

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.023.01

18 мая 2016 года

*Защита диссертации
Баяндиной Ольги Сергеевны
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия)
«Свойства молекулярного мазерного излучения
в газопылевых комплексах Млечного Пути»*

Присутствовали члены диссертационного совета:

1. Кардашев Н.С., академик, 01.03.02, физ.-мат. науки, председатель
2. Новиков И.Д., член-корр., 01.03.02, физ.-мат. науки, зам.председателя
3. Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки, ученый секретарь
4. Бочкарев Н.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
5. Бурдюжа В.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
6. Дагкесаманский Р.Д., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
7. Дорошкевич А.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
8. Каленский С.В. д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
9. Ковалев Ю.Ю., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
10. Комберг Б.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
11. Лукаш В.Н., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
12. Малофеев В.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
13. Матвеев Л.И., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
14. Попов М.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
15. Рудницкий Г.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
16. Шишов В.И., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Председательствующим на данном заседании является доктор физико-математических наук, академик РАН, руководитель АКЦ ФИАН, председатель диссертационного совета Н.С. Кардашев.

Секретарь заседания – ученый секретарь диссертационного совета доктор физико-математических наук Ю.А. Ковалев.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Коллеги, начнем. Первая защита – диссертация, представленная Ольгой Сергеевной Баяндиной, «Свойства молекулярного мазерного излучения в газопылевых комплексах Млечного Пути». Автореферат есть. Научный руководитель – Ирина Евгеньевна Вальтц. Официальные оппоненты – Дмитрий Зигфридович Вибе (ИНАСАН) и Соболев Андрей Михайлович (УрФУ). Ведущая организация – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ). Слово предоставляется секретарю диссовета.

СЕКРЕТАРЬ: Зачитывает основные выдержки из документов и делает заключение о соответствии представленных соискателем документов установленным требованиям ВАК.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Слово для доклада предоставляется соискателю.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ: Выступает с докладом (в докладе демонстрирует и комментирует слайды 1-84, номера которых даны в начале соответствующих строк ниже. Слайды к докладу распечатаны и приведены в Приложении к стенограмме, а также прикладываются к аттестационному делу в электронном виде – на диске в соответствующем файле).

Слайд 1. Представление диссертации.

Слайд 2. Введение. На данный момент в космосе обнаружено 170 различных молекул. Но всего в 10 видах молекул наблюдается мазерное излучение. Самые информативные из них – мазеры в молекулах гидроксила, воды и метанола. Метанольные мазеры делятся на два класса: тип распада возбужденных состояний, т.е. тип перехода между уровнями каскадов, например, $K=0 \rightarrow 1$ (cIMM – class I methanol maser) или $K=1 \rightarrow 0$ (cIIMM – class I methanol maser) определяется механизмом накачки и законами квантовой механики. Теоретически эти мазеры не совместимы.

Слайд 3. Физические параметры этих мазеров близки, значительно различаются только характерные размеры мазерных пятен – в особенности это касается метанольных мазеров I класса.

Слайд 4. На сегодняшний день для мазеров в областях звездообразования сложились две эволюционные шкалы, на которых наименее определенное положение именно у метанольных мазеров I класса. Они могут быть как в начале, так и в конце шкалы. Ситуацию с эволюционным статусом метанольных мазеров I класса осложняет отсутствие их ассоциации с другими пекулярными объектами. Их пространственные совпадения обнаруживаются в наблюдениях на одиночных телескопах, но не в пределах диаграмм направленности интерферометров.

Слайд 5. Мазер определенного типа может возникнуть только в той

области межзвездной среды, в которой существуют физические условия, необходимые для обеспечения соответствующего типа накачки. Метанольные мазеры I класса самодостаточны, для их возбуждения не нужен источник излучения. А для II класса необходим внешний источник излучения в дополнение к столкновениям внутри конденсаций. Вероятнее всего, сИММ формируются на ранних стадиях эволюции межзвездной среды, в плотных изолированных сгустках. сИММ находятся на значительном расстоянии от зоны НII. сИММ обнаруживаются в областях, продвинутых по шкале эволюции – в околозвездных дисках.

