

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический
ИНСТИТУТ**



*имени
П.Н. Лебедева*

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, ГСП-1, Москва
Ленинский проспект, 53 ФИАН
Телефон: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>

Дата **14** .03.2016 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
Зам. директора ФИАН
С.Ю. Савинов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки
Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской Академии Наук

Диссертационная работа О.С. Баяндиной «Свойства молекулярного мазерного излучения в газопылевых комплексах Млечного Пути» выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук.

В 2011 г. автор окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет» (МПГУ), факультет физики и информационных технологий и в том же году поступила в аспирантуру данного учреждения, которую окончила в 2015 г.

С 2014 г. одновременно работает в отделе космической радиоастрономии АКЦ ФИАН в должности младшего научного сотрудника.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

На заседании астрофизического семинара АКЦ ФИАН слушали доклад младшего научного сотрудника АКЦ ФИАН О.С. Баяндиной «Свойства молекулярного мазерного излучения в газопылевых комплексах Млечного Пути» по диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия». Обсуждались следующие вопросы.

Актуальность темы состоит в направленности на решение ряда задач в рамках аспектов фундаментальной научной проблемы по теме «Физика и эволюция звезд и межзвездной среды», связывающей межзвездную среду и звезды эволюционным процессом.

Конкретные приложения такого рода работ стимулируют развитие и расширение частотного диапазона и техники исследований наблюдательных проявлений вещества, излучения и полей, заполняющих межзвездное пространство, а также использование и внедрение в практику самых современных технических возможностей и способов ведения научных экспериментов - в частности, создание крупных интерферометрических сетей для увеличения пространственного разрешения наблюдаемых объектов.

В более узком смысле изучение процессов эволюции межзвездной среды и звездообразования включает в себя исследование многообразных пекулярных объектов, сопровождающих эти процессы, в частности, источников мазерного излучения на молекулах межзвездной среды, формирующихся в протозвездных конденсациях.

Диссертация автора основана на результатах 7 экспериментов, из трех были использованы архивные наблюдательные данные, четыре выполнены в рамках собственных заявок: на радиотелескопе РТ-70 Центра дальней космической связи (Евпатория, Крым), на радиотелескопе РТ-22 Пушинской обсерватории, на интерферометрической решетке VLA Национальной радиоастрономической обсерватории США и на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон.

Достоверность результатов проведенных исследований, обоснованность выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается надежностью и техническим состоянием телескопов и международных интерферометрических сетей, данные наблюдений на которых проводил автор, совершенством методики обработки данных, которая проводилась с помощью современных программных пакетов, и апробацией на международных и всероссийских конференциях и семинарах с участием известных и опытных специалистов.

Оценка результатов диссертации.

В процессе отождествления в рамках собственного каталога 206 метанольных мазеров I класса, формирующихся в изолированных газо-пылевых сгустках, удаленных от центров активного образования протозвезд, показано, что в 72% случаев они отождествляются с холодными плотными темными облаками SDC (Spitzer Dark Cloud, космическая миссия Spitzer), и это свойство является принципиальным, которое можно эффективно использовать в новых поисковых экспериментах с целью обнаружения новых кластеров звездообразования на очень ранней стадии эволюции межзвездной среды.

Показано, что в достаточно произвольной и весьма небольшой выборке объектов, в направлении которых одновременно наблюдаются мазеры гидроксила и метанола (всего 7 источников), эти мазеры концентрируются в газо-пылевых комплексах размером примерно 2000 а.е. для метанольных мазеров II класса и около 200000 а.е. для метанольных мазеров I класса, что соответствует размерам протопланетных дисков и небольших сгустков межзвездной среды типа SDC, соответственно. В молекуле метанола отсутствует непарный электрон, и расщепление линий в магнитном поле очень слабое, но отмеченное нами свойство позволяет применить оценки напряженности магнитного поля по зеемановскому расщеплению уровней молекулы OH к метанольным конденсациям, и следовательно, оценить, может ли магнитное поле противостоять гравитационной компрессии облака, замедляя процесс образования аккреционных дисков, и повлиять на время появления в области характерных пекулярных объектов – в частности, мазерных источников. В диссертации отмечается, что в перспективе имеет смысл провести такие исследования для большего количества облаков, в которых наблюдаются и мазеры OH, и мазеры метанола обоих классов, что даст статистически более надежные результаты, в частности, в оценке времени жизни мазерных конденсаций, и позволит внести поправки в эволюционную шкалу.

