

Д.А.Алимбетова, А.Т. Агишев*, С.А. Хохлов
ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
Алматы, 050040, Қазақстан
*E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com

ОРИОН ТҰМАНДЫҒЫНДАҒЫ ИНТЕГРАЛ ФОРМАЛЫ ЖІПШЕСІНІҢ НЕГІЗГІ ЖОТАСЫ БОЙЫНДАҒЫ ТУРБУЛЕНТТІЛІК ПЕН ӨЗҚАУЫМДЫЛЫҚ

Аннотация. Ұсынылған жұмыста Орион бұлтында орналасқан интегралды формадағы жіптің негізгі жотасының радио бақылауларының информациялық энтропиялық талдауы жүргізілді. Осыған дейін зерттелген аймақтың кинематикасы ИФЖ жотасының бойындағы жылдамдықтардың жергілікті минимумының жанында тығыз жұлдызды ядролардың орналасқанын көрсетті. Осы жұмыста мұндай бағалау NH_3 , ^{12}CO , ^{13}CO , N_2H^+ элементтері үшін нормаланған информациялық-энтропия арқылы жасалды және жұлдызды ядролардың энтропия мәндері $I_1 < S/S_{\text{max}} < I_2$ аралығына тиіс екенін анықталып, олардың өзқаумды құрылымдар екені табылды.

Ақпараттық энтропия молекулалық тұмандықтарда құрылымның турбуленттілігі мен өзқауымдығын бағалау критерийлері ретінде қарастырылады, бұл өз кезегінде болашақта жас жұлдыздардың бесігі бола алатын, тығыз ядролардың қалыптасуына алып келетін процесстерді бағалауға мүмкіндік береді. Қандай да трассер түрі таңдалғанына тәуелсіз протокластерлердің аумақтары үшін есептелген энтропия өзқауымды мәндеріне ие. Бұл бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардағы бүкіл газға таралатын турбуленттік ағынның әмбебап қозғалысымен байланысты. Ақпараттық энтропияның нормаланған мәндері үшін ұсынылған классификация әдістері өзқауымды, турбулентті қозғалыс тән аумақтарға белсенді түрде қолданыла алады. Болашақта бұл әдіс арқылы жұлдыздар қалыптасуы орын алатын аймақтарды іздеп, анықтауға қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Информация, энтропия, турбуленттілік, өзқауымдылық, молекулалық тұмандықтар.

Кіріспе

Орион А тұмандықтарындағы «интегралдық форма жіпшесі» (ИФЖ) сияқты жіптәріздес кластерлер жүйесі, өздігінен кластерлердің қалыптасу процессін түсінуінде бірегей мүмкіндік береді. Орион комплексі – бұл ең жақын ораласқан және жоғары массалы жұлдыздар қалыптасу аумағының ең көп зерттелген аумағы болуы мүмкін. Орион А Орион комплексінде [1,2] орналасқан ең ірі молекулалық тұмандықтар (~31,5 град²) болып келеді. ИФЖ – бұл Орион А кометалық тұмандықтардың солтүстік бөлігіндегі ықшам жота [3]. Оны 383 пк [4] арақашықтықта сызықтық ажыратқыштық қасиеті жақсы болып келетін, өлшемі кішіректеу радиотелескоппен де бақылауға болады. Орион А тұмандығы Ғалам жазықтығынан шамамен 15 градусқа төмен орналасқан, осыдан шуыл фонының азаюы туындайды, ал ол өз кезегінде Ғалам жазықтығының бойында көбінесе кездеседі.

