Y.D., Levasseur L.P., Blandford R.D., Marshall P.J., Putzky P., Wechsler R.H. Analyzing interferometric observations of strong gravitational lenses with recurrent and convolutional neural networks //arXiv preprint arXiv:1808.00011. – 2018.

154 Morningstar W.R., Levasseur P.L., Hezaveh Y.D., Blandford R., Marshall P., Putzky P., Rueter T.D., Wechsler R., Welling M. Data-driven reconstruction of gravitationally lensed galaxies using recurrent inference machines //The Astrophysical Journal. – 2019. – Vol. 883, № 1. – P. 14.

155 Debosscher J., Sarro L.M., Aerts C., Cuypers J., Vandebussche B., Garrido R., Solano E. Automated supervised classification of variable stars-I. Methodology //Astronomy & astrophysics. – 2007. – Vol. 475, № 3. – P. 1159-1183.

156 Dubath P., Rimoldini L., Süveges M., Blomme J., López M., Sarro L.M., De Ridder J., Cuypers J., Guy L., Lecoœur I., Nienartowicz K., Jan A., Beck M., Mowlavi N., De Cat P., Lebzelter T., Eyer L. Random forest automated supervised classification of Hipparcos periodic variable stars //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2011. – Vol. 414, № 3. – P. 2602-2617.

157 Richards J.W., Starr D.L., Miller A.A., Bloom J.S., Butler N.R., Brink H., Crellin-Quick A. Construction of a calibrated probabilistic classification catalog: application to 50k variable sources in the all-sky automated survey //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2012. – Vol. 203, № 2. – P. 32.

158 Miller A.A., Bloom J.S., Richards J.W., Lee Y.S., Starr D.L., Butler N.R., Tokarz S., Smith N., Eisner J.A. A machine-learning method to infer fundamental stellar parameters from photometric light curves //The Astrophysical Journal. – 2015. – Vol. 798, № 2. – P. 122.

159 Fabbro S., Venn K.A., O'Briain T., Bialek S., Kielty C.L., Jahandar F., Monty S. An application of deep learning in the analysis of stellar spectra //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2018. – Vol. 475, № 3. – P. 2978-2993.

160 Gilda S. Ge J. Parameterization of MARVELS Spectra Using Deep Learning //AAS. – 2018. – Vol. 231. – P. 349.02.

- 161 Parks D., Prochaska J.X., Dong S., Cai Z. Deep learning of quasar spectra to discover and characterize damped Ly α systems //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2018. – Vol. 476, № 1. – P. 1151-1168.
- 162 Kielty C., Bialek S., Fabbro S., Venn K., O'Briain T., Jahandar F., Monty S. StarNet: An application of deep learning in the analysis of stellar spectra //AAS. – 2018. – Vol. 232. – P. 223.09.
- 163 Leung H.W., Bovy J. Deep learning of multi-element abundances from high-resolution spectroscopic data //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2019. – Vol. 483, № 3. – P. 3255-3277.
- 164 Zhang X., Zhao G., Yang C.Q., Wang Q.X., Zuo W.B. 938,720 Giants from LAMOST I: Determination of Stellar Parameters and α , C, N Abundances with Deep Learning //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 2019. – Vol. 131, № 1003. – P. 094202.
- 165 MacLeod A., Lee K., Carroll P., McCarthy M. Automated Classification of cm and mm Wavelength Spectra with Deep Neural Networks //AAS. – 2020. – Vol. 52, № 1. – P. 169.04.
- 166 Merényi E., Taylor J., Isella A. Deep data: discovery and visualization application to hyperspectral ALMA imagery //Proceedings of the International Astronomical Union. – 2016. – Vol. 12, № S325. – P. 281-290.
- 167 Elmegreen B.G. Triggered Star Formation //EAS Publications Series. – 2011. – Vol. 51. – P. 45-58.
- 168 Thompson M.A., Urquhart J.S.; Moore T.J.T.; Morgan L.K. The statistics of triggered star formation: an overdensity of massive young stellar objects around Spitzer bubbles //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2012. – Vol. 421, № 1. – P. 408-418.
- 169 Beaumont C.N., Goodman A.A., Kendrew S., Williams J.P., Simpson R. The Milky Way Project: leveraging citizen science and machine learning to detect interstellar bubbles //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2014. – Vol. 214, № 1. – P. 3.
- 170 Xu D., Offner S.S.R. Assessing the performance of a machine learning algorithm in identifying bubbles in dust emission //The Astrophysical Journal. – 2017. – Vol. 851, № 2. – P. 149.
- 171 Arce H.G., Borkin M.A., Goodman A.A., Pineda J.E., Beaumont C.N. A bubbling nearby molecular cloud: COMPLETE shells in Perseus //The Astrophysical Journal. – 2011. – Vol. 742, № 2. – P. 105.
- 172 Marton G., Abraham P., Szegedi-Elek E., Varga J., Kun M., Kóspál Á., Varga-Verebélyi E., Hodgkin S., Szabados L., Beck R., Kiss C. Identification of Young Stellar Object candidates in the Gaia DR2 x AllWISE catalogue with machine learning methods //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2019. – Vol. 487, № 2. – P. 2522-2537.
- 173 Melton E. A Random Forest Approach to Identifying Young Stellar Object Candidates in the Lupus Star-forming Region //The Astronomical Journal. – 2020. – Vol. 159, № 5. – P. 200.
- 174 Zhang S., Yang J., Xu Y., Chen X., Su Y., Sun Y., Zhou X., Li Y., Lu D. Searching for Molecular Outflows with Support Vector Machines: The Dark Cloud

Complex in Cygnus //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2020. – Vol. 248, № 1. – P. 15.

175 Xu D., Offner S.S., Gutermuth R., Van Oort C. Application of Convolutional Neural Networks to Identify Stellar Feedback Bubbles in CO Emission //The Astrophysical Journal. – 2020. – Vol. 890, № 1. – P. 64.

176 Xu D., Offner S.S., Gutermuth R., Van Oort C. Application of Convolutional Neural Networks to Identify Protostellar Outflows in CO Emission //arXiv preprint arXiv:2010.12525. – 2020.

177 Qiu K., Zhang Q., Wu J., Chen H.R. Submillimeter array observations of the molecular outflow in high-mass star-forming region G240. 31+ 0.07 //The Astrophysical Journal. – 2009. – Vol. 696, № 1. – P. 66.

178 Cantó J., Raga A.C. Mixing layers in stellar outflows //The Astrophysical Journal. – 1991. – Vol. 372. – P. 646-658.

179 Chernin L.M., Masson C.R. Momentum Distribution in Molecular Outflows //The Astrophysical Journal. – 1995. – Vol. 455. – P. 182.

180 Li Z.Y., Shu F.H. Interaction of wide-angle MHD winds with flared disks //The Astrophysical Journal. – 1996. – Vol. 468. – P. 261.

181 Lery T., Frank A., Henriksen R.N., Fiege J.D. Protostellar Bipolar Outflows and Propagation of MHD Jets //Proceedings of Star Formation. – Nagoya: 1999. – P. 291-292.

182 Wu Y., Zhang Q., Chen H., Yang C., Wei Y., Ho, P.T.P. CO J= 2-1 maps of bipolar outflows in massive star-forming regions //The Astronomical Journal. – 2005. – Vol. 129, № 1. – P. 330.

183 Urquhart J.S., Csengeri T., Wyrowski F., Schuller F., Bontemps S., Bronfman L., Menten K.M., Walmsley C.M., Contreras Y., Beuther H., Wienen M., Linz H. ATLASGAL–Complete compact source catalogue: $280^\circ < \ell < 60^\circ$ //Astronomy & Astrophysics. – 2014. – Vol. 568. – P. A41.

184 Banerjee R., Pudritz R.E. Outflows and jets from collapsing magnetized cloud cores //The Astrophysical Journal. – 2006. – Vol. 641, № 2. – P. 949.

185 Garden R.P., Hayashi M., Gatley I., Hasegawa T., Kaifu N. A spectroscopic study of the DR 21 outflow source. III-The CO line emission //The Astrophysical Journal. – 1991. – Vol. 374. – P. 540-554.

186 Ginsburg A., Bally J., Williams J.P. JCMT HARP CO 3–2 observations of molecular outflows in W5 //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2011. – Vol. 418, № 4. – P. 2121-2144.

187 Brunt C.M. The density variance–Mach number relation in the Taurus molecular cloud //Astronomy & Astrophysics. – 2010. – Vol. 513. – P. A67.

188 König C., Urquhart J.S., Csengeri T., Leurini S., Wyrowski F., Giannetti A., Wienen M., Pillai T., Kauffmann J., Menten K.M., Schuller F. ATLASGAL-selected massive clumps in the inner Galaxy-III. Dust continuum characterization of an evolutionary sample //Astronomy & Astrophysics. – 2017. – Vol. 599. – P. A139.

189 Kalcheva I.E., Hoare M.G., Urquhart J.S., Kurtz S., Lumsden S.L., Purcell C.R., Zijlstra A.A. The coordinated radio and infrared survey for high-mass star formation-III. A catalogue of northern ultra-compact H II regions //Astronomy & Astrophysics. – 2018. – Vol. 615. – P. A103.

190 Sánchez-Monge Á., López-Sepulcre A., Cesaroni R., Walmsley C.M., Codella C., Beltrán M.T., Pestalozzi M., Molinari S. Evolution and excitation conditions of outflows in high-mass star-forming regions // *Astronomy & Astrophysics*. – 2013. – Vol. 557. – P. A94.

191 Peters T., Klaassen P.D., Mac Low M.M., Schrön M., Federrath C., Smith M.D., Klessen R.S. Collective outflow from a small multiple stellar system // *The Astrophysical Journal*. – 2014. – Vol. 788, № 1. – P. 14.

192 Goddi C., Ginsburg A., Maud L.T., Zhang Q., Zapata L.A. Multidirectional Mass Accretion and Collimated Outflows on Scales of 100–2000 au in Early Stages of High-mass Protostars // *The Astrophysical Journal*. – 2020. – Vol. 905, № 1. – P. 25.

193 Moscadelli L., Sánchez-Monge Á., Goddi C., Li J.J., Sanna A., Cesaroni R., Pestalozzi M., Molinari S., Reid M.J. Outflow structure within 1000 au of high-mass YSOs-I. First results from a combined study of maser and radio continuum emission // *Astronomy & Astrophysics*. – 2016. – Vol. 585. – P. A71.

194 Reipurth B. Disintegrating multiple systems in early stellar evolution // *The Astronomical Journal*. – 2000. – Vol. 120, № 6. – P. 3177.

195 Reipurth B., Mikkola S. Formation of the widest binary stars from dynamical unfolding of triple systems // *Nature*. – 2012. – Vol. 492, № 7428. – P. 221-224.

196 Li Q., Zhou J., Esimbek J., He Y., Baan W.A., Li D., Wu G., Tang X., Ji W., Zhexeray D. High-mass Outflows Identified from COHRS CO (3–2) Survey // *The Astrophysical Journal*. – 2018. – Vol. 867, № 2. – P. 167.

197 Smiljanic R., Korn A.J., Bergemann M., Frasca A., Magrini L., Masseron T., Pancino E., Ruchti G., San Roman I., Sbordone L., Sousa S.G., Tabernero H., Tautvaišienė G., Valentini M., Weber M., Worley C.C., Adibekyan V.Zh., Allende Prieto C., Barisevičius G., Biazzo K., Blanco-Cuaresma S., Bonifacio P., Bragaglia A., Caffau E., Cantat-Gaudin T., Chorniy Y., de Laverny P., Delgado-Mena E., Donati P., Duffau S., Franciosini E., Friel E., Geisler D., González Hernández J.I., Gruyters P., Guiglion G., Hansen C.J., Heiter U., Hill V., Jacobson H.R., Jofre P., Jönsson H., Lanzafame A.C., Lardo C., Ludwig H.-G., Maiorca E., Mikolaitis Š., Montes D., Morel T., Mucciarelli A., Muñoz C., Nordlander T., Pasquini L., Puzeras E., Recio-Blanco A., Ryde N., Sacco G., Santos N.C., Serenelli A.M., Sordo R., Soubiran C., Spina L., Steffen M., Vallenari A., Van Eck S., Villanova S., Gilmore G., Randich S., Asplund M., Binney J., Drew J., Feltzing S., Ferguson A., Jeffries R., Micela G., Negueruela I., Prusti T., Rix H.-W., Alfaro E., Babusiaux C., Bensby T., Blomme R., Flaccomio E., François P., Irwin M., Koposov S., Walton N., Bayo A., Carraro G., Costado M.T., Damiani F., Edvardsson B., Hourihane A., Jackson R., Lewis J., Lind K., Marconi G., Martayan C., Monaco L., Morbidelli L., Prisinzano L., Zaggia S. The Gaia-ESO Survey: The analysis of high-resolution UVES spectra of FGK-type stars // *Astronomy & Astrophysics*. – 2014. – Vol. 570. – P. A122.

198 Yang T., Li X. An autoencoder of stellar spectra and its application in automatically estimating atmospheric parameters // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2015. – Vol. 452, № 1. – P. 158-168.

