

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по науке
ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
к.ф.-м.н. Кружаев В.В.



_____ 20__ г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Диссертация «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГИГАНТСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ» выполнена в Астрономической обсерватории имени К. А. Бархатовой, Институт естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

В период подготовки диссертации соискатель Ладейщиков Дмитрий Антонович работал в Астрономической обсерватории имени К. А. Бархатовой, Институт естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в должности инженера-исследователя.

В 2010 г. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет имени А.М. Горького». Присуждена квалификация «Инженер» по специальности «Информационные системы и технологии».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Научный руководитель – Соболев Андрей Михайлович, кандидат физ.-мат. наук, заведующий отделом астрофизики и физики Солнца Астрономической обсерватории имени К. А. Бархатовой, Институт естественных наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

По итогам обсуждения диссертации «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГИГАНТСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ» принято следующее заключение:

Диссертация посвящена исследованию пространственно-кинематической структуры гигантских молекулярных облаков и особенностей звездообразования в них. Для решения поставленной задачи были исследованы данные наблюдений и моделирования в различных линиях межзвёздной среды, в том числе CO, HC₃N, CH₃OH, NH₃. и др. На основании анализа данных моделирования были исследованы статистические соотношения для гигантских молекулярных облаков (т.н. соотношения Ларсона). Показано, что данные соотношения выполняются и в моделях галактик, хотя в настоящий момент до сих пор нет теоретического объяснения механизма возникновения данных соотношений. На основании анализа данных наблюдений в линии CO была

исследована пространственно-кинематическая структура в направлении на гигантское молекулярное облако G174+2.5, содержащее области звездообразования S231-S235. Выделены основные компоненты облака (яркие молекулярные сгустки) и получены их физические характеристики. По результатам собственных наблюдений получены новые регистрации линий CH_3OH , HC_3N и NH_3 в направлении на области звездообразования S231-235, что указывает на высокую плотность газа и активные процессы звездообразования в данных областях. По линии NH_3 были определены температуры и плотности молекулярных сгустков, а по линии CO определены размеры, лучевые концентрации и массы сгустков. Исследована вириальная устойчивость сгустков, которая показала гравитационную неустойчивость всех рассматриваемых сгустков. Для области S233, которая является частью гигантского молекулярного облака G174+2.5, впервые исследованы особенности звездообразования. Проанализирована пространственно-кинематическая структура окружающего молекулярного облака в различных линиях молекулы CO по наблюдениям на телескопах SMT и FCRAO. Исследованы характеристики области S233 в оптическом и инфракрасном диапазонах длин волн по архивным данным космических телескопов. Для определения параметров ионизирующей звезды в S233 использованы оптические спектры высокого разрешения, полученные на телескопе БТА. В результате анализа данных наблюдений рассмотрены различные сценарии звездообразования. Установлено, что наиболее правдоподобный сценарий звездообразования для области S233 – «Сжатие существующего сгустка», характерные признаки которого можно наблюдать в области S233.

Актуальность темы связана с тем, что основная часть звёзд рождается в гигантских молекулярных облаках (ГМО), поэтому исследование особенностей пространственно-кинематической структуры ГМО позволяет исследовать особенности звездообразования в Галактике. Стимулированное звездообразование – один из наиболее эффективных процессов звездообразования. В настоящий момент принята точка зрения, что стимулированное звездообразование в Галактике и других галактиках протекает по двум основным сценариям – «Коллапс-и-сжатие» и «Сжатие существующего сгустка». Следует отметить, что источником энергии для данных сценариев могут быть различные процессы, в том числе взрывы сверхновых, расширения зон III, столкновения облаков молекулярного газа и др. Наличие большого числа молекул в межзвездной среде дает богатые возможности для анализа химического состава и физических условий. Согласно исследованиям, процессы звездообразования происходят в первую очередь в местах повышенной концентрации газа, главная компонента которого – молекулярный водород. Для исследования областей повышенной концентрации газа могут быть использованы различные молекулы, выступающие в качестве индикаторов тех или иных процессов и условий, возникающих в межзвездной среде. Молекулярный газ распределён в Галактике неравномерно, причём он сконцентрирован в различные иерархические структуры – гигантские молекулярные облака, молекулярные облака, молекулярные сгустки и ядра. Исследование данных структур позволяет сделать выводы о протекающих в них процессах звездообразования. В первую очередь ставятся следующие вопросы: каким образом возникли наблюдаемые звездообразующие комплексы, какие звезды в них образуются, каковы их основные физические характеристики (масса, плотность, температура), при каких условиях возникают и протекают процессы звездообразования, каковы основные свидетельства их активности в данный момент и каким образом они влияют на окружающее межзвездное вещество.