Бақылаулар мен мәліметтер дерекқорының мұрағаты

Осы жерде ұсынылған NH_3 (23,694495 ГГц) толқын ұзындығындағы ИФЖ бақылаулары 2014 жылдың қаңтар айында және 2017 жылдың шілде-тамыз айларында Қытай ғылым академиясының Синьцзян астрономиялық обсерваториясымен басқарылатын 25-метрлік радиотелескоптан алынды. Бұл телескоптағы сәуле ені (максимумнің жартысы болғанда толық ені, FWHM) шамамен 2' (383 парсек қашықтықта 0,22 парсек) және 23 ГГц жиілікте 0,098 км/с жылдамдығы бойынша ажыратқыштық қасиетке ие болып келеді, оны өткізу жолағының 64 МГц режимінде 8192 арналы сандық филтрдан аламыз. Спектрлік ағын периодты түрде калибрленген, әрбір 6 секунд сайын шуыл диодынан сигнал беріліп тұрды. Телескопты дәлдеу және басқару 18 сек.доғасынан кем емес болу

керек. 23 ГГц жиілік кезінде жүйелі температурасы шамамен 50°K болатын қабылдаушы аспап ретінде 22-24,2 ГГц жиілікті қосарлы поляризацияланған арналы супергетеродин қолданылды. Карталар ауа-райы жақсы болғанда және биіктігі көкжиектен 20° жоғары кезде тор өлшемі 6' да 6' болатындай және 30" кадаммен on-the-fly (OTF) тәртібінде жинақталынды және қолданылды.

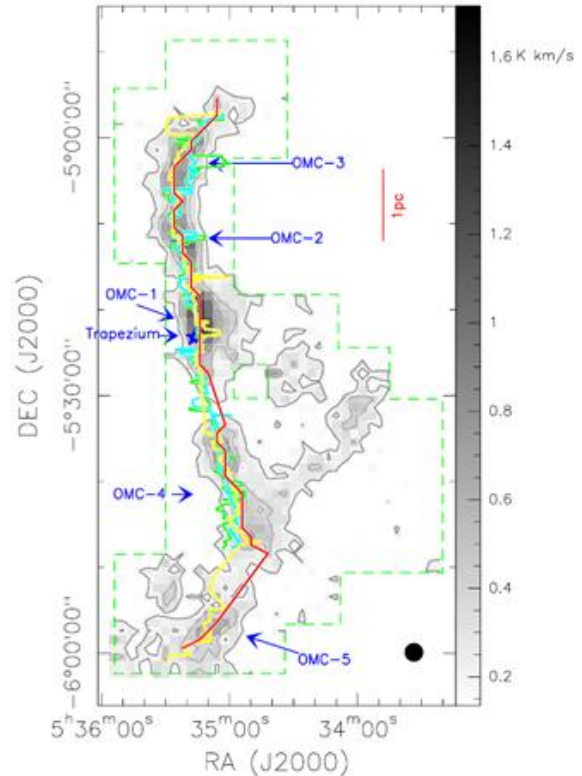
¹²CO және ¹³CO спектрлер деректер қорынан алынған, сонымен қатар 2008 жылдың наурыз, сәуір және қазан айларында Пико-Велетадағы IRAM 30 м телескобында бақыланды. Мәліметтер Heterodyne Receiver Array (HERA – ол қосарлы поляризацияланған, 24" аралықпен 3 те 3 тор формасында орналастырылған тоғыз қабылдағыштардан тұрады) сәуле ені шамамен 11" (383 пк шақырымына 0,02 пк) болатын 230,5 ГГц жиілігіндегі ¹²CO (2-1) жолағына және 220,4 ГГц жиілігіндегі ¹³CO (2-1) жолағына дәлденген қабылдағыштар блогі арқылы әр поляризациядан жинап алынды. ¹²CO (2-1) және ¹³CO (2-1) үшін негізгі сәуленің эффективтілігі 0,524 және сәйкесінше 0,545 болады. Қосалқы құрылғы ретінде Versatile Spectrometric and Polarimetric Array (VESPA) қолданылды, оның спектрлік ажыратқыштық қасиеті 320 кГц (яғни 0,4 км/с). Карталар тігінен өрлеу кезінде 5" тандау жасалынумен және төмен түсру кезіндегі 12" кадаммен OTF тәртібін қолдану арқылы жиналынды.

