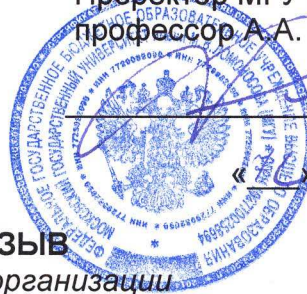


УТВЕРЖДАЮ

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



« 04 » апреля 2016 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации

*(МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1)  
на диссертационную работу **БАЯНДИНОЙ Ольги Сергеевны** на соискание учёной степени «кандидат физико-математических наук» по специальности «01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия» (отрасль наук: «физико-математические») на тему «Свойства молекулярного мазерного излучения в газо-пылевых комплексах Млечного Пути»*

Диссертационная работа О.С. Баяндиной выполнена в одной из важнейших областей астрофизики, она посвящена исследованию областей образования звёзд из межзвёздного газа. Ранние стадии образования звёзд представляют собой фундаментальную проблему астрофизики. Наблюдения радиоизлучения молекул дают уникальную возможность исследовать очень молодые звёздные объекты, погружённые в плотные газо-пылевые межзвёздные облака и недоступные для исследования в оптическом диапазоне. Особый интерес представляют так называемые плотные ядра – сгустки межзвёздного вещества, в которых зарождаются звёзды. Линии излучения молекул несут информацию о физических условиях в ядрах, что даёт возможность моделировать процессы, происходящие внутри ядер и приводящие к возникновению звёзд. В то время как теория образования звёзд малой массы (порядка солнечной) в целом разработана достаточно хорошо, детали этого процесса гораздо менее изучены. Поэтому актуальность избранной темы работы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка цитированной литературы из 206 названий и двух приложений.

Во Введении изложены основные сведения о мазерной активности молекулярного вещества в межзвёздной среде, сформулированы актуальные задачи и нерешённые проблемы, связанные с эволюцией дозвёздных объектов, дано обоснование выбора темы исследования, актуальности работы, отмечены новизна, научное и практическое значение. Даны сведения о личном вкладе автора, об апробации работы и публикациях по теме диссертации. Приводится краткий обзор содержания диссертации по главам. Перечислены результаты, выносимые на защиту.

В главе 1 автор анализирует возможную роль небольших тёмных облаков (глобул) в формировании протозвёздных конденсаций и сопровождающее этот процесс излучение метанольных мазеров I класса (сlMM). В главе 2 рассмотрено влияние магнитного поля на процесс сжатия протозвёздных конденсаций. Главы 3 и 4 содержат результаты оригинальных наблюдений, выполненных при личном участии О. С. Баяндиной либо по составленной ею программе.

Отметим наиболее важные результаты, полученные в работе.

Введение, главы 1 и 2 содержат подробный обзор существующих наблюдательных данных по газо-пылевым конденсациям межзвёздной среды, их классификации и присутствующего в них мазерного радиоизлучения в линиях молекул метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), водяного пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и гидроксила ( $\text{OH}$ ). Изложенные детальные сведения о рассматриваемых объектах составляют прочную базу для последующего анализа вместе с подготовленной автором обновлённой версией каталога 206 источников мазерного излучения метанола I класса (подготовка каталога является одним из результатов, выносимых на защиту). Все выборки объектов для последующего наблюдательного исследования подготовлены именно на основе этого каталога, который, безусловно, имеет самостоятельную ценность. Автор проводит тщательное сравнение набора сlMM с мазерными радиоисточниками в линиях других молекул, что позволяет сделать выводы об эволюционной шкале для исследованных протозвёздных конденсаций, на разных этапах которой присутствуют или отсутствуют мазеры в тех или иных молекулярных линиях. Критическим моментом здесь является взаимное расположение мазерных конденсаций, излучающих в разных молекулярных линиях, и расстояния между ними. Этот вопрос детально проанализирован автором, составлена шкала взаимных расстояний, на которых могут располагаться конденсации, находящиеся на разных стадиях эволюции.

Для оценки влияния магнитного поля на эволюцию протозвёздных конденсаций автор использует архивные данные наблюдений в линиях гидроксила на радиотелескопе в Нансэ (Франция). Получены значения напряжённости магнитного поля в конденсациях порядка долей миллигаусса или единиц миллигаусс. Для рассматриваемых конденсаций такие оценки получены впервые.

Большое место в диссертации занимают результаты оригинальных наблюдений автора в линиях гидроксила. Цикл наблюдений областей звездообразования в линиях  $\text{OH}$  был проведен с личным участием О.С. Баяндиной на 70-метровом радиотелескопе в Евпатории. Существенно новым итогом является детектирование во многих



источниках излучения в сателлитной линии ОН на частоте 1720 МГц. Это указывает на присутствие в источниках ударных волн, вероятно, связанных с биполярным истечением вещества из молодых звёздных объектов. Одним из главных результатов являются наблюдения выборки 100 мазерных радиоисточников в четырёх линиях основного состояния молекулы гидроксила на интерферометрической системе VLA (США). Программа наблюдений подготовлена автором самостоятельно на основе каталога SIMM (глава 1), ею же выполнялась обработка и построение карт источников. Показано, что мазерное излучение гидроксила и в разных линиях метанола может исходить из разных протозвёздных ядер, оценены расстояния между ними.