Слайд 6. Столкновительный механизм накачки напрямую зависит от плотности среды. Следующие факторы могут ее увеличивать и косвенно провоцировать столкновительную накачку:

- самогравитация облаков,
- магнитные поля,
- биполярные потоки,
- ударные волны от остатков сверхновых,
- ударные волны на фронтах зон НII,
- столкновения облаков.

Перечисленные факторы очевидны, но мало изучены, и на настоящий момент являются предметом активных астрономических исследований. В том числе и наших.

Технический перерыв (15 минут).

Слайд 7. Основная цель работы: Изучение влияния различных динамических процессов на эволюцию межзвездной среды и выявление эволюционной связи между мазерами метанола, гидроксила и H_2O на ранней стадии сжатия газопылевой конденсации. Метод исследования: предполагает Получение более точных взаимных привязок различных молекулярных мазеров в пределах отдельных конденсаций.

Слайд 8. Конкретные задачи:

- 1) оценка возможной роли небольших темных облаков в формировании протозвездных конденсаций – Глава 1;
- 2) оценка влияния магнитного поля на процессы сжатия газо-пылевых фрагментов межзвездной среды – Глава 2;
- 3) проведение исследований мазеров ОН в направлении метанольных мазерных конденсаций I класса на одиночных телескопах и на интерферометрах – Глава 3;
- 4) проведение исследований мазеров H_2O в направлении метанольных мазерных конденсаций I класса на одиночных телескопах и на интерферометрах – Глава 4.

Слайд 9. Диссертационная работа, основана на результатах 7 экспериментов, при этом использовались:

- архивные данные с космических телескопов MSX и Spitzer;
- и с наземного французского радиотелескопа в Нансэ;
- данные наблюдений, выполненных в рамках собственных заявок на радиотелескопе РТ-70 (Крым) и на радиоинтерферометре VLA (США);
- на радиотелескопе РТ-22 (Пушино);
- и на космическом радиоинтерферометре РадиоАстрон.

Слайд 10. Глава 1. Архивные данные с космических телескопов MSX и Spitzer использовались нами для модернизации нашего собственного каталога sIMM. Вся дальнейшая работа над диссертацией строится на основе этого каталога. Сейчас в него входит 206 объектов – каталог опубликован онлайн по адресу. Первая версия каталога была представлена в диссертации Григория Ларионова и содержала около 160 объектов. На основе новых литературных данных модернизированы результаты отождествлений sIMM с другими объектами; обновлены данные о расстояниях до источников. Но самое главное, проведено отождествление sIMM с абсорбционными и эмиссионными объектами коротковолнового инфракрасного диапазона, обнаруженных в рамках работы космических миссий MSX и Spitzer.

Слайд 11. Эти отождествления были выполнены с целью оценки степени возможного влияния самогравитации на формирование sIMM. Объекты, обнаруженные в рамках работы этих миссий – это плотные, холодные фрагменты межзвездной среды, т.е. небольшие изолированные темные облака с нечетко выраженными границами, наблюдающиеся в поглощении в коротком и среднем инфракрасном диапазоне на фоне излучения плоскости Галактики. Spitzer – более современный инструмент, с более мощными техническими характеристиками. Но главное, в этих обзорах отличаются методы извлечения источников по следующим параметрам: оценка фона, пределы обнаружения, пики контрастности и границы облаков. Облака MSX имеют более низкую контрастность и большие размеры.

Слайд 12. Среди тех коротковолновых объектов, которые мы добавили в наш каталог, имеется новый класс объектов с избытком цвета и протяженной эмиссией в полосе 4.5 мкм – зеленой в цветовой кодировке камеры IRAC телескопа Spitzer. По этим двум признакам они названы Extended Green Objects – или сокращенно EGOs. На данный момент известно около 300 объектов. Протяженность излучения на волне 4.5 мкм и результаты исследования областей в тепловых линиях молекул, позволяют предполагать, что объекты EGOs отслеживают биполярные потоки.

Слайд 13. Серым цветом на гистограмме обозначены модернизированные результаты прежних отождествлений. Цветные столбики – результаты нашего нового статистического анализа. Традиционно наблюдатели работают с более ранним каталогом IRDC/MSX. Но, оказалось, что sIMM в 4 раза чаще отождествляются с темными облаками из нового обзора Spitzer.