Берілген N₂H⁺ (1-0) бақылаулар 93,1737767 ГГц болғанда Нобейама Радиостанциясындағы 45-метрлік радиотелескопты қолдану арқылы 2005 жылдың мамырдың 11-нен бастап мамырдың 20-на дейін және 2007 жылдың наурыздың 4-нен 9 аралығында жүргізілді. Қолданылатын BEARS қабылдағышы фокалдык кеңістіктегі 25-элементтік кесте болып келеді. BEARS элементтер шоғы үшін қуаттың жартысы болғанда сәуле ені 17,8" ± 0,4" (383 пк қашықтықта 0,03 пк) болады, ал 93 ГГц жиілікте спектрлік ажыратқыштық қасиеті 37,8 кГц (ол 0,12 км/с сәйкес) болады. (Tatematsu K. et al. N₂H⁺ and HC₃N Observations of the Orion A Cloud // Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2008. – Т. 60. – №. 3. – С.

407-419.).

Нәтижелер

Жылдамдықты-интегралды интенсивтілік жолағы (нөлдік момент) бар NH₃ (1,1) картасы сұр ренк түрінде және 1 суреттегі сұлба түрінде ұсынылған.



Әр панелдің интегралдану жылдамдығының аумағы 6,5-тен 12,5-км/с аумақты құрайды. Сұлбалар 0,18°K*км/с (4σ) мәнінен басталынады және 0,18°K*км/с кадаммен көтеріледі. Қарастырылатын аумақ шекарасы жасыл пунктирлі сызықтармен белгіленген. Әр панелдегі жасыл жұлдыз Трапеция кластерін көрсетеді, ал астындағы оң жақта орналасқан қара толтырылған дөңгелектер қуаттың жартысы болғандағы сәуле өлшемін көрсетеді. NH₃ (қызыл), ¹²CO (жасыл), ¹³CO (көгілдір) және N₂H⁺ (сары)-дағы [8] жұмыстарынан алынған Центрлік жоталар NH₃ (1,1) нөлдік момент картасының үстінен салынған.

1 – сурет. Интенсивтіліктің интегралданған картасы (нөлдік момент) NH₃ (1,1).

Негізге NH₃(1,1) жолағындағы бүкіл енді жабу үшін жылдамдық бойынша интегралдау аралығы 6,5-тен 12,5 км/с құрайды. Сұлбалар 0,18°K*км/с мәнінен басталады (4σ, жуан сұр жолақ) және 0,18°K*км/с кадаммен (жіңішке сұр жолақтар) көтеріледі. σ тең rms*ΔV*√N,

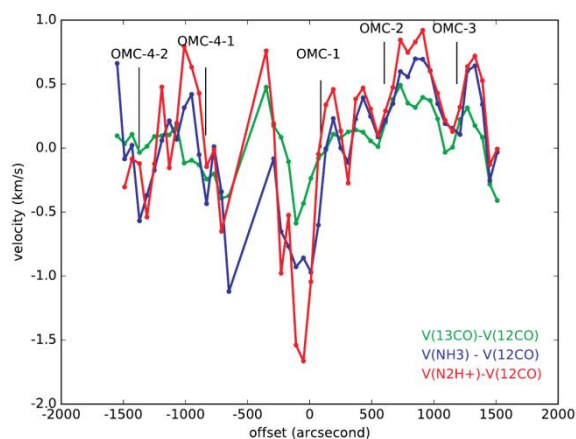
осында «gms» - негізгі арнаның орташа квадратталған ауытқу мәндері, ал ол барлық спектрлерге арналған GILDAS дестесінен алынған CLASS бағдарламасының көмегімен негізгі жолақтан экспортталады, ΔV -арна аралығы (жылдамдық бойынша ажырату қасиеті), сонымен қатар N – интегралданған жылдамдық ауқымындағы арналар саны (6,5-ден бастап 12,5 км/с дейін). Зерттелетін аумақ шекарасы жасыл түсті пунктирлі сызықпен белгіленген. Сол жақ панельдің жоғарғы оң жағындағы қызыл жолақтар 383 пк арақашықтағы 1пк масштабты бейнелейді [4]. Бүкіл карта шамамен 0,6 градусқа тігінен өрлеу кезінде және шамамен 1.2 градусқа төмен түсірілген кездегі аумақты қамтитын 45240 шикі спектрлерден құралған. Трапеция кластері көгілдір жұлдыз ретінде белгіленген, ал астындағы оң жақта сәуле қуаттың жартысында қара толтырылған дөңгелек түрінде белгіленген. Белгілі 1 ден 5-ке дейін ОМС жіктеуі [6] сәйкесінше белгіленген. NH_3 (1,1) нольдік момент картасында (f) интегралдық морфология көрсетілген, ол өз кезегінде ^{13}CO [7] бақылауларында белгіленіп қойылған.