Личное участие соискателя в получении результатов диссертации заключается в том, что он полностью самостоятельно осуществил наблюдения плотных молекулярных сгустков в направлении на области звездообразования S231-S235 на радиотелескопе РТ-22 ФИАН, предварительно разработав систему автоматизации для двухканального радиометра РТ-22 диапазона 8 мм для осуществления программы наблюдений. По результатам проведенных наблюдений были обнаружены новые источники излучения в направлении на S231-S235 в линиях метанола, цианоацетилена и аммиака. По результатам анализа архивных данных в линии CO , а также собственных данных в линии NH_3 получены основные физические характеристики молекулярных сгустков. Автор самостоятельно обработал данные и исследовал особенности звездообразования в областях S231-S235, написал основную часть текста статьи, которая была опубликована в журнале «Астрофизический Бюллетень». Автор самостоятельно исследовал особенности звездообразования в

области S233 и обработал данные в инфракрасном диапазоне и в линии CO, в результате чего были обнаружены признаки активного звездообразования около звезды спектрального класса B1.5V. Автор написал основную часть текста статьи, которая была опубликована в MNRAS. Автор принял активное участие в выделении молекулярных облаков в моделях дисковых галактик с разной морфологией методом Clumpfind, результатом чего стала статья, опубликованная в MNRAS. Все результаты, представленные в работе, получены автором лично или при его активном участии.

Степень достоверности результатов проведенных исследований Научные результаты и выводы, представленные в работе, достоверны, поскольку основаны на наблюдательных данных и современных объективных методах исследования, признанных как российскими, так и зарубежными учеными. Сравнительный анализ полученных результатов с опубликованными результатами других авторов показывает удовлетворительное согласие, что является подтверждением достоверности результатов.

Новизна и практическая значимость работы

Впервые проведен анализ статистических характеристик молекулярных облаков в моделях галактик для различных методов выделения структур в молекулярных облаках, в том числе с применением алгоритма Clumpfind для моделей дисковых галактик с различной морфологией. Установлено, что способ выделения молекулярных облаков влияет на их основные физические характеристики -- массы, светимости и дисперсии скоростей на луче зрения. Исследовано влияние методов выделения на статистические характеристики (соотношения Ларсона) молекулярных облаков. Значимость данного результата заключается в том, что алгоритм Clumpfind был впервые применен для анализа данных гидродинамического моделирования дисковых галактик, что позволяет сравнить результаты моделирования с данными наблюдений, в которых применение алгоритма Clumpfind является стандартной процедурой.

Впервые получены физические характеристики молекулярных сгустков в направлении на области звездообразования S231-S235 по линиям CO и NH₃. Получены новые регистрации линий NH₃ и HC₃N в источниках WB89 673 и WB89 668, что указывает на присутствие вещества с высокой плотностью. По линии CO были определены размеры, лучевые концентрации и массы молекулярных сгустков. По линии NH₃ определены температуры и концентрации газа в молекулярных сгустках. Установлено, что значения температуры и концентрации молекулярного газа лежат в пределах 16-30 K и $2.8-7.2 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$, соответственно. Линия CH₃OH на частоте 36.2 ГГц, которая трассирует ударные фронты в межзвездной среде, в источнике WB89 673 была зарегистрирована впервые. Значимость данного результата заключается в том, что физические параметры молекулярных сгустков и особенности звездообразования для областей S231-S235 были получены впервые. Практическая значимость результата также заключается в том, что на радиотелескопе RT-22 была разработана система автоматизации для двухканального радиометра диапазона 8 мм и впервые были исследованы области звездообразования на данном радиометре, который позволяет одновременно получать две спектральные линии в диапазоне 34-38 ГГц. Прделанная работа доказывает возможность использования RT-22 для исследований областей звездообразования на новом оборудовании.