А с новыми объектами типа биполярных потоков Spitzer/EGOs сIMM ассоциируются в 2 раза чаще, чем с биполярными потоками, обнаруженными «классическими методами», например, по широким крыльям линий CO.

Слайд 14. Другими словами, на основе статистического анализа можно утверждать, что метанольные мазеры I класса могут формироваться в изолированных самогравитирующих конденсациях, типа SDC. Выборка SDC предлагается нами как новый самостоятельный список для поисковых обзоров на характерных частотах метанольного излучения I класса с целью обнаружения новых объектов данного типа. Этот вывод будет очень полезен при постановке новых поисковых обзоров.

Слайд 15. Глава 2. Следующий фактор, который мы рассмотрели и который также, возможно, оказывает косвенное влияние на столкновительную накачку – это магнитные поля. Магнитное поле может сдерживать коллапс газо-пылевых конденсаций, замедляя дозвездную стадию их существования. С другой стороны, особенности конфигурации силовых линий магнитного поля могут способствовать ускоренному сжатию молекулярных ядер и образованию протозвезд. В молекулах OH расщепление энергетических уровней под действием магнитного поля пропорционально спине неспаренного электрона. Но, с метанолом все гораздо сложнее: в нем зеемановское расщепление уровней пропорционально ядерному магнетону. Исследование зеемановского расщепления линий в спектре метанола заведомо не будет столь же эффективным, как исследование спектра молекулы OH – во всяком случае, в отношении слабых магнитных полей. Поэтому, магнитное поле в метанольных конденсациях можно косвенно оценить по зеемановскому расщеплению мазерных линий OH, в случае их пространственной ассоциации.

Слайд 16. Некоторые параметры наблюдений.

Слайд 17. На основе этих данных нами были подготовлены спектры 4-х параметров Стокса для каждого исследуемого источника на частотах главных линий OH.

Слайд 18. Получены гауссовы параметры деталей спектров.

Слайд 19. И поляризационные:

- степень круговой поляризации m_C ,
- плотность потока в линейной поляризации p ,
- степень линейной поляризации m_L ,
- позиционный угол χ .

Слайд 20. При этом использовались следующие стандартные формулы.

Слайд 21. Определение значений напряженности магнитного поля выполнялось методом аппроксимации параметра Стокса V первой производной от параметра Стокса I по частоте. Здесь a_1 и a_2 – свободные параметры. Первый параметр a_1 зависит от величины напряженности магнитного

поля В. Второй параметр (a_2) зависит только от разницы в инструментальной чувствительности каналов левой и правой поляризации и не связан со свойствами источника.

Слайд 22. Хорошо видно зеемановское расщепление линий. Пример аппроксимации, определены значения магнитных полей.

Слайд 23. Значения напряженности магнитного поля В колеблются для разных источников в интервале от <0.5 до 1.4 мГс.

Слайд 24. Используя данные о интерферометрических позициях мазеров метанола и гидроксила, мы оценили возможные размеры совокупных мазерных областей «ОН-метанол». Средние значения линейных расстояний между центрами скоплений мазерных пятен ОН и сИММ оказались в пределах $\sim 2\ 000$ а.е. (такие размеры характерны для околозвездных дисков). Средние значения линейных расстояний между центрами скоплений мазерных пятен ОН и сИММ оказались в пределах $<100\ 000$ а.е. (такие размеры характерны для облаков IRDC).

Слайд 25. В ходе дальнейшего анализа данных, с помощью хорошо известных формул, нами были получены величины:

- объемной плотности молекулярного водорода в конденсациях ОН,
- плотностей H_2 и ОН на луче зрения,
- отношения массы облака к величине магнитного потока,
- отношения теплового давления к магнитному,
- вириальных соотношений кинетической, магнитной и гравитационной энергий,
- времени коллапса молекулярного ядра (формула, связывающая продолжительность коллапса молекулярного ядра и объемную плотность газопылевого вещества).

Слайды 26-27. Все полученные значения сведены в таблицы.