Ещё два эксперимента, выполненные при участии О.С. Баяндиной, - наблюдения выборки 24-х SIMM з каталога главы 1 в линии водяного пара на одиночной антенне РТ-22 в Пущино и наблюдения мазера  $\text{H}_2\text{O}$  IC 1396N при помощи наземно-космического интерферометра «Радиоастрон». В первом обзоре было зарегистрировано излучение  $\text{H}_2\text{O}$  в 11 объектах из 24-х, причём в ряде случаев отмечено различие в лучевых скоростях линий  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_3\text{OH}$  до 5 км/с. Это различие объясняется тем, что мазеры формируются в разных ядрах, либо мазер  $\text{H}_2\text{O}$  формируется за фронтом ударной волны, в то время как мазер  $\text{CH}_3\text{OH}$  – в спокойной межзвёздной среде, не подвергшейся ударному воздействию. Обнаружен один новый мазер  $\text{H}_2\text{O}$  – G28.83-0.25. При повторных наблюдениях мазеров найдена значительная переменность излучения  $\text{H}_2\text{O}$  некоторых источников с характерными временами в несколько месяцев. Для мазера IC 1396N не удалось получить положительный результат на наземно-космической базе «Радиоастрона», однако данные, полученные на связанной наземной сети радиотелескопов, позволили построить прекрасную карту мазера  $\text{H}_2\text{O}$ , указывающую на наличие мощного выброса вещества из протозвёздного (молодого звёздного) объекта.

В заключении приведен список публикаций автора по теме диссертации.

В приложении I приведены фотографии и параметры радиотелескопов, на которых были получены наблюдения, использованные в диссертации. В приложении II дана схема вращательных уровней молекулы метанола с указанием переходов, в которых наблюдается мазерное радиоизлучение.

Отметим некоторые недостатки работы. На стр. 7 ошибочно указано: «В первичной классификации SIMM и SIMM предполагалось, что расстояние между SIMM и SIMM – не менее 1–2 кпк», должно быть: «1–2 пк». Имеются неисправленные опечатки (стр. 18, 20, 104, 105, 106, 118 и др.). На некоторых графиках (рис. 3.3, 3.5, 3.6, 4.1–4.14, 4.17–4.23) надписи или обозначения осей даны на английском языке. С точки зрения

единства стиля в русскоязычной работе хотелось бы видеть надписи на русском. На рисунках 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3.1, 3.3, 3.4, 3.5, 4.15, 4.16 в обозначении вертикальной оси должна быть «Плотность потока, Ян», а не «Поток, Ян». В файле PDF диссертации срезана нижняя часть рисунка 2.1. Однако эти незначительные технические погрешности ничуть не снижают общей высокой оценки представленной работы.

Диссертация О.С. Баяндиной — современное экспериментальное исследование, выполненное на высоком уровне в актуальной области астрофизики. Личный вклад автора состоит в организации обзоров протозвёздных объектов в молекулярных радиолиниях, в получении большого объёма оригинального наблюдательного материала и в освоении методики его обработки. Сделаны конкретные новые выводы о природе и эволюционном статусе протозвёздных конденсаций. О.С. Баяндина проявила хорошее знакомство с современным состоянием исследований областей звездообразования и мазерных радиоисточников, отличное владение сложной методикой обработки радиоинтерферометрических данных и творческий подход к их интерпретации.

Достоверность и обоснованность полученных автором результатов, выносимых на защиту, подтверждается выполненными в работе наблюдениями на современных инструментах и совершенной методикой обработки данных, а также тщательным и подробным анализом всех исследованных объектов.

Научная новизна работы заключается в том, что все эксперименты, результаты которых представлены в диссертации, проведены впервые. Полученные данные ранее не публиковались и могут быть использованы в перспективе для дальнейших научных исследований. Практическая ценность заключается в том, что в процессе обработки данных собственных наблюдений О.С. Баяндина использовала широкий спектр существующих программных пакетов, а также предложила собственные методики обработки. В частности, результаты, полученные на интерферометрической системе VLA в рамках собственного проекта исследований, обрабатывались в пакете CASA (Common Astronomy Software Applications), который разрабатывается международным консорциумом учёных на базе Национальной радиоастрономической обсерватории США для обработки данных, полученных на радиоинтерферометрах нового поколения (ALMA и др.).

Работа имеет большое практическое значение в плане использования полученных результатов в астрономических учреждениях, где ведутся исследования по физике межзвёздной среды и областей звездообразования (Специальная



астрофизическая обсерватория РАН, Институт астрономии РАН, Институт прикладной физики РАН, Уральский федеральный университет, ГАИШ МГУ и др.), в частности, могут быть применены разработанные автором программы обработки данных.

Результаты работы апробированы на 14 научных конференциях, в том числе на семи международных. По теме диссертации имеется 25 публикаций, в том числе шесть статей в «Астрономическом журнале», входящем в список рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций.

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 БАЯНДИНА Ольга Сергеевна заслуживает присуждения ей искомой степени.

Отзыв на диссертационную работу **О.С. Баяндиной** обсужден и одобрен на заседании Координационного Совета ГАИШ МГУ по астрофизике 6 апреля 2016 года, протокол № 90.

#### Отзыв составила

старший научный сотрудник  
отдела радиоастрономии ГАИШ МГУ  
(119991, Москва, Университетский проспект, 13)  
кандидат физ.-мат. наук

В.К. Конникова

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



С.А. Ламзин

(Печать ГАИШ МГУ)