

## УТВЕРЖДАЮ

проректор МГУ имени М.В.Ломоносова  
профессор А.А. Федянин

---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

### ОТЗЫВ

*ведущей организации*

*(МГУ имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1)*

*на диссертационную работу **ЛАДЕЙЩИКОВА Дмитрия Антоновича** на соискание учёной степени «кандидат физико-математических наук» по специальности «01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия» (отрасль наук: «физико-математические») на тему «**Исследование пространственно-кинематической структуры гигантских молекулярных облаков**»*

Диссертация Дмитрия Антоновича Ладейщикова посвящена одной из актуальных областей современной астрофизики — исследованию особой составляющей межзвёздной среды в Галактике, гигантским молекулярным облакам (ГМО). Эти объекты интересны тем, что они представляют собой места активного звездообразования. Подробное изучение физических условий в ГМО необходимо для понимания процесса возникновения звёзд, что является важнейшей задачей астрофизики. Наиболее эффективный метод изучения ГМО – радиоспектроскопия межзвёздных молекул, традиционные методы классической оптической астрономии не подходят из-за очень большого поглощения света в ГМО. Диссертация Д.А. Ладейщикова содержит именно исследование ГМО при помощи данных о молекулярных радиолиниях, самом информативном источнике данных о ГМО. Актуальность избранной автором темы диссертации по этой причине не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения, четырёх глав, Заключение и списка цитированной литературы.

Во Введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, перечислены основные результаты, выносимые на защиту, охарактеризованы научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов работы. Указаны личный вклад автора в совместные работы и апробация результатов диссертации на научных конференциях и семинарах.

В Главе 1 дан обзор методов исследования структуры межзвёздных молекулярных облаков. Отмечена важная роль линий молекулы CO, наиболее распространённой

в ГМО после молекулярного водорода  $H_2$ . Описаны методы и алгоритмы анализа структур ГМО в «кубах данных» (две пространственных координаты и лучевая скорость), представляющих собой результаты наблюдений в спектральных радиополосах молекул и численного моделирования. Анализ в последующих главах существенно опирается на материал, изложенный в Главе 1.

В Главе 2 анализируется область звездообразования, связанная с туманностью S233 в ГМО G174+2.5. Используются обработанные лично автором данные наблюдений области в линии молекулы CO на радиотелескопах SMT (Аризона, США) и FCRAO (Массачусеттс, США). Для определения параметров ионизирующей использованы оптические спектры, полученные на БТА САО РАН. Привлекаются доступные данные наблюдений области в оптическом, ближнем и дальнем инфракрасном диапазонах. Проанализировано взаимодействие области III с молекулярным облаком. В линии  $^{12}CO$  выделен сгусток молекулярного газа. Согласно изложенному в работе, сценарий звездообразования в данной области – сжатие ранее сформировавшегося молекулярного сгустка.

Глава 3 содержит результаты оригинальных наблюдений областей звездообразования S231-S235 в том же молекулярном облаке G174+2.5. Наблюдения выполнены на радиотелескопе РТ-22 Пушинской радиоастрономической обсерватории в двух диапазонах, доступных инструменту: 1.3 см (линии  $H_2O$  и  $NH_3$ ) и 8 мм (линии метанола  $CH_3OH$  и цианацетилена  $HC_3N$ ). На основании полученных наблюдательных данных проведен комплексный анализ физических условий в исследованных сгустках вещества, в некоторых сгустках линия  $CH_3OH$  наблюдалась впервые.

Глава 4 посвящена более глобальным вопросам, а именно статистическим характеристикам молекулярных облаков в галактиках разных классов. Анализируются полученные Ларсоном в работе 1981 года эмпирические статистические структурные соотношения между параметрами молекулярных облаков вида  $A \sim B^{\beta}$ , где  $A, B$  – характеристики облаков, найденные из наблюдений (размер облака, дисперсия скоростей, вириальная масса, светимость в линии молекулы CO). Получены структурные соотношения для ГМО, рассчитаны спектры массы ГМО для различных морфологических типов галактик.