Слайд 28. Отношение массы облака к магнитному потоку нормировано на величину 0.12 – сравнивая получаемые для наших источников значения с величиной 0.12 , можно сделать вывод о степени отклонения формы облака от сферического в сторону плоской формы, во всех источниках отношение массы к магнитному потоку превышает критическое значение. Энергия хаотических движений и энергия магнитного поля существенно меньше энергии гравитационных связей. Магнитное поле неспособно стабилизировать коллапс, т.е. облако находится в состоянии неустойчивого равновесия, начинает терять сферическую форму и стремится к форме плоского диска. С другой стороны, значение отношения теплового давления к магнитному во всех случаях <1 .

Подобное противоречие связывается с возможными большими ошибками как в определении значений напряженности магнитного поля, так и в возможных завышенных оценках расстояний до источников, увеличива-

ющих размер и массу исследуемых областей. Также следует учитывать, малую статистику – наша выборка состоит из 7 источников.

Слайд 29. Полученные оценки времени гравитационного коллапса в рассматриваемых источниках, сопоставимы с типичным временем жизни области звездообразования, составляющим 100 тысяч лет.

Отмечено преимущество в определении возраста мазерных конденсаций с привлечением оценки влияния магнитного поля на параметры наблюдаемого спектра линий перед другими способами, которое позволяет сопоставить гравитационное и магнитное поле на очень мелких масштабах и точнее определить гравитационную устойчивость ассоциации мазерных компонентов и вероятное время их эволюции вплоть до коллапса, зарождения протозвездного объекта и протопланетного диска.

Слайд 30. Глава 3. Перейдем к возможному влиянию биполярных потоков от зарождающихся звезд – эта тема является наиболее обсуждаемой на данный момент. В этом контексте самым перспективным представляется изучение объектов EGO, поскольку факт наличия в них биполярных потоков считается доказанным. Например, можно проверить следующую гипотезу: Поскольку предполагается, что мазерное излучение OH(1720) и sIMM обусловлено столкновительной накачкой, естественно поставить вопрос о том, можно ли обнаружить излучение OH(1720) – как маркера ударных волн от биполярных потоков - в направлении sIMM, в частности, в направлении объектов EGO?

Слайд 31. Нами были выполнены 2 обзора. Такие наблюдения выполнены впервые.

Слайд 32. Обзор на PT-70 был выполнен для 107 метанольных мазеров I класса – по условиям настройки аппаратуры только в линии OH на частоте 1720 МГц. Некоторые параметры наблюдений.

Слайд 33. Я представляю собственную часть исследований – только для 18 источников EGO. Излучение OH(1720) обнаружено в 72% метанольных мазерах I класса, ассоциирующихся с EGOs. Все спектры источников EGO носят смешанный характер: в них наблюдаются как линии излучения, так и линии поглощения. И те, и другие линии в ряде случаев выглядят размытыми и существенно несимметричными. Если накачка обусловлена действием ударных волн, то спектр должен иметь такой вид – протяженный, с узкими слабыми линиями. В соседнем источнике одиночная линия – типичная для межзвездной среды.

Слайд 34. Были определены параметры линий OH(1720).

Слайд 35. Оказалось, что в направлении источников EGO наблюдаются, в основном, широкие эмиссионные линии OH(1720). Определенные по ним значения средней плотности молекул малы. Это может косвенно указывать на:

- пространственное несовпадение конденсаций сИММ и ОН(1720),
- незначительную мощность биполярных потоков,
- различия в моделях их накачки.

Слайд 36. В случае действия ударной волны, в главных линиях должно наблюдаться поглощение, а излучение только на частоте 1720 МГц. Поэтому факт присутствия ударных волн в этих источниках только по наличию линии ОН(1720) в спектре считать доказанным нельзя.

Слайд 37. В 2013 году нами была подана заявка на VLA. Были выполнены наблюдения 100 метанольных мазеров I класса из нашего каталога в этот раз во всех 4-х линиях ОН.

Слайд 38. Параметры наблюдений.

Слайд 39. Сейчас на VLA введен в строй новый спектрометр, который использовался в наших наблюдениях. Раньше наблюдения континуума проводились только в одном канале, сейчас для этого используются 8 спектральных окон по 64 канала в каждом. При этом, каждый канал, в котором наблюдают континуум, в 1 000 раз шире, чем каждый спектральный канал, следовательно, имеет более высокое отношение сигнала к шуму, что важно для настройки фазы интерферометра.

