

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на научната
и образователна степен “доктор”

Автор: Орлин Иванов Станчев – докторант на самостоятелна подготовка в
катедра „Астрономия“ към Физическия факултет
на Софийския университет „Св. Климент Охридски“

Тема: “Изучаване на структурата на галактични области на звездообразуване и
на асоциирани с тях молекулярни облаци”

Рецензент: Проф. д.ф.н. Цветан Борисов Георгиев, Нов български
университет

Дисертацията заема 126 страници вкл. увод, три глави, представящи изследвания и резултати, заключение, индивидуални приноси и насоки за бъдеща работа. Основният текст заема 110 стр., вкл. 44 илюстрации и 14 таблици. Добавени са списъци на абривиатури и библиография с 252 цитирани източници. Изследванията са проведени във Физическия факултет на Софийския университет, в сътрудничество с астрономи от Университета в Кьолн и Института по теоретична астрономия в Хайделберг.

Дисертацията се основава на 5 публикации – 2 в MNRAS, в едната от които кандидатът е първи съавтор и 3 доклади на международни конференции, в 2 от които кандидатът е първи съавтор. Първата публикация в MNRAS е цитирана 4 пъти, от които 2 в MNRAS и 1 в A&A.

Звездообразуването е видимо най-грандиозният процес във времето и пространството на тази Вселена. Това прави въпроса за строежа и еволюцията на областите на звездообразуване в галактиките все по-интересен и актуален в съвременната астрофизика. Областите на звездообразуване в газово-праховата междузвездна среда (МС) се наблюдават като облаци (мъглявини) с характерни размери десетки парсеци, съдържащи газ, прах, магнитни полета, лъчения и корпускуларни потоци. По маса газът в МС е ≈ 100 пъти повече от праха и съществува в 4 основни състояния – горещ йонизиран, топъл йонизиран или неутрален, студен неутрален и студен молекулярен газ. В тази последователност плътността се мени от 10^{-3} до 10^5 cm^{-3} , а температурата – от 10^6 до 10 K . Материалът за звездообразуването са молекулярните облаци (МОи).

Според съвременните изследвания МОи са резултати от топлинна неустойчивост в неутралния газов компонент, захранвана от едромасщабни (галактични) турбулентни потоци в йонизирания газов компонент. Турбулентността представлява неустойчивост на ламинарните потоци, в които инерционните сили превишават многократно силите на вътрешно триене. Турбулентността пренася кинетична енергия каскадно, на все по-малки размерни скали (масшаби), до достигане на свободния пробег на частиците в средата, където турбулентните макро-движения преминават в топлинни движения на частиците.

Едромасщабната турбулентност в МС се дължи на два вида процеси – (1) преобразуване на галактичната потенциална енергия (при акреция и ротация на средата) и (2) действие на локални източници на неустойчивост (гравитация на протозвезди, звездни ветрове от О-звезди и разпространение на разширяващи се обвивки на свръхнови). Когато структурата на облака се определя

главно от пренос на свръхзвукова турбулентност, неговата функция на вероятностно разпределение на плътността (Probability Density Function, PDF; функция на разпределение на плътността, ФРП) е от логнормален тип. Тази функция има две форми – колонкова, N-pdf и обемна, ρ -pdf. Анализът на ФРП е прост и ефективен метод за изучаване на общата структура на МОи.

Турбулентността и гравитацията са основни фактори, определящи физиката на МОи, но еволюцията и морфологията на МОи зависят и от други фактори – магнитни полета, процеси на нагряване и охлаждане, взаимодействия на средата с различни лъчения. От това следва, че гравитацията не може да се разглежда изолирано, а в комбинация с други фактори. При продължителна слаба гравитация, т.е. в облак със слабо звездообразуване, разпределението на плътността се определя от свръхзвуковата турбулентност, но при напреднала еволюция на облака, поради гравитацията, ФРП развива степенна опашка в областта на високите плътности.

МОи се характеризират с разнообразни подструктури, обхващащи съгъствания с размери ~ 1 pc и плътности $\sim 10^3$ cm⁻³ до ядра, с размери ≤ 0.1 pc и плътности $\geq 10^4$ cm⁻³. Съгъстванията и ядрата изглеждат предзвездни образувания. Отделянето на подобни подструктури от карти на различни индикатори на структурата на МОи, сравнението и анализа на отделни населения съгъствания е предмет на изследване в Глава 4 от дисертацията.