Молекулярные ядра, в которых наблюдаются метанольные мазеры I класса, находятся на удалении примерно 1 пк от центров активного образования протозвезд в объектах EGO. Такое свойство, обнаруженное автором в процессе интерпретации данных наблюдений этих источников на VLA, также является принципиальным. 1 пк - это, в среднем, расстояние между звездами, что неоднозначно указывает на участие ядер с метанольными мазерами I класса в процессе звездообразования. Фазы этих процессов именно в таких ядрах остаются неизученными. Объекты EGOs исследовались в диссертации с целью поиска признаков наличия ударных волн, возможно, провоцирующих общий механизм накачки метанольных мазеров I класса и мазеров OH в сателлите на частоте 1720 МГц. На

наличие признаков ударных волн указывают результаты авторских наблюдений EGOs на радиотелескопе РТ-70 (Крым) с диаграммой 9', но с синтезированной диаграммой интерферометра VLA в конфигурации C 12'' подтвердить этот факт не удалось – именно в направлении источников EGOs, в которых факт наличия биполярных потоков, распространяющих ударные волны, считается доказанным. Является ли отсутствие излучения в линии OH(1720) в направлении метанольных мазеров I класса общим свойством для молекулярных ядер с этими мазерами, могут показать данные наблюдений остальных 80 источников обзора автора на VLA (в процессе обработки). Эти результаты должны привести к построению моделей таких молекулярных ядер и получению новых физических параметров биполярных потоков.

Сопоставление общих и различающихся свойств мазеров H₂O и других межзвездных мазеров представляется наиболее сложной задачей ввиду их переменности как по интенсивности, так и по скорости в пределах профилей линий. При этом автор отмечает, что, учитывая тот факт, что мазеры H₂O являются наиболее мощными из всех космических мазеров, для их мониторинга можно использовать небольшие телескопы, оснащенные современной высокоточной приемной и анализирующей аппаратурой – такой системой является, например, радиотелескоп РТ-22 в Пушино. Обзор, который автор провела в линии H₂O на волне 1.35 см на этом телескопе в направлении 24-х объектов коротковолнового инфракрасного диапазона EGOs/Spitzer, показал очень интересные результаты. В диссертации показано, что в половине источников скорость пика линий метанольных мазеров I класса и мазеров H₂O в этих объектах различается на 5-10 км/с. Это может означать, что данные мазеры формируются в разных молекулярных ядрах или в разных частях биполярного потока – например, мазеры H₂O могут трассировать как основание биполярного потока, так и область взаимодействия этого фронта со спокойной межзвездной средой, в большей степени отслеживая скоростью деталей профиля воздействие фронта биполярного потока, чем более крупные и массивные газо-пылевые конденсации, в которых формируются метанольные мазеры I класса. Автором предлагается использовать такие свойства мазеров для постановки новых экспериментов на интерферометрах с целью уточнения координат мазерных пятен обоих видов – на фоне постоянного мониторинга, подобного тому, который выполнен в рамках диссертации.

Автором представлено исследование тонкой пространственной структуры самого маленького из известных на сегодняшний день протопланетного диска размером 15 а.е., излучающего в линии воды, с помощью наземно-космического интерферометра РадиоАстрон. Этот диск сформирован в одной из 20 глобул туманности IC1396 – это единственная глобула, в которой в данной туманности обнаружен мазер H₂O и самая яркая из всех объектов этой туманности в инфракрасном диапазоне. Область имеет уникальные характеристики, согласно современным представлениям в этом протопланетном диске должны излучать мазеры OH и метанола II класса. Такого излучения нет, но есть излучение мазера метанола I класса, которое не должно ассоциироваться с протопланетным диском. В линии H₂O этот источник, как показал мониторинг в Пушино, сильно переменный, и на момент наблюдений на РадиоАстроне поток в центральной части спектра, соответствующей диску, упал в несколько раз, поэтому на базе с космическим телескопом зарегистрирован не был. При этом на наземной сети в H₂O зафиксированы яркие джеты, не наблюдавшиеся ранее, которые указывают на нестабильность структуры источника, что представляет собой интересную для дальнейших исследований задачу. Несмотря на неудавшуюся часть в наблюдениях с РадиоАстроном, автор провела большую работу по обработке данных наземной интерферометрии и интерпретацию полученной картины джетов. Эти результаты не выносятся на защиту, но представляют собой важную квалификационную часть, выполненную в соответствии с утвержденным планом работы над диссертацией, и положительно характеризующие работу автора.