NH_3 , ^{12}CO , ^{13}CO және N_2H^+ спектрлік сызықтардағы мәліметтер бойынша ИФЖ орталық қырында толқындық қасиет бар. Сонымен қатар әртүрлі элементтермен бақылау жүргізген кезде немесе басқаша айтқанда ағылшын әдебиеттерінде аталып кеткендей трассерлармен бақылау кезінде қырларда бір-біріне қатысты үлкен жылжу орын алады.

Алайда, әрбір трассердің бір трассерге қатысты жылдамдық ауытқуын салыстыра отырып, ОМС-дағы с 1-5 тығыз түйірлердің жылдамдық флуктуациясының локальді экстримумдары маңында орналасқандығы шығады.

Берілген жұмыста әртүрлі оптикалық тереңдігі бар молекулалық трассерлердің арасындағы жылдамдықтар айырмашылықтарын пайдалана отырып, түйіндердің орналасуына қатысты ИФЖ бойында аккрециалық ағындарды анықтаудың жаңа тәсілі ұсынылған. Осы мақсатта. Осы мақсатта NH_3 қыр шынынан 1' аралықта жіп спектрлерінің реті қарастырылған, сонымен қатар S/N қатынасы нашар болатын кез

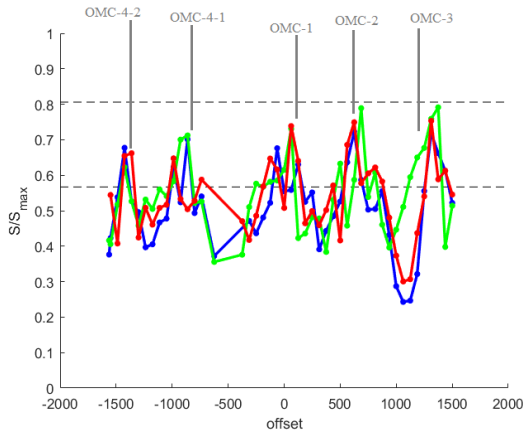
келген спектрлер алынып тасталынды. ISF жота бойындағы әр жердің ^{13}CO мен ^{12}CO спектрлер арасындағы және де NH_3 пен ^{12}CO , N_2H^+ бен ^{12}CO мәндері арасындағы жылдамдықтар айырмашылықтары 2 суретте жасыл,көк,қызыл сызықтар түрінде ұсынылған. Әлбетте, барлық жиынтықтар жылдамдықтар айырмашылықтары флуктуациясының локальді экстримумдарының жанында орналасқан. Барлық жиынтықтар локальді экстримумдар маңында анықталынғандығын әр протокластерге қатысты аккрециалық ағын арқылы түсіндіруге болады, сәйкесінше осының бәрі жұмыстарда түсіндіріліп кеткен[9].



2 – сурет. ^{13}CO пен ^{12}CO (жасыл), NH_3 пен ^{12}CO (көк) және N_2H^+ пен ^{12}CO (қызыл) аралығындағы центроида жылдамдығының ауытқуы.