199 Ness M., Hogg D.W., Rix H.W., Ho A.Y., Zasowski G. The Cannon: A data-driven approach to stellar label determination //The Astrophysical Journal. – 2015. – Vol. 808, № 1. – P. 16.

200 Kuntzer T., Tewes M., Courbin F. Stellar classification from single-band imaging using machine learning //Astronomy & Astrophysics. – 2016. – Vol. 591. – P. A54.

201 Sharma K., Kembhavi A., Kembhavi A., Sivarani T., Abraham S., Vaghmare K. Application of convolutional neural networks for stellar spectral classification //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2020. – Vol. 491, № 2. – P. 2280-2300.

202 Sagatbayeva A.A., Aitu B., Kanishuly I., Zhexebay D. Deep neural networks for object detection //Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», 2019. – С. 283.

203 Жексебай Д.М., Хохлов С.А., Әсілхан Ә.Д., Хохлов А.А. Машиналық оқытудың (machine learning) көмегімен молекулалық бұлттарды және жұлдыздардың қалыптасуын жіктеу // Вестник КазНУ. – 2020. – Т. 139, № 3. – С. 142-149.

204 Bai Y., Liu J., Wang S., Yang F. Machine Learning Applied to Star-Galaxy-QSO Classification and Stellar Effective Temperature Regression //The Astronomical Journal. – 2018. – Vol. 157, № 1. – P. 9.

205 Bai Y., Liu J., Bai Z., Wang S., Fan D. Machine-learning Regression of Stellar Effective Temperatures in the Second Gaia Data Release //The Astronomical Journal. – 2019. – Vol. 158, № 2. – P. 93.

206 Zhanabaev Z.Zh., Kozhagulov Y.T., Khokhlov S.A., Ibraimov M.K., Zhexebay D.M., Agishev A.T. Commercialization of Studies of Neural Network Integrated Circuits //«Қоғамдық сананы жаңғыртудағы жоғары оқу орнының рөлі: «Университет 4.0 моделіне көшу» атты 48-ші ғылыми-әдістемелік конференциясының материалдары, 2018. – Т. 18. – С. 216.

207 Жексебай Д.М., Сарманбетов С.А., Агишев А.Т. Биометрическая система на основе нейронных сетей для учета рабочего времени //Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», 2019. – С. 254.

208 Кожагулов Е.Т., Ибраимов М.К., Хохлов С.А., Жексебай Д.М., Сарманбетов С.А. Farabi Vision 1 – Тұлғаны сәйкестендіру арқылы жұмыс уақытын есепке алудың биометриялық жүйесі //Авторлық куәлік, 2019. № 1464.

209 Агишев А.Т., Хохлов С.А., Кожагулов Е.Т., Сарманбетов С.А., Жексебай Д.М., Ибраимов М.К. КІТС СТАТ – Келушілерді санау және видео-аналитика жүйесі //Авторлық куәлік, 2019. № 5461.

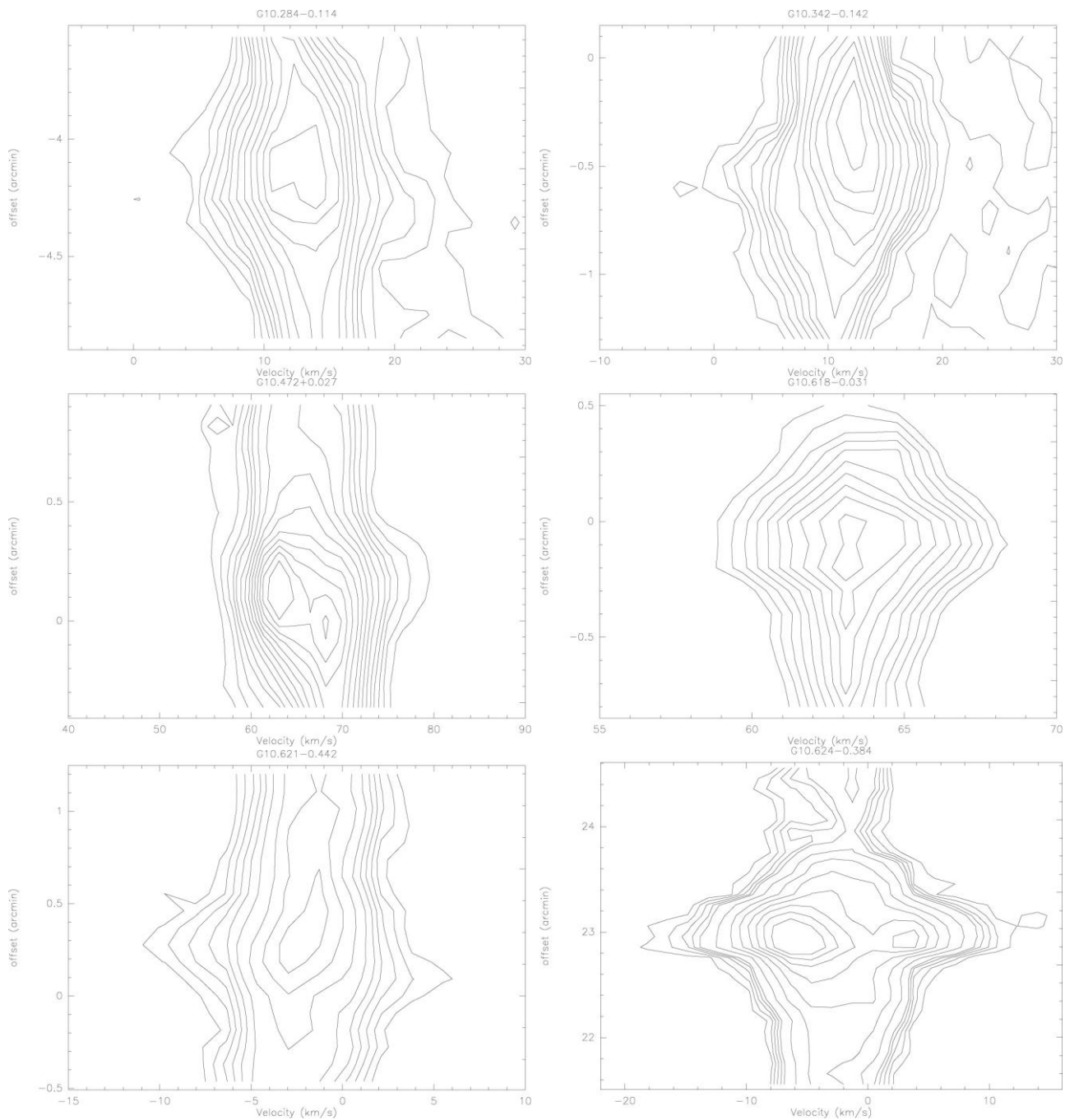
210 Жексебай Д.М., Хохлов С.А., Кожагулов Е.Т. Прогнозирования параметров и классификация молекулярного оттока с помощью сверточных нейронных сетей //Recent Contributions to Physics. – 2020. – Vol. 75, № 4. – С. 88-95.

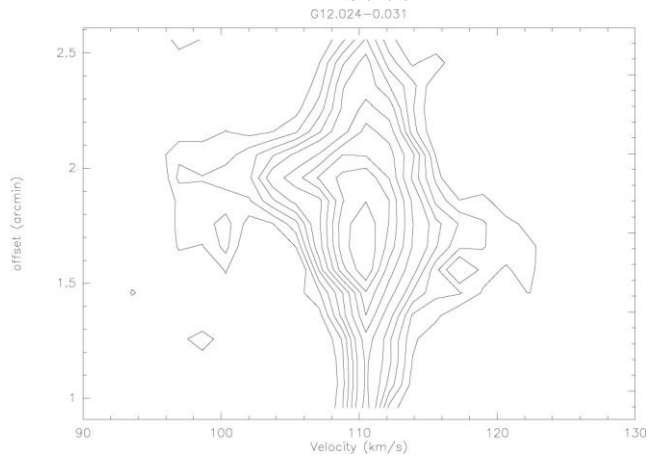
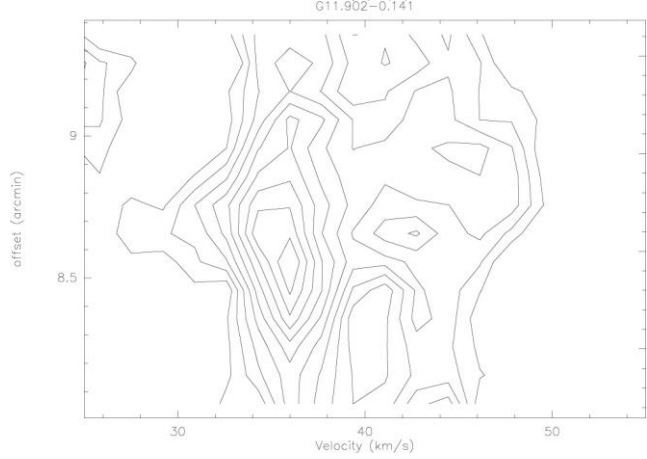
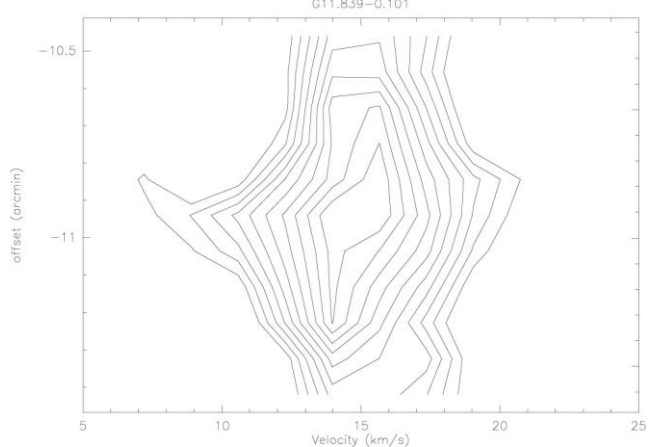
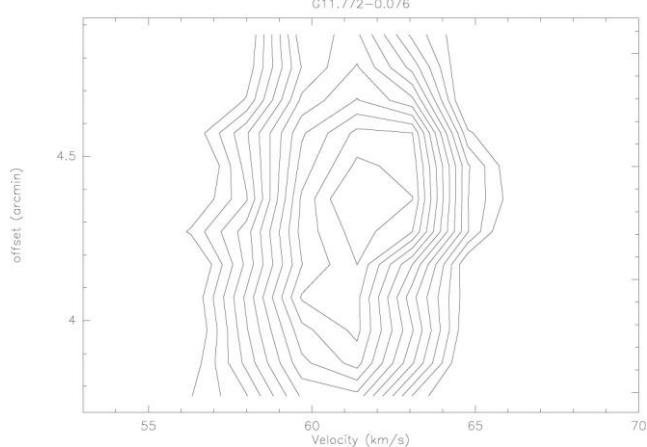
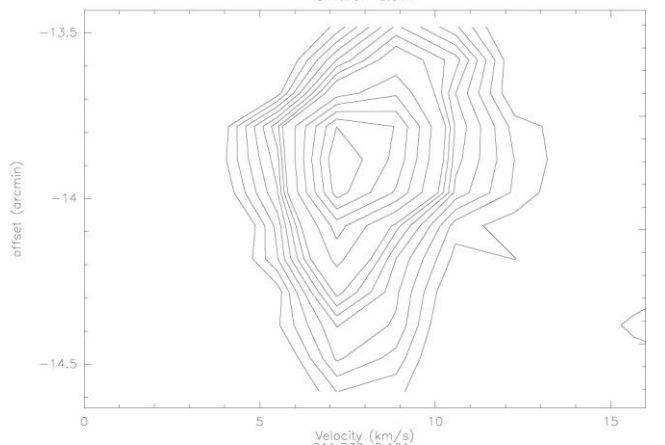
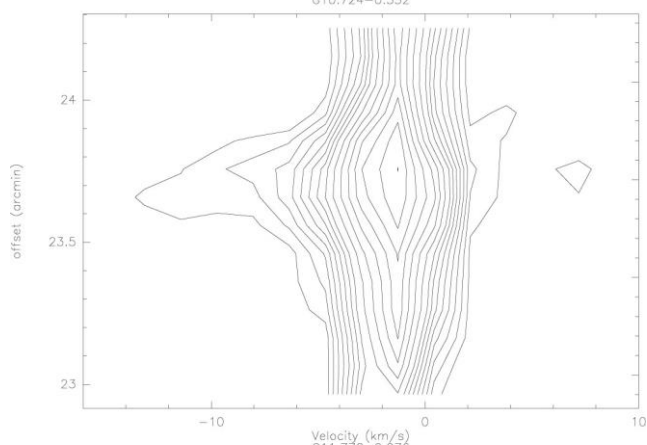
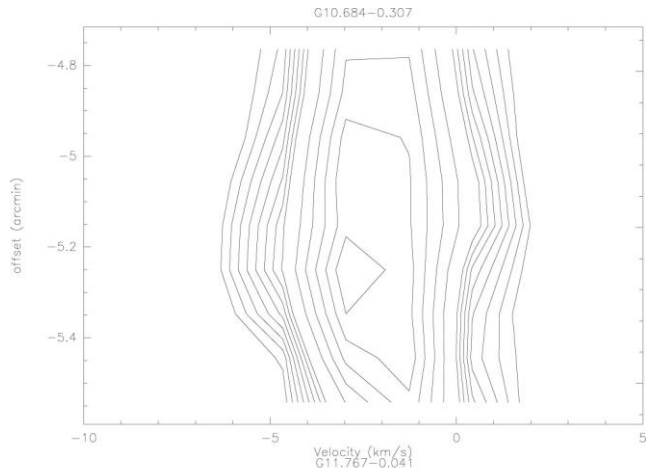
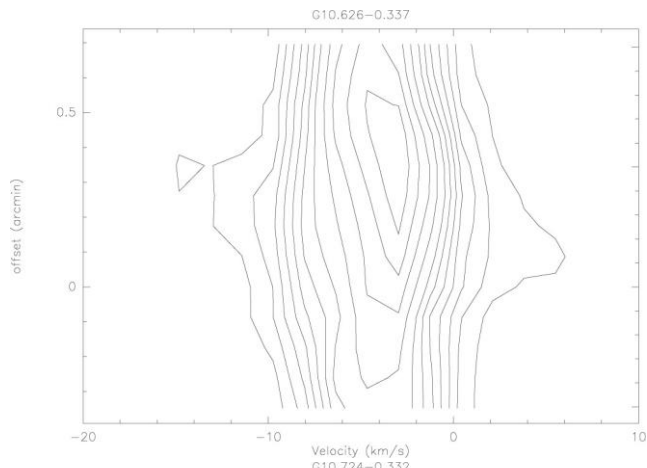
211 Kozhagulov Y.T., Zhexebay D.M., Sarmanbetov S.A., Sagatbayeva A.A., Zholdas D. Comparative analysis of object detection processing speed on the basis of