Личный вклад автора.

Научные задачи и проблемы, которые ставились в процессе выполнения диссертации, решались совместно с научным руководителем и соавторами. При этом личный вклад автора, который составляет более 50% от общего объема работы, состоял в следующем.

1. Автор самостоятельно модернизировала составленный соавторами ранее каталог метанольных мазеров I класса, провела ревизию опубликованной версии, в которую

добавила важную составляющую межзвездной среды - абсорбционные и эмиссионные в коротковолновом и средневолновом инфракрасном диапазоне облака IRDC и SDC и объекты EGO (Extended Green Objects, Spitzer). При этом с помощью современных программ проведен анализ и отождествление данных каталога и данных наблюдений космических миссий MSX и Spitzer. Каталог в новой версии был подготовлен к публикации автором и лег в основу дальнейшей работы над диссертацией.

2. В работе с магнитными полями в газо-пылевых конденсациях, наблюдавшихся в линиях метанола и OH, автор использовала архивные данные из обзора на радиотелескопе в Нансэ (Франция), выполненного ранее сотрудниками лаборатории ОКРА АКЦ ФИАН, но их обработку, интерпретацию результатов, подготовку публикаций в статьях и представление на конференциях автор выполняла самостоятельно.

3. В наблюдениях на одиночном 70-м радиотелескопе (Евпатория, Крым) метанольных мазерных конденсаций в линии OH на частоте 1720~МГц, трассирующей ударную волну, автор принимала личное участие. Отбор из собственного каталога метанольных мазеров I класса, отождествленных с протяженными на волне 4.5 мкм объектами EGO, составление программы наблюдений, выполнение процесса наведения телескопа на источники, контроль записи и анализа информации, обработка данных, представление полученных из наблюдений параметров линий и физических параметров источников выполнены автором лично и самостоятельно.

4. 100 метанольных мазерных конденсаций, отобранных из собственного каталога, наблюдались на интерферометрической решетке VLA в полном спектре основного состояния радикала OH в рамках собственного проекта, одним из главных заявителей которого была автор диссертации. Автор лично провела конкретизацию наблюдательных программ для операторов интерферометра, подготовку фазовых и амплитудных калибраторов для использования в обработке данных по источникам, очистку и картографирование данных, интерпретацию полученных результатов и моделирование 20 молекулярных ядер, содержащих EGOs, которые полностью вошли в содержание диссертации.

5. В наблюдениях метанольных конденсаций I класса, протяженных на волне 4.5 мкм (EGOs), на одиночном радиотелескопе РТ-22 в Пушкино в мазерной линии H₂O на волне 1.35 см автор принимала личное участие. Ею составлена таблица сравнительных параметров наблюдений. В соответствующей статье вводная часть, постановка задачи и частично интерпретация наблюдений написана автором лично.

6. Автор лично принимала участие в составлении задания для наблюдений протопланетного диска в глобуле IC1396N на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон в мазерной линии H₂O, коррелированные данные обрабатывались автором самостоятельно, также как и выполнение оформления полученных результатов и представление их на семинарах и конференциях

Апробация результатов.

Все результаты и выводы, полученные в процессе работы над диссертацией, были представлены научной общественности на следующих российских и зарубежных научных конференциях:

1. Всероссийская Астрономическая конференция ВАК-2010 «От эпохи Галилея до наших дней», 2010, САО, Нижний Архыз, Россия.

2. 40-я Международная студенческая научная конференция «Физика космоса», 2011, Уральский государственный университет, обсерватория Коуровка, Россия.

3. International Symposium IAU-280 «The Molecular Universe», 2011, Toledo, Spain.

4. XLII Young European Radio Astronomers Conference, 2012, Pushchino Radio Astronomical of ASC LPI, Pushchino, Russia.

5. IAU Symposium №287 «Cosmic masers: From OH to H₀», 2012, Stellenbosh, South Africa.

6. IAU Symposium №302 «Magnetic Fields Throughout Stellar Evolution», 2013, Biarritz, French Republic.

7. Всероссийская Астрономическая конференция ВАК-2013 «Многоликая Вселенная»,

2013, Санкт-Петербург, Россия.