Жылдамдықты градиентке түзетуді ескере отырып, әртүрлі трассерлер бойынша салыстырмалы жылдамдықтарды теңестіру жолымен алынған нәтижелер ИФЖ негізгі жотасы бойымен жүргізілген ақпараттық-энтропиялық талдау нәтижелерімен сәйкестіндіріледі. Хаостың дәрежесін анықтау шарты ретінде нормаланған ақпараттық энтропияны қолдана отырып, реттелген қозғалыс тән болатын молекулалық тұмандықтардағы аумақты анықтауға болады. Басқаша айтқанда протожұлдыздар кластерлері мен олардың қалыптасуына алып келетін протожұлдыздар ядросының тығыз түйін заттары (кесектер) жіпшелер арқылы заттың турбуленттік ағын аумағын құрайды. Бұл құбылысты ақпараттық энтропияны басқа

аумақтарға қатысты ұлғайту арқылы қадағалауға болады. Зерттелетін аймақ үшін нормаланған энтропия мәні өзқауымдық аумағында жататындығын Жанабаев З.Ж. ұсынған (3 сурет).



3 – сурет. Орион А NH_3 (қызыл), ^{12}CO (жасыл), ^{13}CO (көгілдір) және N_2H^+ (сары) жиынтығындағы интегралдық формалы жіпшенің негізгі жотасының бойындағы нормаланған ақпараттық энтропия.

Суреттен көрініп тұрғандай, тандалынған трассерлерден тәуелсіз протокластерлер аумақтары үшін энтропия өзқауымдастырылған. Ол бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардың бүкіл газына таралатын турбуленттік ағындардың әмбебап қозғалысына байланысты болады. Сонымен қатар осы әдіс протожұлдыздар мен кластерлердегі аккрециалық қозғалыстарға жататын әртүрлі объектілердің және құбылыстардың ортақ, масштабты-инвариантты сипаттамаларын анықтауда жоғары эффективті болып келеді.

Ақпаратты-энтропиялық әдістің ерекшелігі мультиспектралдық зерттеулердің қажет болмауында. Осыдан жұлдыздардың белсенді қалыптасу аумақтарын анықтау үшін бірлі-жарым трассерлер бойынша ғана мәліметтерді шолу жеткілікті. Әрі қарай берілген әдіспен анықталынған аумақтарда қосымша бақылау жүргізілетін мәліметтерді қосу арқылы келесі зерттеулерді жүргізуге болады. Әдетте бұл әртүрлі каталогтарды өзара салыстыруға қолданылатын және жұлдыз қалыптасу аумағын анықтау мен табу мақсатында кросскореляциялық анықтауды

жүргізуге пайдаланылатын уақытты үнемдеуге мүмкіндік береді. Осы сұрақ аса жоғары дәлдік пен осындай карталарды шолу бұрышының аз болуымен байланысты радиобақылауларды шолу сияқты көлемді болмайтын инфрақызыл карталар үшін ерекше өзекті болып келеді. Басқаша сөзбен айтқанда радиобақылаулар каталогіна қолданылатын ақпаратты-энтропиялы әдісі жұлдыздар қалыптасуының тығыз ядролары бар потенциалды маңызды аумақтарды көрсете алады.

Қорытынды

Ақпараттық энтропия молекулалық тұмандықтарда құрылымның турбуленттілігі мен өзқауымдығын бақылау критерийлері ретінде қарастырылады, ол өз кезегінде тығыз ядролардың қалыптасуына, болашақта жас жұлдыздардың бесігінің қалыптасуына алып келеді.

Қандай трассер түрі таңдалғанына тәуелсіз протокластерлердің аумақтары үшін энтропия өзқауымдастырылған. Бұл бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардағы бүкіл газға таралатын турбуленттік ағынның әмбебап қозғалысымен байланысты.

ЖИФ бойындағы түйіндерге қатысты аккрециялық ағынның бар-жоғын анықтау үшін біз ақпараттық-энтропия әдісін қолдандық. Жиынның нормаланған энтропиясы өзқауымдық аумағында жатқандығы анықталынды. Осыны әрпротокластерге бағытталған аккрециялық ағын түрінде түсіндіруге болады.