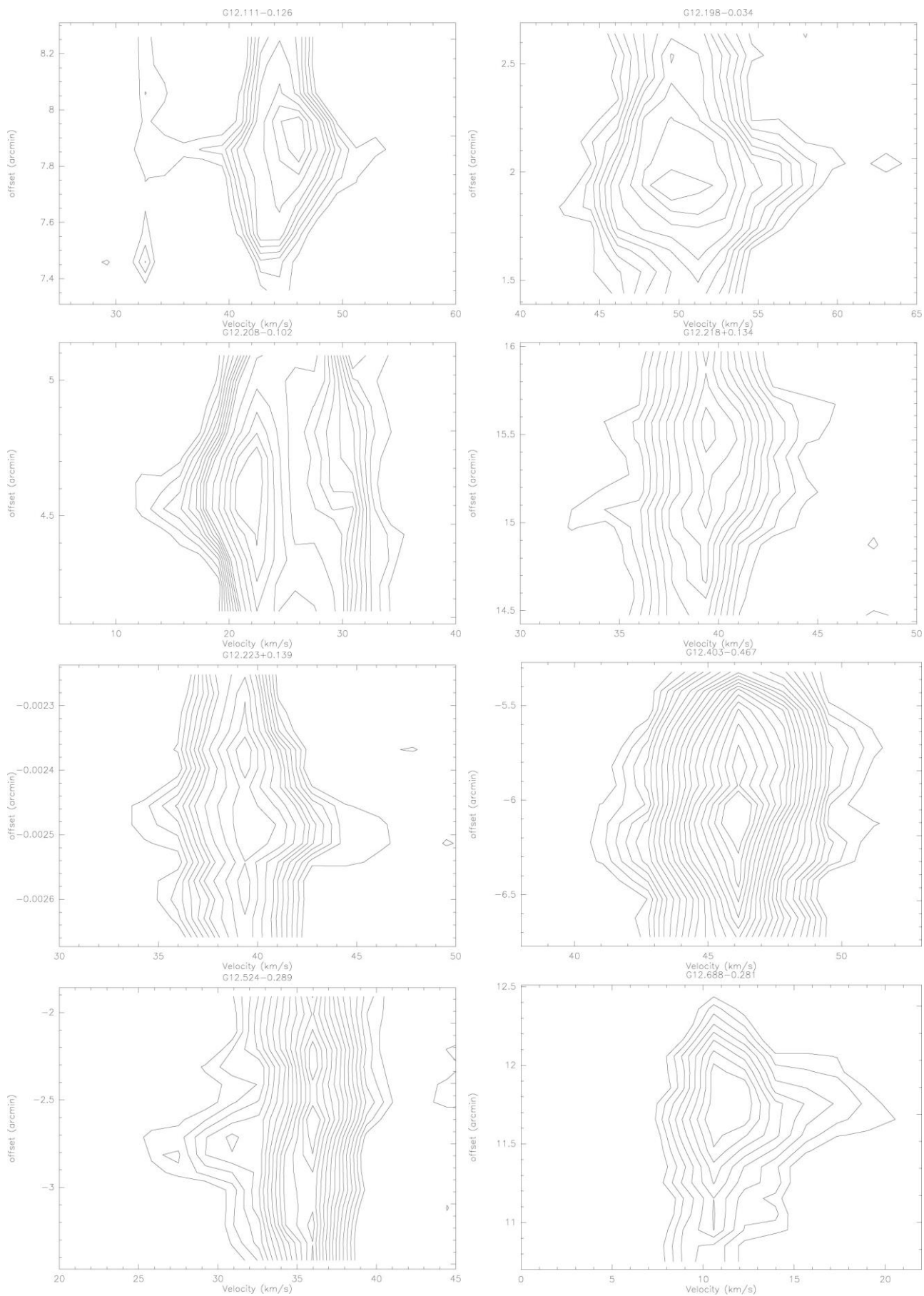
neuroprocessors and neuroaccelerators //Известия Национальной академии наук
Республики Казахстан. – 2020. – Vol. 332, № 4. – P. 61-67.

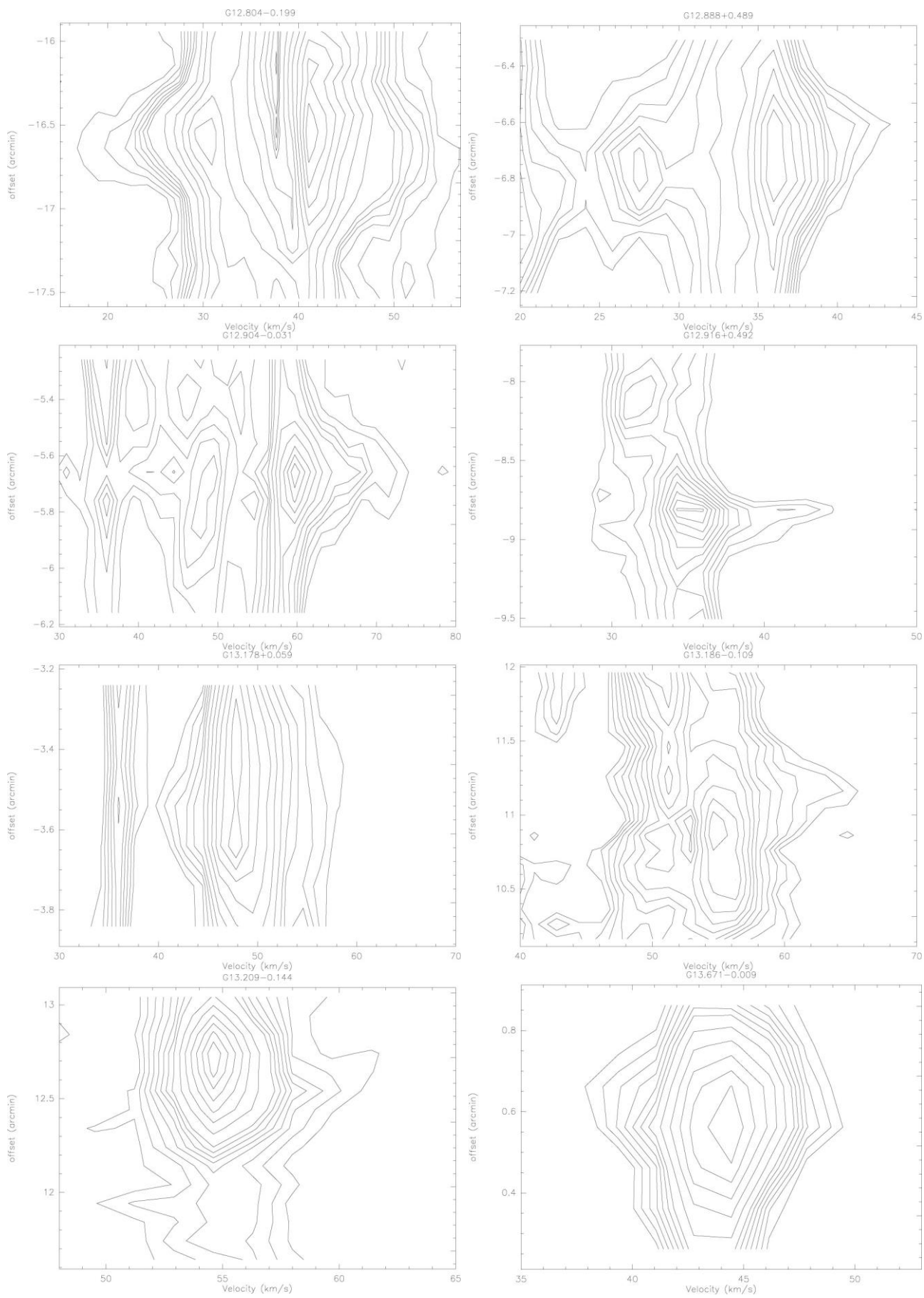
ҚОСЫМША А

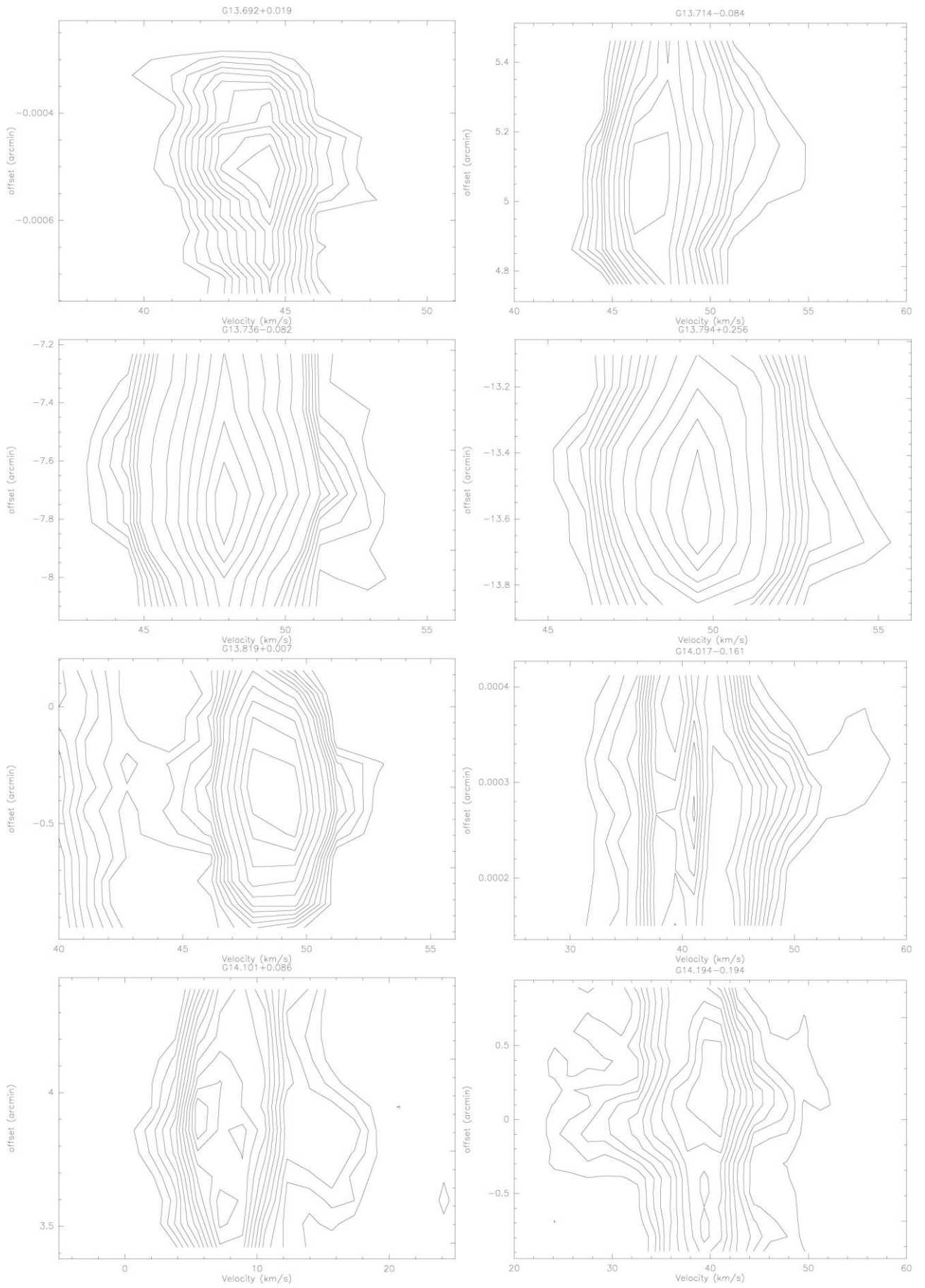
157 массасы үлкен сырт ағындардың PV диаграммалары