В Заключении резюмированы результаты работы.

Отметим некоторые недостатки работы.

В конце Главы 2 на стр. 72-73 говорится о сценарии звездообразования в найденном автором сгустке вещества в области S233 при сжатии ранее существовавшего сгустка под действием излучения звезды или фронта области III. Никак не обсуждается вероятная история возникновения самого сгустка. Ввиду того, что физические параметры сгустка достаточно подробно определены автором, желательно было бы обсудить этот вопрос. В качестве мелких недостатков можно отметить погрешности стиля изложения и неисправленные опечатки (в том числе и в автореферате), хотя в целом работа написана очень грамотным языком и прекрасно иллюстрирована. Ошибочно утверждение автора на странице 14 о том, что «потенциал диссоциации для молекулы CO намного ниже, чем для молекулы  $H_2$ , поэтому молекула CO намного проще разрушается под действием жесткого ультрафиолетового излучения от горячих OB-звезд». Ситуация как раз обратная: у  $H_2$  потенциал диссоциации 4.478 эВ, а у CO 11.09 эВ.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

В целом автор диссертации Ладейщиков Д.А. проявил хорошее владение современными методами радиоастрономических наблюдений и обработки данных. Им детально исследована методика анализа «кубов данных» наблюдений в спектральных радиополосах молекул, что существенно подкрепляет надёжность полученных результатов. Глава 1 диссертации представляет самостоятельный интерес и свидетельствует об эрудиции автора в данной проблеме. Диссертация Д.А. Ладейщикова — современное исследование, выполненное на высоком уровне в актуальной области астрофизики. Личный вклад автора состоит в совершенствовании процесса наблюдений на радиотелескопе РТ-22, в получении оригинального наблюдательного материала, в его обработке и интерпретации.

Новизна работы состоит в большом объёме оригинальных наблюдательных данных, в результатах их анализа, полученных физических параметрах межзвёздных молекулярных облаков и сделанных на их основе выводов о природе возникновения звёзд в исследованных областях звездообразования.

Достоверность и обоснованность полученных автором результатов подтверждается выполненными им наблюдениями; результаты тестовых наблюдений полностью совпадают с опубликованными данными других авторов

Работа имеет большое практическое значение в той части, которая посвящена автоматизации процесса наблюдений на радиотелескопе РТ-22 Пущинской

радиоастрономической обсерватории, а также в плане использования полученных результатов в астрономических учреждениях, где ведутся исследования по физике межзвёздной среды, исследованию областей звездообразования, радиоспектроскопии межзвёздных молекул (Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Институт астрономии РАН, Астрокосмический центр ФИАН, ГАИШ МГУ и др.), в частности, могут быть применены разработанные автором программы обработки и анализа данных.

Результаты работы апробированы на восьми научных конференциях, в том числе на пяти международных. По теме диссертации опубликованы 11 работ, в том числе три — в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций (две – в Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, одна – в Astrophysical Bulletin).

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Из вышеизложенного следует, что представленная работа, безусловно, соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «Астрофизика и звёздная астрономия» и автор работы **ЛАДЕЙЩИКОВ Дмитрий Антонович** заслуживает присуждения ему искомой степени.

Отзыв на диссертационную работу **Д.А. Ладейщикова** обсуждён и одобрен на заседании Координационного Совета ГАИШ МГУ по астрофизике 31 августа 2016 года, протокол № \_\_\_\_.

**Отзыв составил**

заведующий отделом радиоастрономии ГАИШ МГУ  
(119991, Москва, Университетский проспект, 13),  
председатель Координационного Совета ГАИШ МГУ  
по астрофизике,  
доктор физ.-мат. наук

Г.М. Рудницкий

Секретарь Координационного  
Совета ГАИШ МГУ по астрофизике,  
кандидат физ.-мат. наук

И.Б. Волошина

Заместитель директора ГАИШ МГУ,  
доктор физ.-мат. наук

К.А. Постнов