Ақпараттық энтропияның нормаланған мәндері үшін ұсынылған классификация әдістері өзқауымды, турбулентті қозғалыс тән аумақтарға белсенді түрде қолданыла алады. Потенциалды түрде бұл аумақтар жұлдыздар қалыптасуы орындалатын аймақтар қатарына үміткер болып шектелініп қалады.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Wilson B. A. et al. A uniform CO survey of the molecular clouds in Orion and Monoceros // *Astronomy & Astrophysics*. – 2005. – Т. 430. – №. 2. – С. 523-539.
- 2 Stutz A. M., Kainulainen J. Evolution of column density distributions within Orion A

//Astronomy & Astrophysics. – 2015. – Т. 577. – С. L6.

3 Stutz A. M., Gould A. Slingshot mechanism in Orion: Kinematic evidence for ejection of protostars by filaments //Astronomy & Astrophysics. – 2016. – Т. 590. – С. A2.

4 Kounkel M. et al. The Gould's belt distances survey (Gobels). Distances and structure toward the Orion molecular clouds //The Astrophysical Journal. – 2017. – Т. 834. – №. 2. – С. 142.

5 Berne O., Marcelino N., Cernicharo J. IRAM 30 m Large Scale Survey of ^{12}CO (2-1) and ^{13}CO (2-1) Emission in the Orion Molecular Cloud //The Astrophysical Journal. – 2014. – Т. 795. – №. 1. – С. 13.

6 Johnstone D., Bally J. Large-area mapping at 850 μm . V. Analysis of the clump dis-

tribution in the Orion A South molecular cloud //The Astrophysical Journal. – 2006. – Т. 653. – №. 1. – С. 383.

7 Bally J. et al. Filamentary structure in the Orion molecular cloud //The Astrophysical Journal. – 1987. – Т. 312. – С. L45-L49.

8 Wu G. et al. A kinematic study of the integral shaped filament: what roles do filaments play in forming young stellar clusters? //Research in Astronomy and Astrophysics. – 2018. – Т. 18. – №. 7. – С. 077.

Hacar A., Tafalla M. Dense core formation by fragmentation of velocity-coherent filaments in L1517 //Astronomy & Astrophysics. – 2011. – Т. 533. – С. A34.) и Zhang et al. (2015)

04.04.2019 басылымға қабылданды

Д.А.Алимбетова, А.Т. Агишев*, С.А. Хохлов
ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
Алматы, 050040, Қазақстан
**E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com*

ОРИОН ТҰМАНДЫҒЫНДАҒЫ ИНТЕГРАЛ ФОРМАЛЫ ЖІПШЕСІНІҢ НЕГІЗГІ ЖОТАСЫ БОЙЫНДАҒЫ ТУРБУЛЕНТТІЛІК ПЕН ӨЗҚАУЫМДЫЛЫҚ

Аннотация. Ұсынылған жұмыста Орион бұлтында орналасқан интегралды формадағы жіптің негізгі жотасының радио бақылауларының информациялық энтропиялық талдауы жүргізілді. Осыған дейін зерттелген аймақтың кинематикасы ИФЖ жотасының бойындағы жылдамдықтардың жергілікті минимумының жанында тығыз жұлдызды ядролардың орналасқанын көрсетті. Осы жұмыста мұндай бағалау NH_3 , ^{12}CO , ^{13}CO , N_2H^+ элементтері үшін нормаланған информациялық-энтропия арқылы жасалды және жұлдызды ядролардың энтропия мәндері $I_1 < S/S_{\text{max}} < I_2$ аралығына тиіс екенін анықталып, олардың өзқаумды құрылымдар екені табылды.