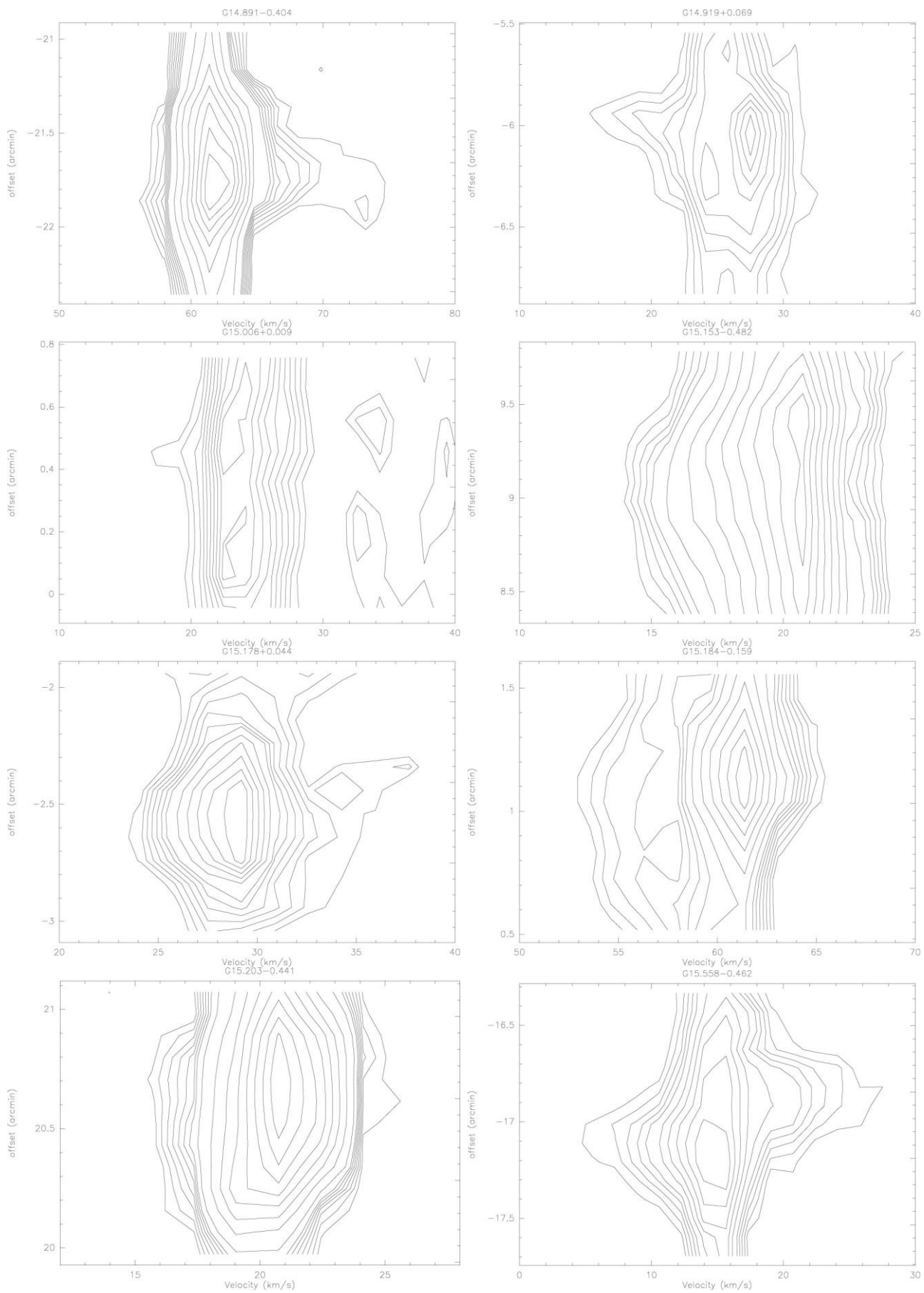


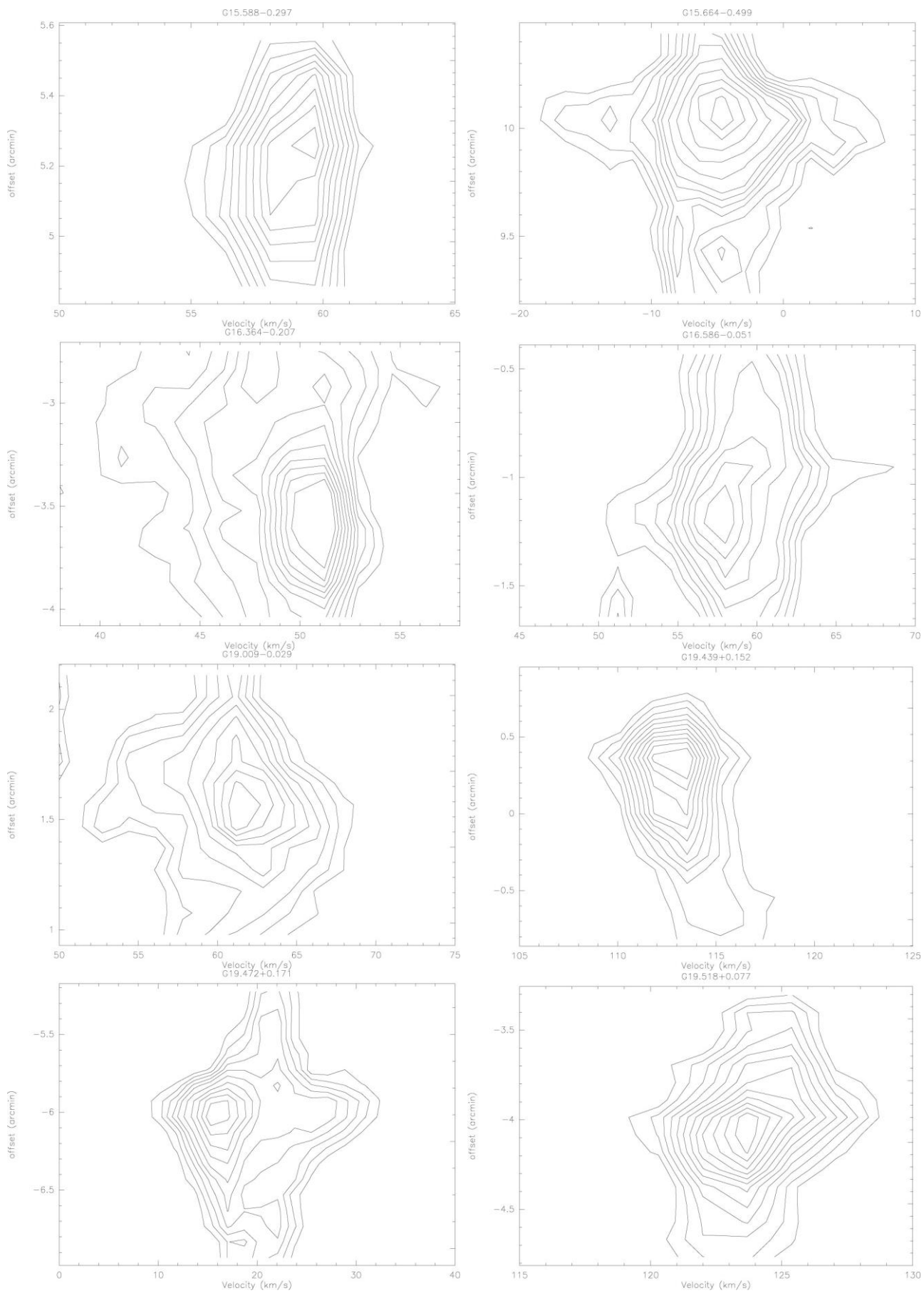


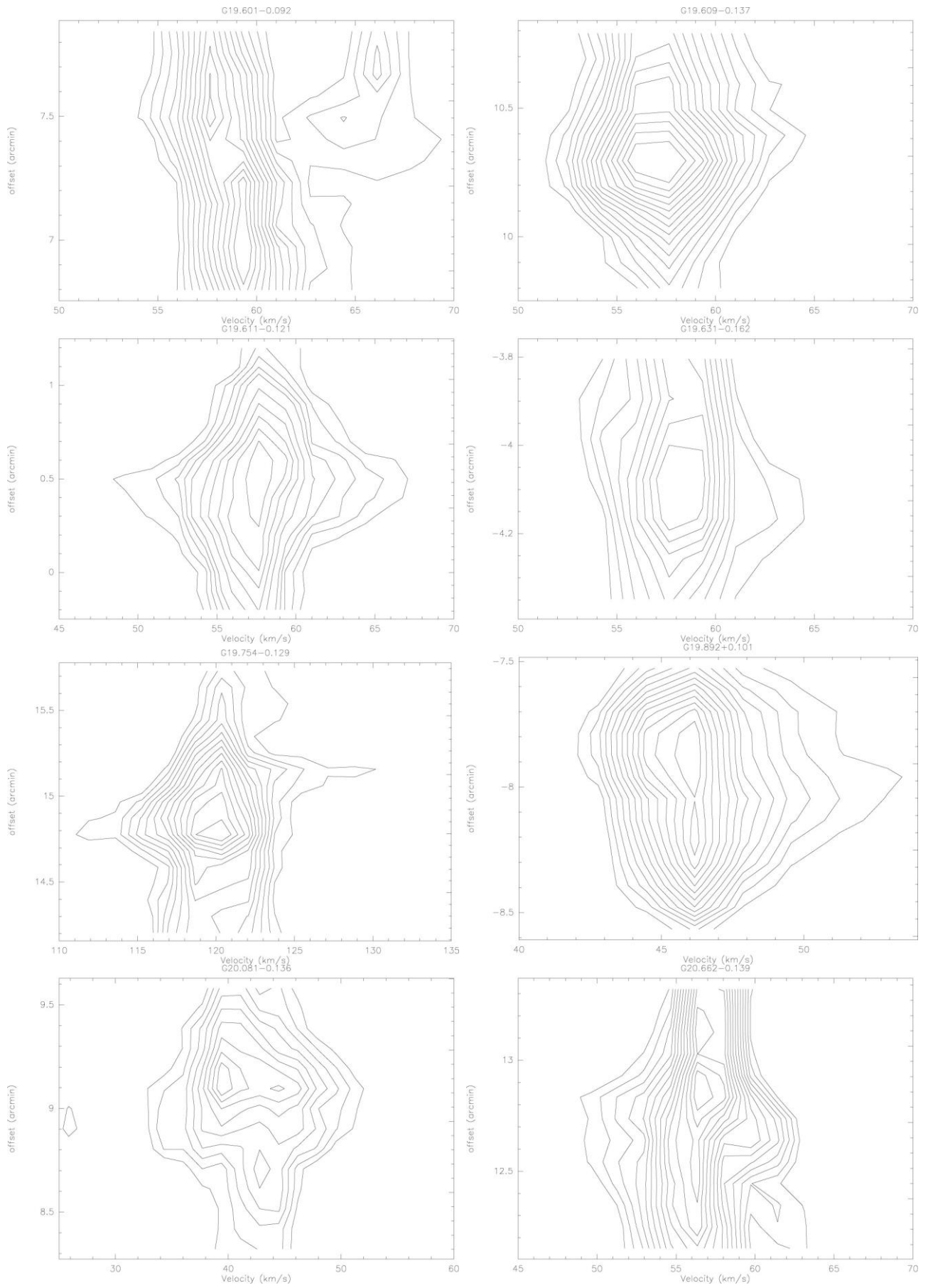


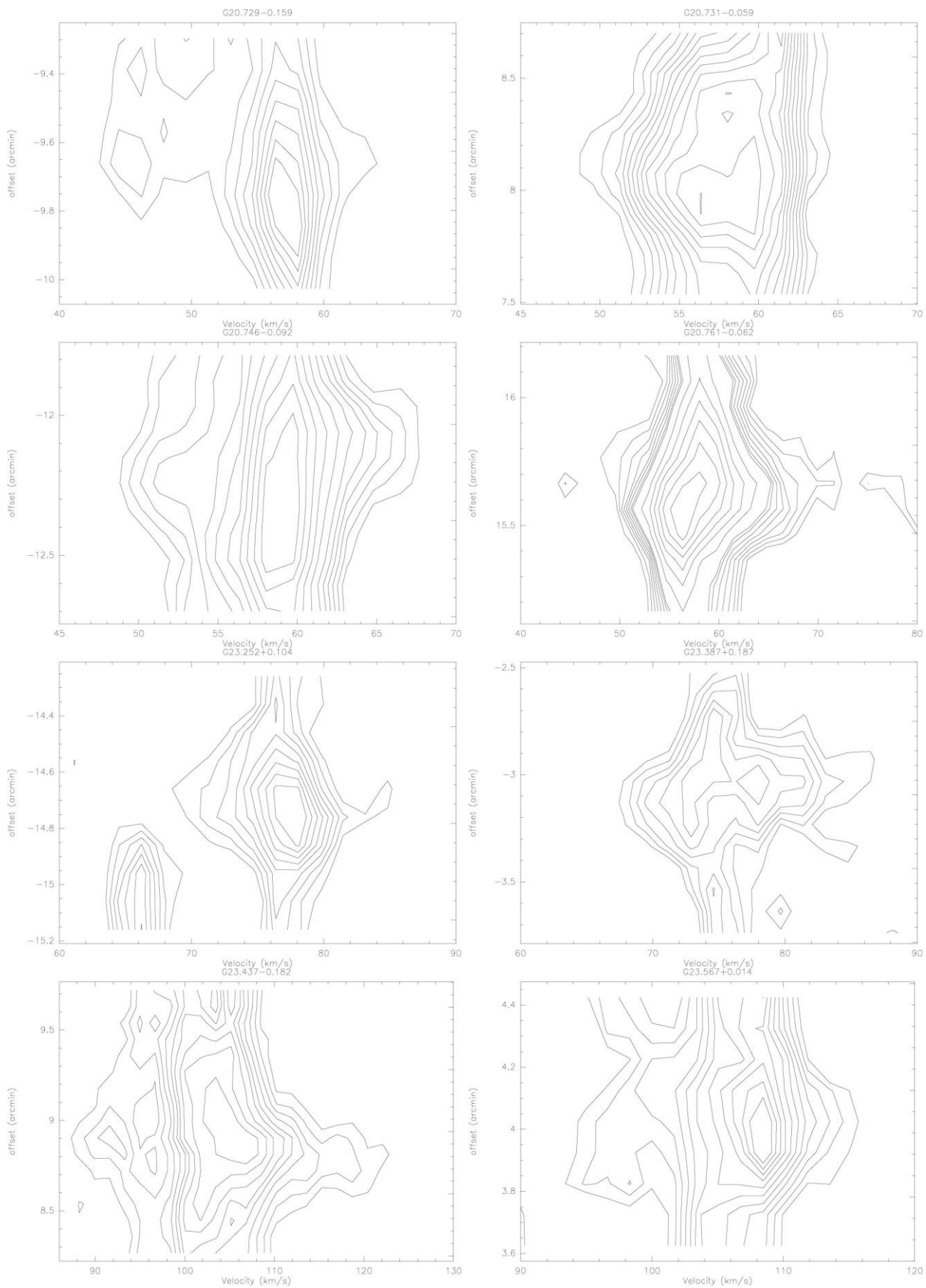


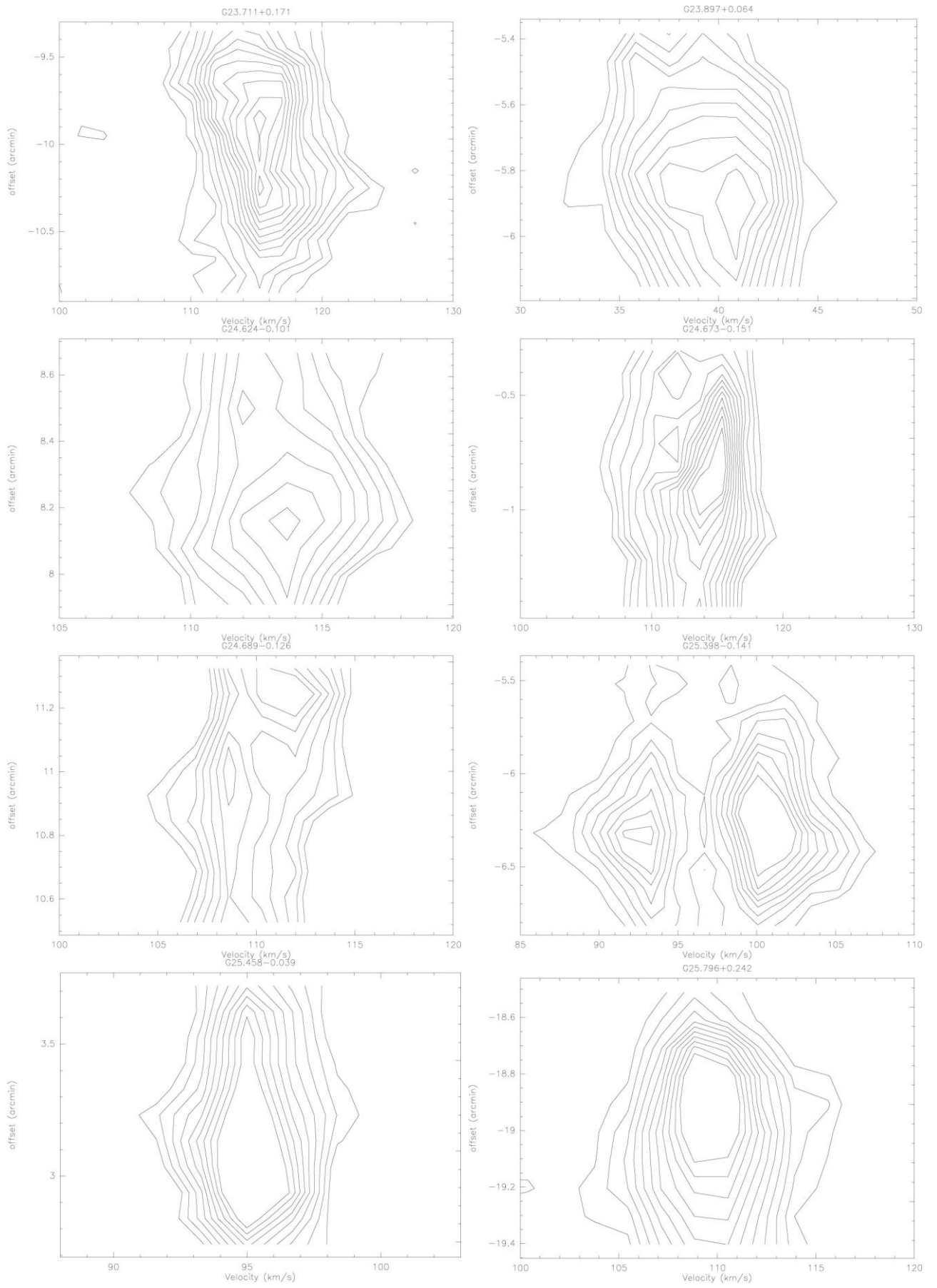


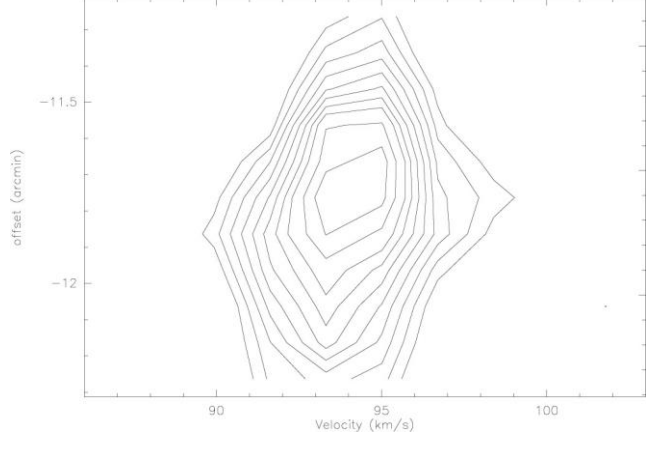