Впервые исследована пространственно-кинематическая структура молекулярного облака в области звездообразования S233. На основании архивных данных в инфракрасной области, а также по собственным данным излучения в линии CO и оптическим спектрам была исследована ионизирующая звезда, оптическая туманность, молекулярный газ и пыль в области S233. На основании полученных данных была исследована природа звездообразования в окрестности области S233. Анализ расчетов с применением одномерной модели, указывает на то, что сценарий «сжатие-и-коллапс» в области S233 может быть реализован в том случае, если средняя плотность газа имеет значение $4 \times 10^4 \text{ см}^{-3}$. Данное значение слишком велико для средней плотности газа в области S233, поэтому сценарий «сжатие-и-коллапс» не реализуем в области S233. Предполагается, что наиболее правдоподобный сценарий звездообразования для области S233 – «сжатие существующего сгустка». Признаки данного процесса -- яркие оболочечные структуры рядом с кометарными глобулами и поярчениями. В случае области S233 можно наблюдать яркую оболочечную структуру и

кометообразное поярчение S1, направленное к ионизирующей звезде. Научная значимость результата заключается, в том, что признаки звездообразования для области S233 были исследованы впервые. Установлено, что в данной области наблюдается довольно редкий класс объектов – одиночная звезда главной последовательности, которая влияет своим ударно-ионизационным фронтом на окружающий молекулярный газ и показывает признаки активного звездообразования на своей границе.

Полнота изложения материалов диссертации в научных работах, опубликованных соискателем. Научные результаты, представленные в диссертации, полностью представлены в 10 научных работах, 3 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций.

Результаты работы докладывались на объединенных научных семинарах кафедры астрономии и геодезии Уральского федерального университета, на семинаре Института астрономии РАН, на семинаре Пушчинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра РАН, а также были представлены на следующих конференциях:

41-я, 42-я Международные студенческие научные конференции, Екатеринбург, Коуровская астрономическая обсерватория; Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2010, Нижний Архыз, 13-18 сентября, 2010; школа-семинар «Физико-Химические процессы в межзвёздной среде», Волгоград, 01-06 сентября, 2011; XLII Young European Radio Astronomers conference, Pushchino, Russia, 18-21 September, 2012; «Star formation across space and time» conference, Noordwijk, The, Netherlands, 11-14 November, 2014; European Week of Astronomy and Space Science conference, La Laguna, Canary Islands, Spain, 22-26 June 2015.

Соответствие содержания диссертации специальности, по которой рекомендуется к защите Диссертация Ладейщикова Д.А. посвящена исследованию методов выделения структур в гигантских молекулярных облаках, что соответствует специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия.

**Диссертация «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
СТРУКТУРЫ ГИГАНТСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ»**

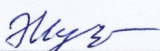
Ладейщиков Дмитрий Антонович

рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия

Заключение принято на заседании объединенного научного семинара Астрономической обсерватории имени К.А. Бархатовой и кафедры астрономии и геодезии департамента «Физический факультет» Института естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

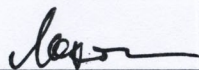
Присутствовало на заседании 17 чел. Результаты голосования: "за" – 17 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 32 от "11" июня 2013 г.

Заведующий кафедрой астрономии и геодезии
Департамент «Физический факультет»
Институт естественных наук УрФУ
доцент
доктор физ.-мат. наук



Кузнецов Эдуард Дмитриевич

Председатель Семинара
заведующий отделом звездной астрономии
Астрономической обсерватории имени К. А. Бархатовой
Институт естественных наук УрФУ
доцент по специальности
кандидат физ.-мат. наук



Локтин Александр Васильевич