В областите от МС с повишена плътност, които са и области на звездообразуване, газът е предимно в молекулярна форма. Прякото му детектиране е изключително трудно поради 3 причини. (1) Газът не е достатъчно плътен за да бъде в радиационно равновесие с околната среда и топлинно му излъчване да може да се регистрира. (2) Температурата на газа е много по-ниска от необходимата за забележима емисия в инфрачервени лъчи (ИЧЛ) с ротационен произход. (3) Количеството на газа по лъча на зрението е много по-малко от необходимото за проява на абсорбция в ИЧЛ с вибрационен произход. Пряко детектиране на абсорбция от H₂ е възможно само когато газът е разположен пред силен източник на ултравиолетови лъчи (УВЛ). Затова като индикатори за H₂ се използват емисии от други молекули в МС.

Втората по разпространеност молекула в МС е CO. Нейното относително съдържание е 10⁻⁵, т.е. една CO молекула на $\approx 10^5$ H₂ молекули. Отношението на изотопните форми ¹²CO/¹³CO е около 60/1. За извяване на умерено плътни съгъствания се използват спектралните прояви на ¹³CO, а за по-плътни съгъствания – на ¹⁸CO. Наблюденията на емисии от ротационни преходи на CO в милиметровия и субмилиметровия диапазон покриват плътности в средата от 10² до 10⁴ cm⁻³. За най-плътните съгъствания се използват спектралните прояви на други молекули като NH₃, H₂O, HCO⁺ и SiO.

Най-простият индикатор за структурата на МС е междузвездният прах. Данните от космически телескопи свидетелстват за съществуването на значително количество газ в околностите на МОи – атомарен водород, който не се регистрира от молекулните индикатори. Колонковата плътност на атомарния водород е $8 \times 10^{20} - 5 \times 10^{21}$ cm⁻², типична и за дифузия молекулярен водород. Тези данни, заедно с резултатите от наземни наблюдения, разкриват наличие на съгъствания в МОи с размери ≥ 0.1 pc на разстояния до 1 kpc. Такива се разгръщат след като субмилиметровото лъчение на МС е картирано от космическите мисии *Planck* (1989-1993 г.) и *Herschel* (2009-2013 г.). Данни от тези мисии са използвани съществено и в дисертацията.

Определянето на физическите условия в МС се прави винаги чрез използване на няколко индикатора на структури. В този аспект резонните

задачи на дисертацията, са:

(1) Изследване на общата структура на областите на звездообразване *Perseus* и *Orion A*;

(2) Отделяне и анализ на подструктури в областта на звездообразване *Rosette*;

(3) Разработване на методология за декомпозиция на колонковата ФРП (N-pdf), получена в различни зони на изследваните МОи.

Отразените в дисертацията изследвания са обширни, но с оглед на ограничения обем на рецензията по-долу са изтъкнати само основните научни приноси.

В гл.2, базирана на публ. 1 (Станчев + 6 съавтори, 2015 г., MNRAS) и на базата на публ. 5, е представена методика за изучаване на общата структура на областта на звездообразване *Perseus*, чрез декомпозиция и анализ на колонковата ФРП по данни от мисията *Planck*. Показано е (**основен принос**), че в централната част на МО формата на ФРП може да се фитира (апроксимира) чрез комбинация от логнормални функции плюс степенна функция в областта на високите плътности на ФРП, а в периферията на МО – само чрез комбинация от логнормални функции. Основен диагностичен инструмент е наклонът на закона на скалирането на средната плътност, т.е. на зависимостта средна плътност–размер (Mean-Density Scalling Law), от вида $\langle \rho \rangle_L = L^\alpha$. В централната част на МО наклонът е стръмен, а в периферията – незначителен. Това свидетелства за наличието на зони с различен физически режим – гравитурбулентен, характерен за самия облак и неговата близка околност и предимно турбулентен режим, характерен за далечната дифузна околност на облака. Така централната част на облака е гравитационно доминирана, а дифузната околност – турбулентно доминирана. Преход между двата режима се реализира в пръстеневидните зони, показани на Фиг. 2.1 в Глава 2.