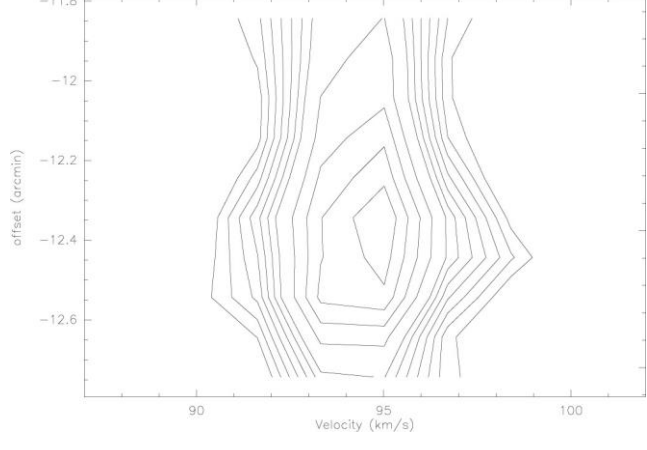
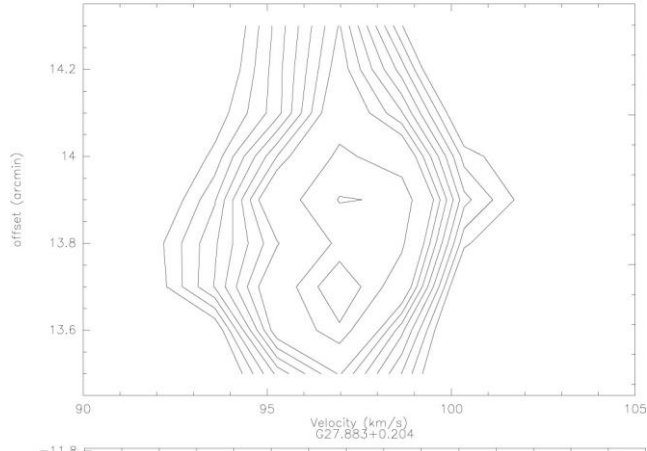
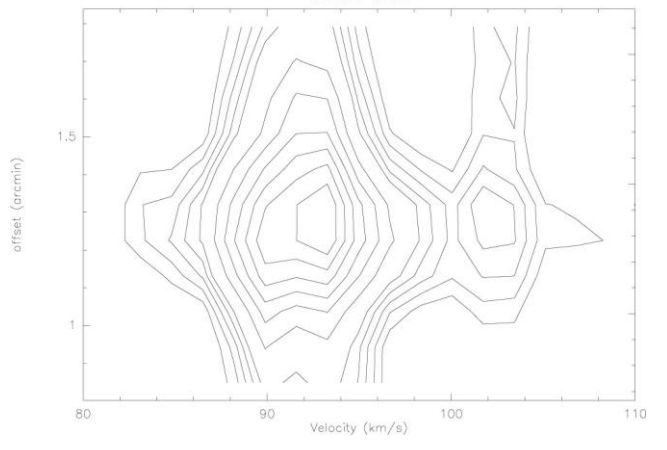
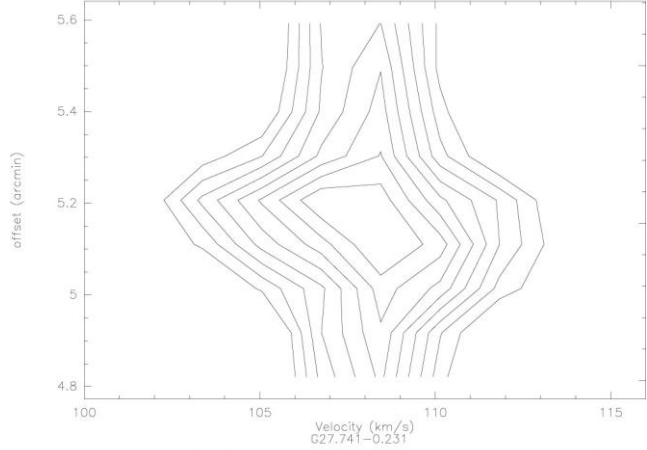
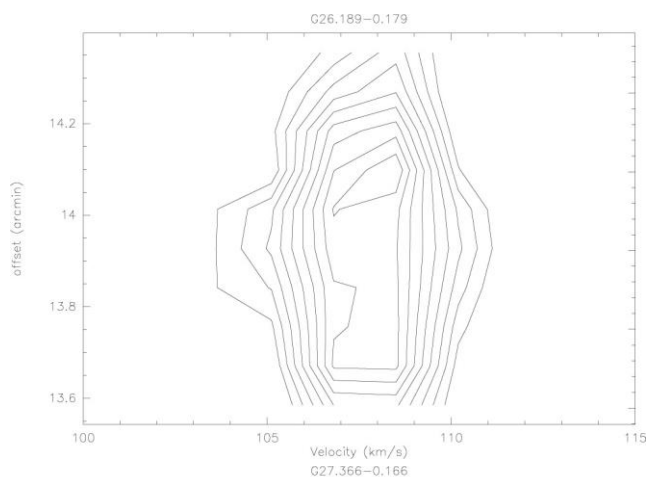
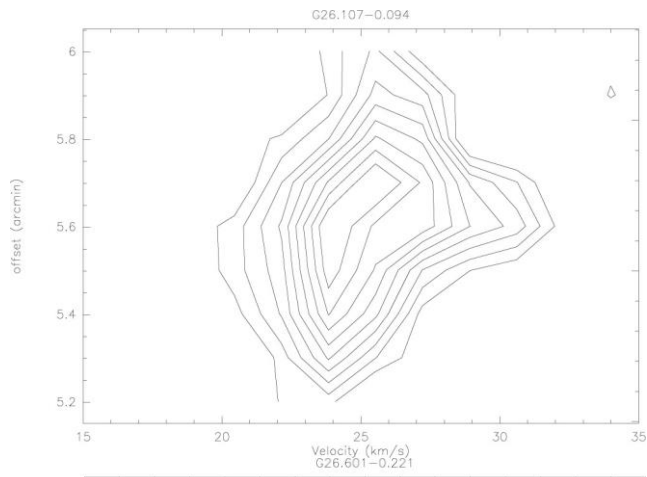