Ақпараттық энтропия молекулалық тұмандықтарда құрылымның турбуленттілігі мен өзқаумдығын бағалау критерийлері ретінде қарастырылады, бұл өз кезегінде болашақта жас жұлдыздардың бесігі бола алатын, тығыз ядролардың қалыптасуына алып келетін процесстерді бағалауға мүмкіндік береді. Қандай да трассер түрі тандалғанына тәуелсіз протокластерлердің аумақтары үшін есептелген энтропия өзқаумды мәндеріне ие. Бұл бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардағы бүкіл газға таралатын турбуленттік ағынның әмбебап қозғалысымен байланысты. Ақпараттық энтропияның нормаланған мәндері үшін ұсынылған классификация әдістері өзқаумды, турбулентті қозғалыс тән аумақтарға белсенді түрде қолданыла алады. Болашақта бұл әдіс арқылы жұлдыздар қалыптасуы орын алатын аймақтарды іздеп, анықтауға қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Информация, энтропия, турбуленттілік, өзқаумдылық, молекулалық тұмандықтар.

Д.А.Алимбетова, А.Т. Агишев*, С.А. Хохлов
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, 050040, Казахстан
*E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И САМООРГАНИЗАЦИЯ ВДОЛЬ ОСНОВНОГО ХРЕБТА НИТИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЫ В ОБЛАКЕ ОРИОНА

Аннотация. В работе проведен информационно-энтропийный анализ данных радионаблюдений основного хребта нити интегральной формы в облаке Ориона. Раннее исследование кинематики данной области показали, что плотные предзвездные ядра расположены вблизи локальных минимумов скоростей, вдоль хребта НИФ. В настоящей работе такая оценка была произведена через нормированную информационную энтропию для элементов NH_3 , ^{12}CO , ^{13}CO , N_2H^+ , и определено, что предзвездные ядра имеют значения нормированной энтропии лежащих в области $I_1 < S/S_{\max} < I_2$, и являются самоорганизованными структурами.

Информационная энтропия рассмотрена как критерий оценки турбулентности и самоорганизации структур в молекулярных облаках, приводящий к формированию плотных ядер, в последующем, колыбели молодых звездных ассоциаций. Энтропия для областей протокластеров самоорганизовано, не зависимо от того, какой трассер был выбран. Это в первую очередь связано с универсальным поведением турбулентных течений распространяющийся на весь газ молекулярного облака. Выдвигаемый метод классификации по нормированным значениям информационной энтропии может быть эффективно применен для определения областей, для которых характерно самоорганизованное, турбулентное движение. Потенциально эти области могут быть локализованы как кандидаты в участки где может происходить формирования звезд.

Ключевые слова: Информация, энтропия, турбулентность, самоорганизация, молекулярная туманность.

D.A.Alimbetova, A.T. Agishev*, S.A. Khokhlov
al-Farabi Kazakh National university,
Almaty, 050040, Kazakhstan
*E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com

TURBULENCE AND SELF-ORGANIZATION ALONG THE MAIN RIDGE OF AN INTEGRAL SHAPED FILAMENT IN THE ORION MOLECULAR CLOUD

Abstract: In this paper, an information-entropy analysis of the radio observations of the main ridge of an integral-shaped filament in the Orion cloud has been carried out. Early studies of the kinematics of this area showed that dense pre-stellar cores are located near the local minimum of velocities along the main ridge of the ISF. In the present work, such an estimate was made through the normalized informational entropy for the NH_3 , ^{12}CO , ^{13}CO , N_2H^+ elements and it was determined that the pre-stellar cores have the normalized entropy values lying in the $I_1 < S/S_{\max} < I_2$, and are self-organized structures.

Information entropy is considered as a criterion for the evaluation of turbulence and self-organization of structures in molecular clouds, leading to the formation of dense cores, subsequently, the cradle of young stellar associations. The entropy for the regions of the protoclusters is self-organized, regardless of which tracer was selected. This is primarily due to the universal behavior of turbulent flows spreading over the entire gas of a molecular cloud. The proposed classification method for the normalized values of the information entropy can be effectively applied to determine areas that are characterized by self-organized, turbulent motion. Potentially, these areas may be localized as candidates in areas where star formation may occur.

Keywords: Information, entropy, turbulence, self-organization, molecular cloud.