В гл.3, базирана предимно на публ. 3 (Станчев, Велчев и Донков, 2016, X SBAC), но и на резултати от публ. 5,1 и 4, е изследван ефектът на предварителната селекция на различни зони в МО, върху закона за скалиране на средната плътност. Иползвани са данни за колонкова плътност в областта на звездообразване *Orion A* от мисията *Planck*. Приложена е методика за декомпозиция на N-pdf в зони от централното влакно (central filament). Получен наклон на закона -1.6, което свидетелства за самогравитираща природа на този структура. Този резултат се репродуцира за широки части от облаковата околност, което индикира доминиране на гравитацията в енергетиката на цялата област на звездообразване (**основен принос**).

Глава 4, базираща се главно на публ. 2 (Велчев + 5 съавтори, 2017, MNRAS) и на отделни резултати от публ. 1, 3, 4 и 5, е посветена на отделяне и анализ на извадки съгъстявания в областта на звездообразване *Rosette*, като анализът включва отъждествяване на съгъстяванията от различните извадки. Използвани са карти на емисията на молекулите ^{12}CO и ^{13}CO , както и карта на излъчване на праха по данни от мисията *Herschel*, като за отделянето на съгъстявания от тези карти е използван методът за декомпозиция Gaussclumps. Намерено е, че повечето от CO съгъстяванията, асоцирани с прахови или други газови съгъстявания са гравитационно свързани и локализирани в масивни звездообразващи влакнести структури в МО. Тези съгъстявания следват единна зависимост размер-маса от вида $M \sim R^3$, т.е. те изглеждат подобни по между си предзвездни ядра с функция на масите от солпитъров тип (**основен принос**). От друга страна съгъстяванията, отделени от карта на излъчване на праха по данни от *Herschel* и асоцирани с CO съгъстявания, следват скалиране на масата с

наклон 2.5 и функция на масата с много стръмен наклон $\Gamma \sim -2.3$. Тези зависимости трасират плътните части на звездообразуващите съгъстроявания на мащаби няколко парсека, където не може да се очаква зависимост размер—маса с единен наклон (**основен принос**).

Личният принос на дисертанта се определя сравнително лесно. Според авторската справка, която подкрепям, водещата роля на дисертанта изпъква в следните 4 пункта.

(1) Подбор на данни от сателита *Plank* за излъчването на праха и усвояване на съпътстващия софтуер за предварителна обработка на данните, включително подготовка на картите на емисиите на ^{12}CO и ^{13}CO и карта на праха по данни от мисията *Hershel*.

(2) Предварителна обработка на данни от МХД-симулации с усвояване на специален софтуерен пакет, основан на програмния език Python за обработка на файлове, които са съществено различни по структурата си от астрономическите FITS-файлове.

(3) Извличане на зони и пръстени с произволна геометрична форма от различни системи данни, вкл. построяване карти на колонковата плътност за различни ъгли на ориентация на 3D данните от МХД-симулация.

(4) Прилагане на алгоритъма GAUSSCLUMPS за отделяне на подструктури в областта на звездообразуване *Rosette*, с използване на различни софтуерни имплементации. Работата в това направление обхваща и многобройни тестове за достигане на оптимална конфигурация на алгоритъма и изследване на алтернативни методи за отделяне на подструктури, като DENDROGRAM и CLUMPFIND.

В резултат на гореизложеното заключавам, че задачите на дисертацията са решени. Нучните приноси са публикувани изчерпателно. Дисертантът има и над 10 други публикации. Според мен той несъмнено притежава дълбоки знания и умения, вкл. в провеждането на високо технологични изследвания и в публикуването на резултатите в престижни списания.

Отбелязвам критично големия обем на автореферата, който не моое да заменя дисертацията и не следва да надвишава 30 стр. Бих препоръчал също така графиките, особено цветните, да се изпълняват с плътни линии и по-големи символи. Бих искал дисертантът да дообясни на защитата какво представлява, как се получава и как се интерпретира конкретният вид на закона за скалиране на плътността (Mean-Density Scalling Law) на МО.

Отбелязаните недостатъци са незначителни. Смятам, че дисертацията и съпътстващите я публикации удовлетворяват напълно изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, правилниците към него и специфичните изисквания на Физическия факултет на СУ.

В заключение, давам изцяло ПОЛОЖИТЕЛНА ОЦЕНКА на дисертационния труд и убедено препоръчвам на членовете на почитаемото Научно жури да присъдят научната и образователна степен „доктор” на ас. Орлин Иванов Станчев.

20 март 2017 г.

Рецензент:
(Проф. Цвена Б. Георгиев)