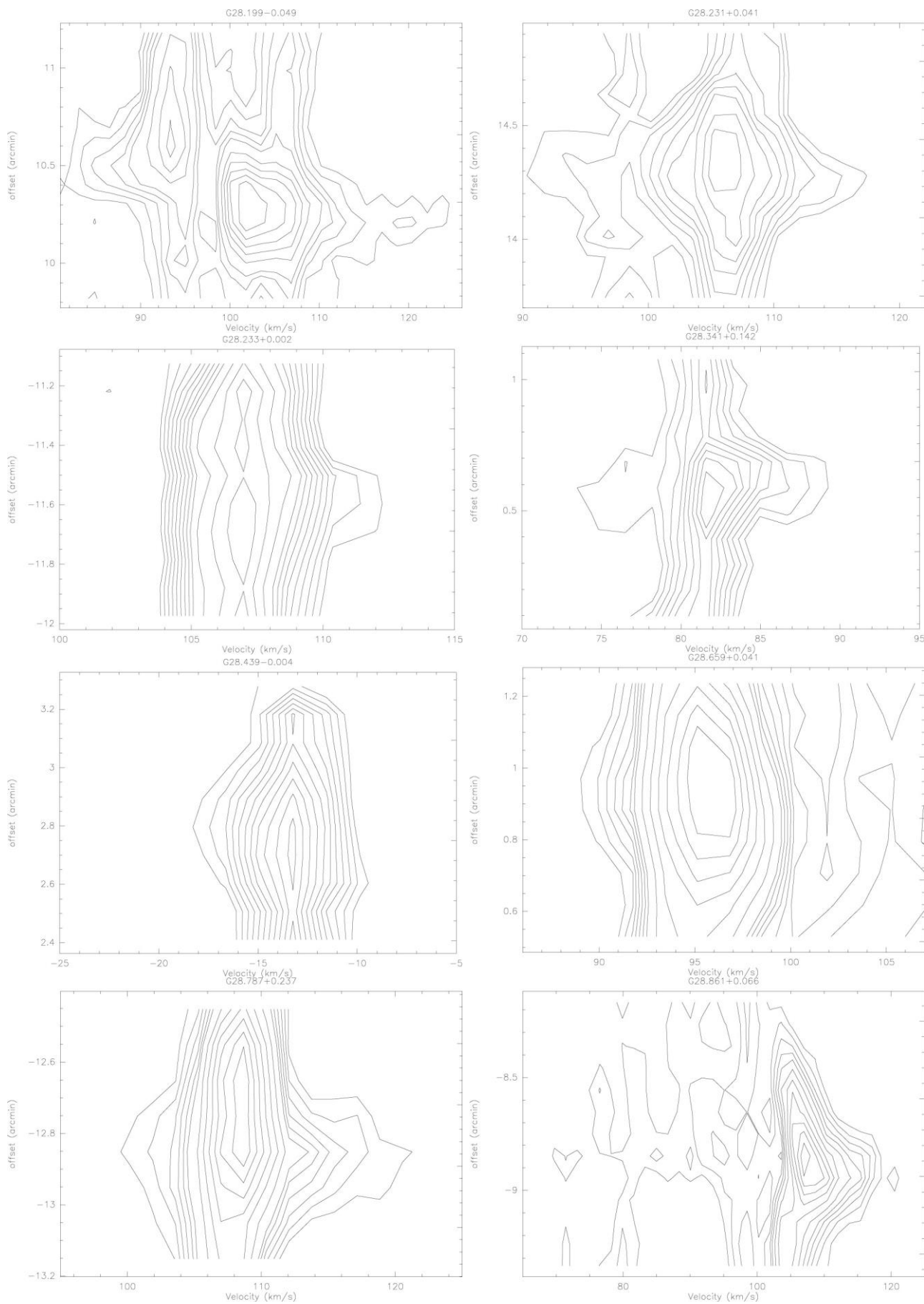


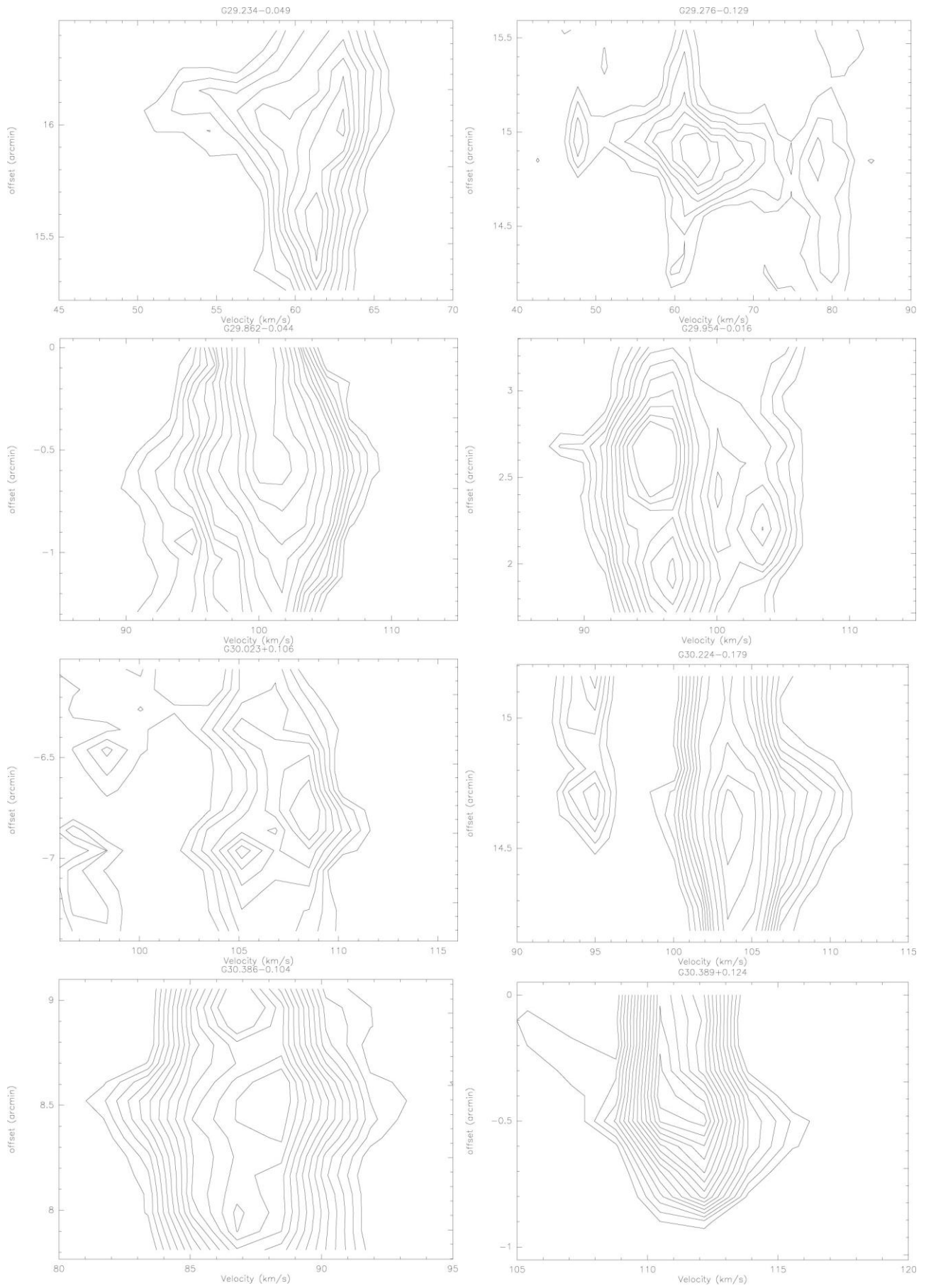


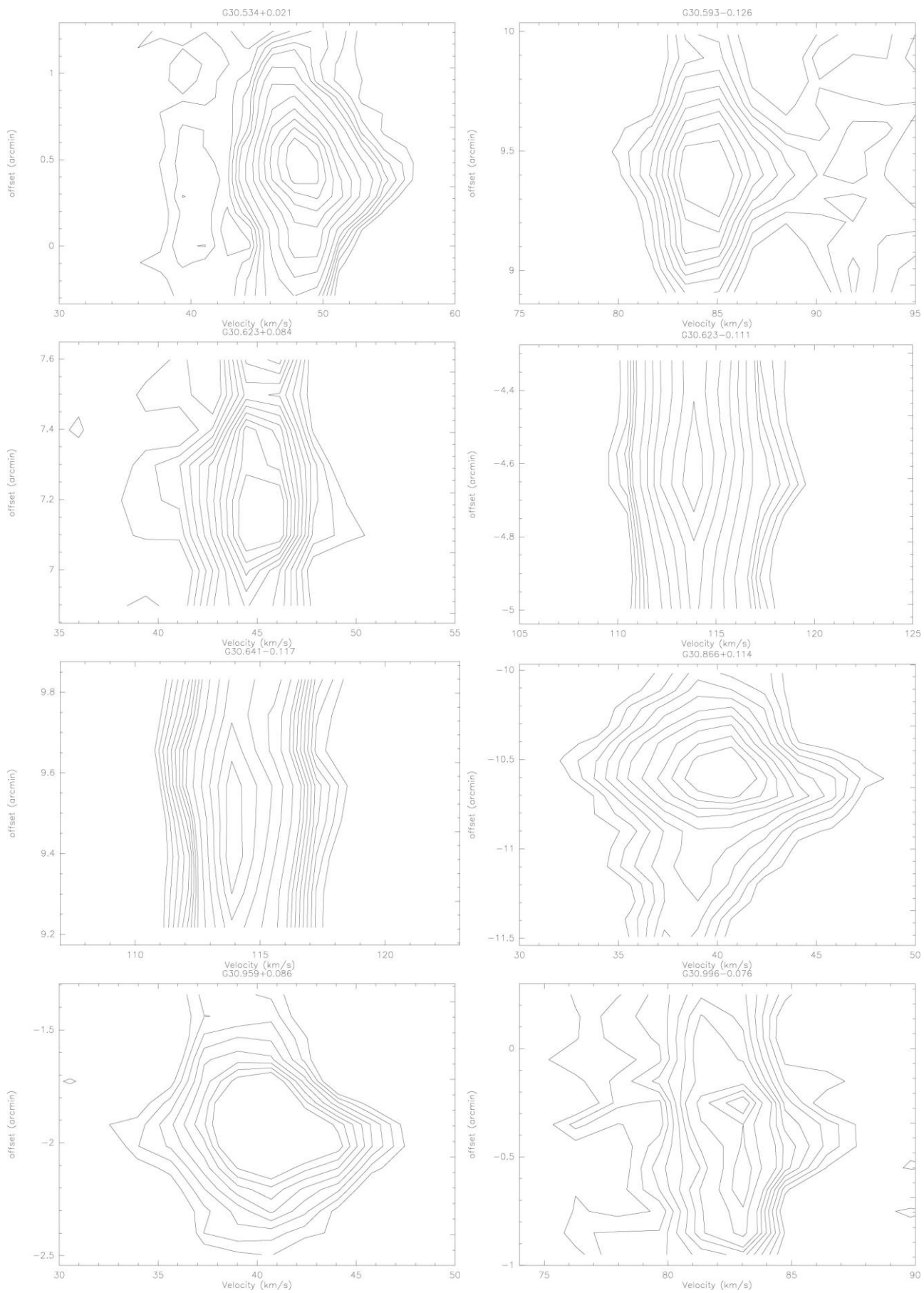


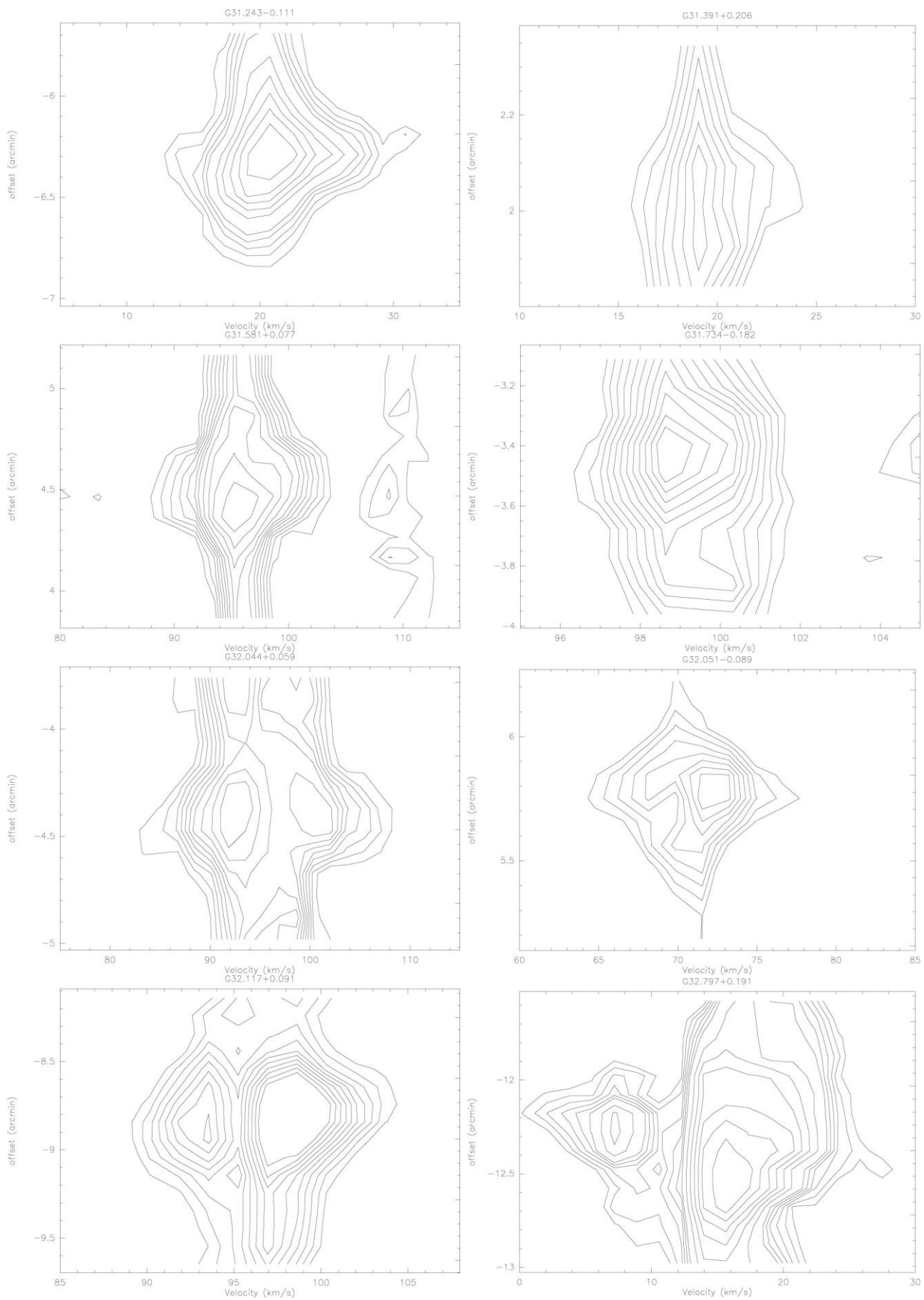


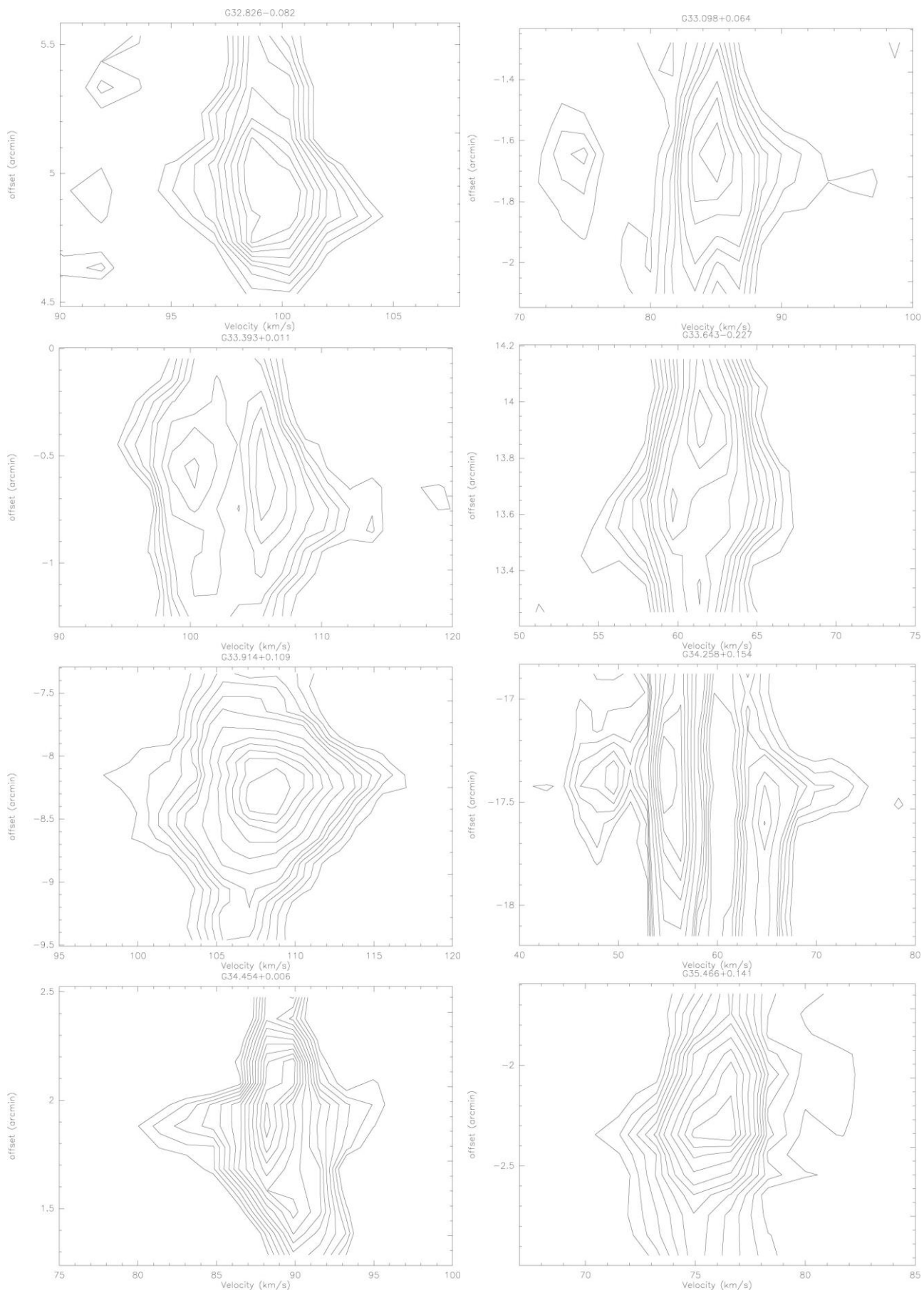


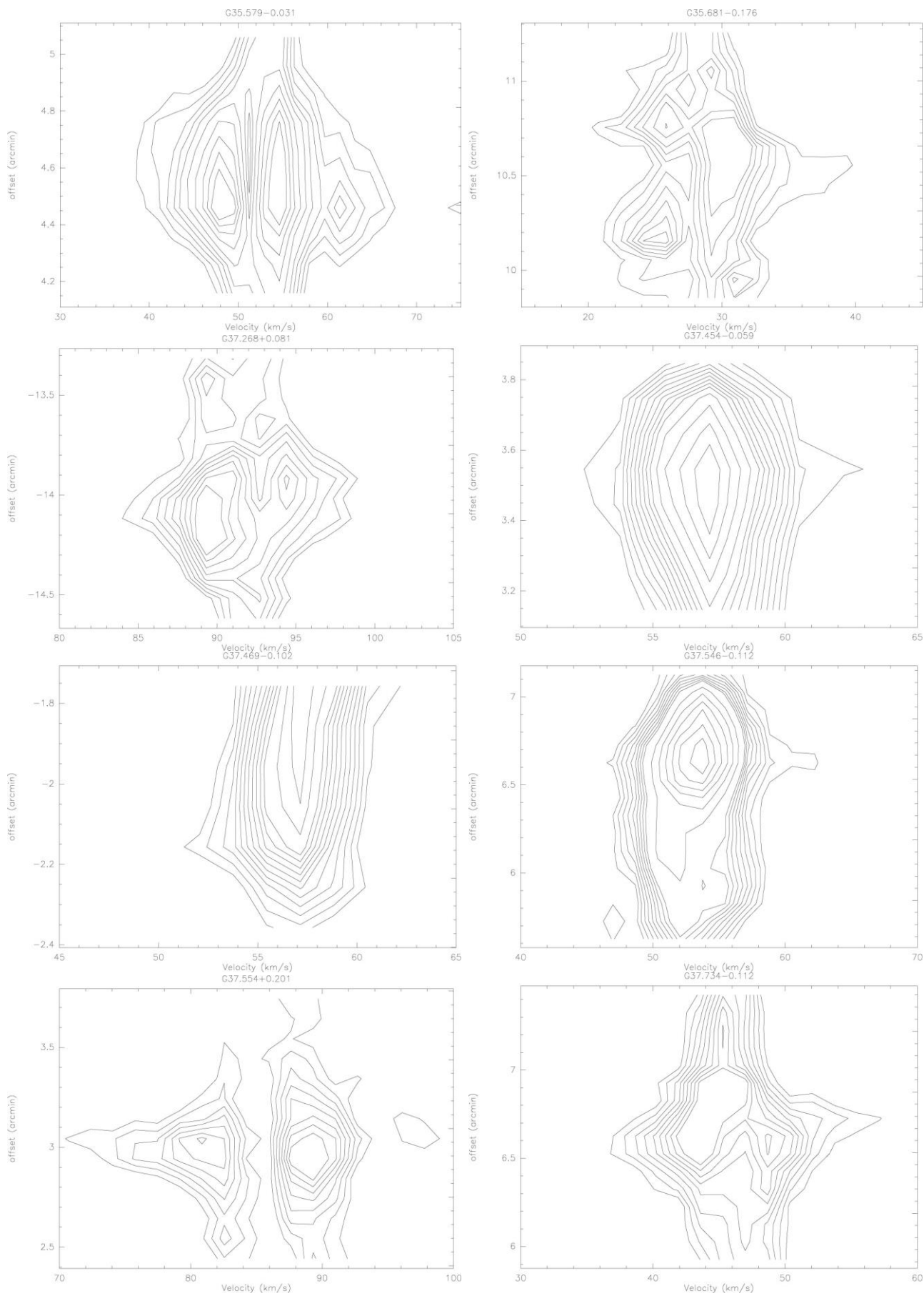