8. XI Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования»,

2014, Институт космических исследований РАН, Москва, Россия.

9. Молодежная научная школа-конференция при 40-й Ассамблее COSPAR,

2014, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

10. XXXII Всероссийская конференция «Актуальные проблемы внегалактической астрономии», симпозиум «Задачи обсерватории Миллиметрон»,

2015, Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пушкино, Россия.

11. Научная конференция «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей»,

2015, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия.

12. European Week of Astronomy and Space Science (EWASS-2015),

2015, Tenerife, St. Cristobal de Laguna, Spain.

13. 45-я Международная студенческая научная конференция «Физика космоса»,

2016, Уральский государственный университет, обсерватория Коуровка, Россия.

17. Отчетные сессии Астрокосмического центра ФИАН 2010-2015.

Обучение работе на интерферометрах и одиночных телескопах и с данными наблюдений проходило на следующих мероприятиях:

1. Практика по обработке интерферометрических данных в программном пакете CASA на основе наблюдений, выполненных на VLA (NRAO, USA) в рамках собственной заявки VLA-13A-406 - с представлением устного доклада по теме «**An OH Survey in the Direction of Class I Methanol Masers**»,

2015, 4-17 апреля, Национальная радиоастрономическая обсерватория США (NRAO), г. Сокорро, штат Нью-Мехико, США.

2. NRAO Postdoctoral Symposium,

2015, 6-7 April, National Radio Astronomy Observatory (NRAO), Socorro, New Mexico, USA.

3. International School on Submillimeter Astronomy SOMA-2015 organized by Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT) and Astro Space Center of P.N. Lebedev Physical Institute (ASC LPI),

2015, 12-24 July, MIPT, Dolgoprudny, Russia.

4. 10th Heidelberg Summer School 2015: «Dynamics of the interstellar Medium and Star Formation» organized by the International Max Planck Research School for Astronomy and Cosmic Physics at the University of Heidelberg (IMPRS-HD),

2015, 21-25 September, Max Planck House in Heidelberg, Germany.

Научная новизна состоит в том, что результаты экспериментов, проведение и анализ которых представлены в диссертации, выполнены 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 автор не только использовала широкий спектр существующих программных пакетов, но и предлагала собственные методики обработки. В частности, результаты, полученные на решетке VLA в рамках собственного проекта исследований, обрабатывались в пакете CASA (англ. Common Astronomy Software Applications), который разрабатывается международным консорциумом ученых на базе Национальной радиоастрономической обсерватории США для предоставления наиболее широкого круга возможностей обработки данных, полученных на радиотелескопах нового поколения, таких, как ALMA (англ. Atacama Large Millimeter Array, Европейская южная обсерватория, Чили) и VLA, и который является новым современным инструментом, используемым в интерферометрии. Предположительно, именно этот пакет будет использоваться при обработке данных наблюдений с телескопов космической миссии Миллиметрон, проект которой готовится в АКЦ ФИАН. Подобных технических систем в мире не существует, это системы будущего, и на настоящий момент не очень значительное количество специалистов владеет методами обработки таких наблюдательных данных. В диссертации разбираются все

шаги использованных задач и процедур. Данные материалы подробно представлены в публикациях для широкой общественности, что способствует развитию техники обработки результатов наблюдений на интерферометрических, в том числе, и наземно-космических решетках. Эти результаты могут быть использованы научными сотрудниками, которые проводят эксперименты на современном уровне.

Полнота изложения материалов и диссертации в работах, опубликованных соискателем. Все результаты, представленные в диссертации, опубликованы в ведущем рецензируемом российском научном журнале и в материалах российских и международных конференций. Всего имеется 25 публикаций, из них 6 статей – в *Астрономическом Журнале* (список ВАК).

Специальность диссертации – астрофизика и звездная астрономия (01.03.02) полностью соответствуют названию и содержанию диссертации. Присвоение пометки «Для служебного пользования» не требуется.

Постановили:

1. Диссертационная работа О.С. Баяндиной представляет собой научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия).

2. Рекомендовать диссертационную работу О.С. Баяндиной «Свойства молекулярного мазерного излучения в газопылевых комплексах Млечного пути» к защите на диссертационном совете Д002.023.01 Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия).

Руководитель АКЦ ФИАН

 Н.С. Кардашев