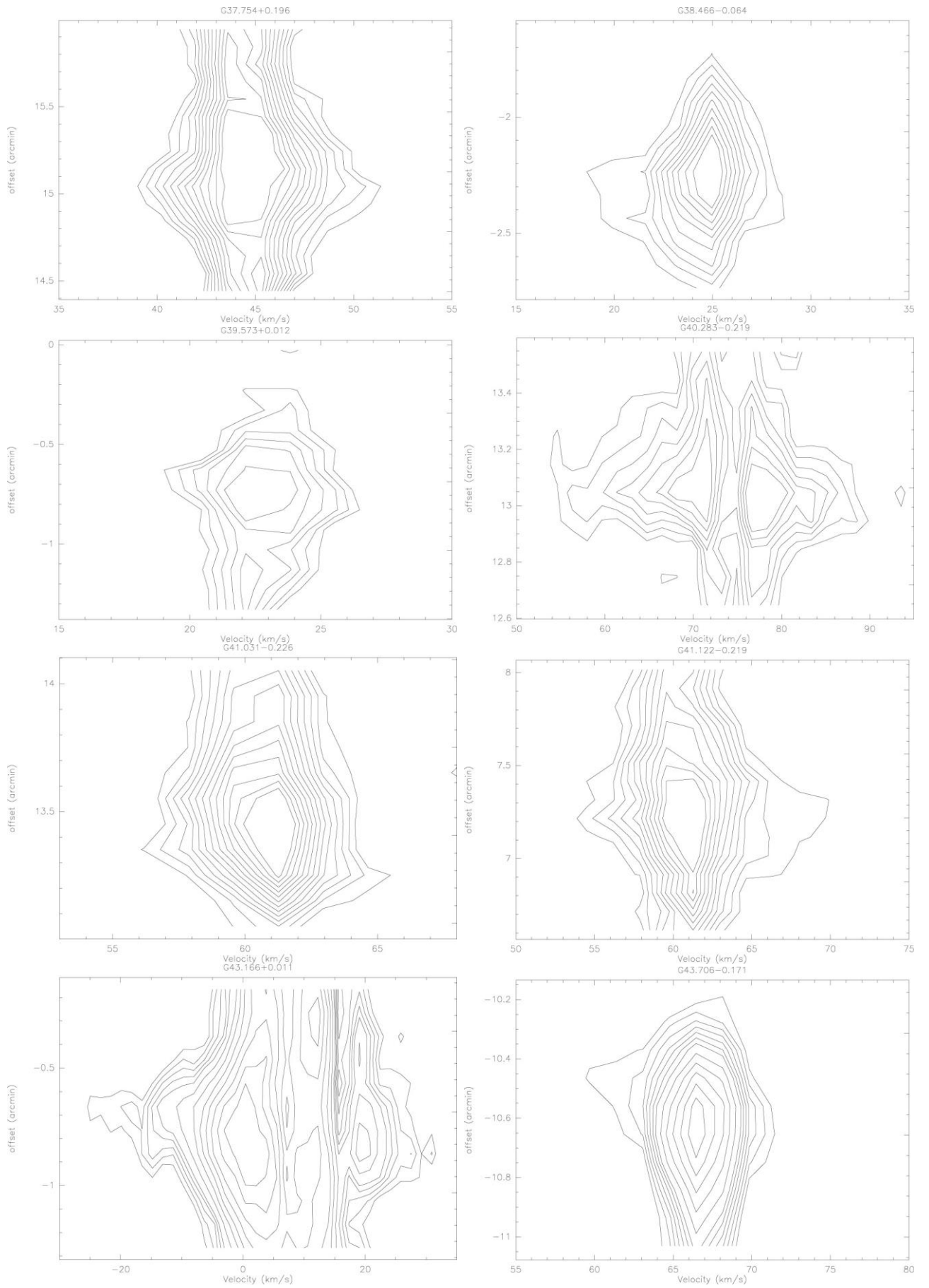


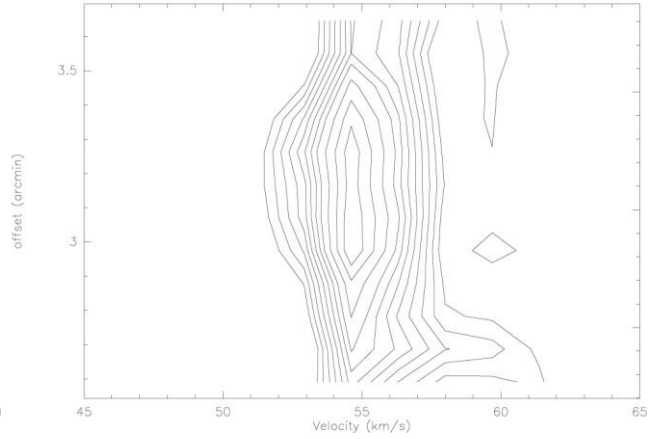
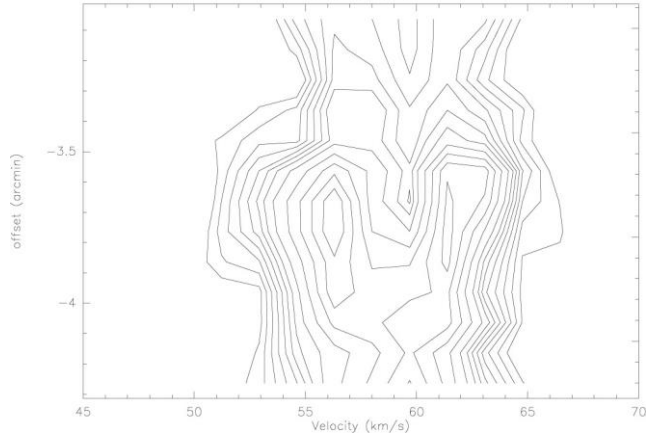
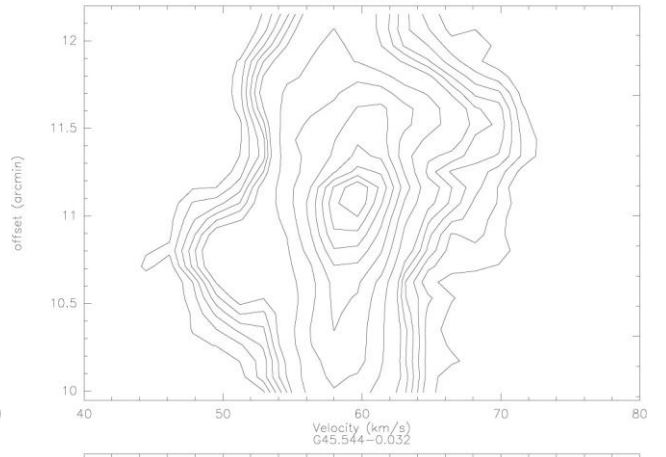
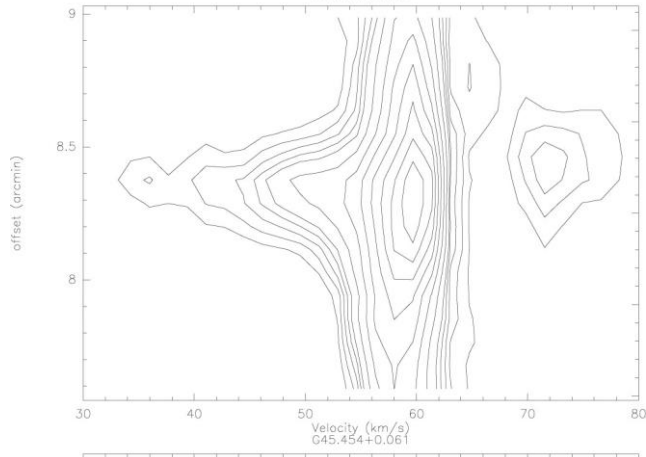
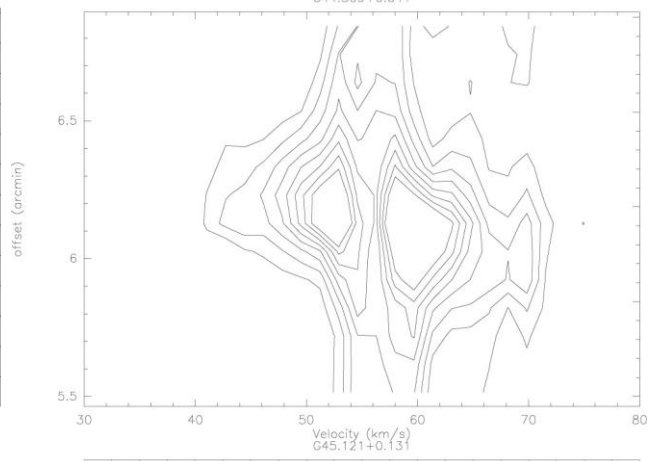
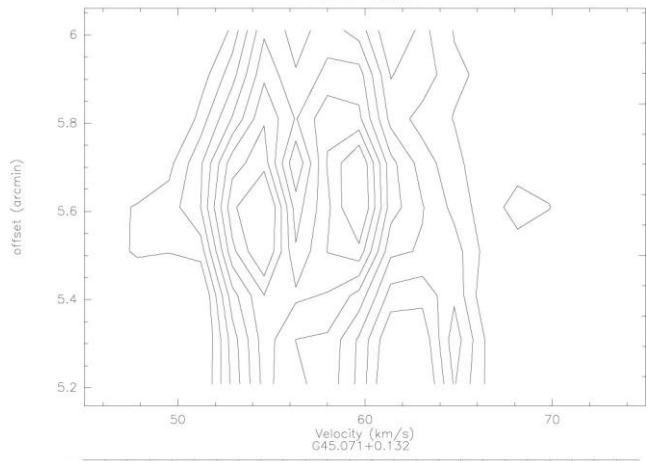
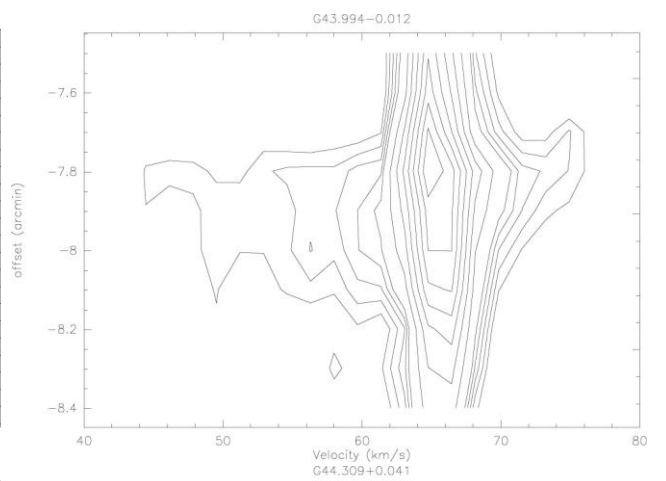
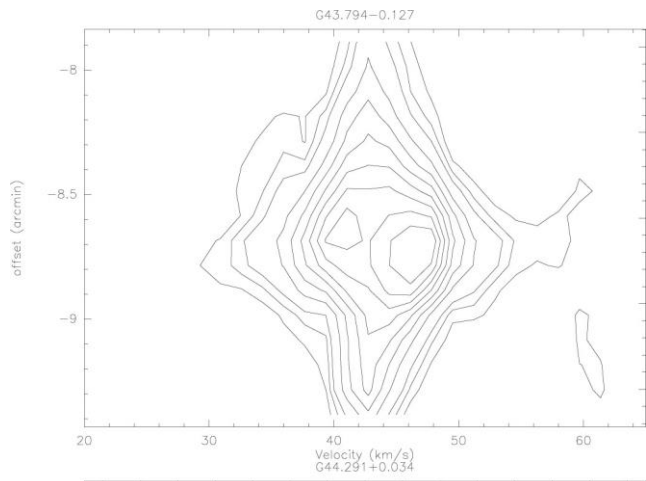


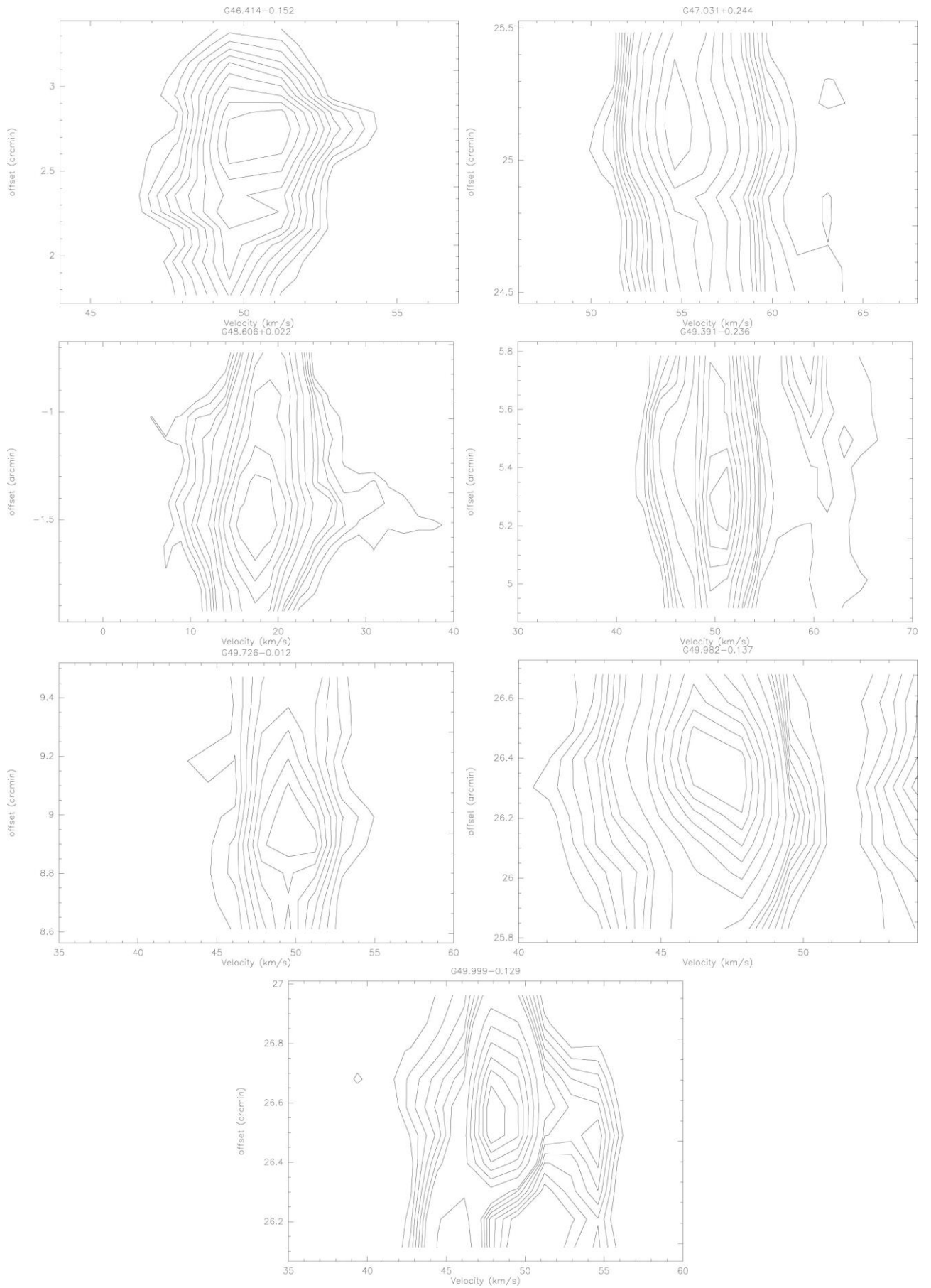












ҚОСЫМША Б

84 массасы үлкен сырт ағындардың CO (3-2) интегралды қарқындылық картасы