Слайд 40. Обратите внимание, что на VLA достаточно много времени (в среднем, три скана на блок) отводится на наблюдения фазового калибратора.

Слайд 41. Обработка данных проводилась в программном пакете CASA, разработанном специально для радиотелескопов нового поколения, таких как ALMA и EVLA.

Слайд 42. Значительная часть обработки данных – это работа с калибраторами, которая включает в себя множество вычислительных процедур. Параметры для этих процедур в части устранения плохих данных подбираются вручную при визуальных осмотрах данных в разных спектральных окнах, на разных базах, на разных участках времени, в разных каналах в каждой поляризации отдельно для амплитудного и фазового калибратора.

Слайд 43. Общая схема калибровки данных, которая включает в себя следующие этапы:

- Корректировка кривых усиления и непрозрачности атмосферы,
- Настройка модели калибратора потока,
- Калибровка усиления антенн и корректировка задержек антенн,
- Калибровка полосы пропускания,
- Определение потока фазового калибратора,
- Применение калибровки.

Слайд 44. Здесь представлен пример некалиброванных данных, имеет достаточно большой разброс по фазам и амплитудам. По результатам калибровки мы стремились достичь следующего результата: в пределах

допустимых ошибок точечный источник должен иметь примерно нулевую фазу и некоторую постоянную амплитуду на каждой исследуемой базе, на каждой частоте и в каждой поляризации. На настоящий момент калибровка выполнена для всех 100 источников. Нами получено 336 итоговых графиков с калибраторами, поскольку обрабатывалось по 2 калибратора в 8 спектральных окнах в 21-ом блоке расписания.

Слайд 45. Для очистки данных и построения карт использовался алгоритм «CLEAN», на анимации представлено 15 из 512 каналов карты. В моей диссертации я представляю результаты только для 20 объектов EGO. Для них были подготовлены 160 карт – т.е. для 20 источников на 4-х частотах в двух поляризациях.

Слайд 46. Параметры самых ярких линий ОН: определены координаты мазерных деталей. Все обнаруженные линии – мазерные. На это указывает ширина линий – ≤ 1 км/с, соотношение интенсивностей линий на разных частотах, а также то, что мазерные детали не разрешались с диаграммой 12".

Слайд 47. Главные линии обнаружены в 10 EGOs.

Слайд 48. На окончательных картах, совмещены трехцветные изображения, полученные на космическом телескопе Spitzer, с нашими данными о позициях ОН – черный крестик, и взятыми из литературы позициями мазеров sIMM и cIMM.

Слайд 49. Линия ОН(1720) была обнаружена только в одном источнике. В нем все линии гидроксила наблюдаются в излучении, т.е. этот спектр обусловлен радиативной накачкой. Таким образом, возможно, что влияния биполярного потока от EGO на удаленные ядра достаточно, чтобы возбудить метанольный мазер I класса, но недостаточно, чтобы возбудить столкновительный спектр в ОН. Это может дать существенные ограничения на параметры биполярного потока и физические условия среды, в которой формируются мазеры. Следует отметить, что в других источниках обзора из оставшихся 80 процент обнаружения линии ОН(1720) в 3 раза выше, и этот факт нам еще предстоит проанализировать и выполнить соответствующие расчеты.

Слайд 50. Это те же карты, но для самых сильных деталей мазеров и без инфракрасного фона. Использовалась – однородная информация – о координатах мазеров гидроксила, метанола I класса и метанола II класса, во всех случаях полученных именно на VLA – таких объектов EGO на настоящий момент только 6. Из этих карт видно, что позиции метанольных мазеров I класса не совпадают с позициями других мазеров и точечного инфракрасного источника.

Слайд 51. На основе анализа этих карт нами получены медианные значения расстояний между различными пекулярными объектами в EGOs. В

объектах EGO расстояния между положением источника непрерывного излучения, мазерами OH и метанольными мазерами II класса сравнимы с типичными размерами плотных молекулярных ядер в EGOs. Мазеры метанола I класса удалены от других мазеров, в частности, от мазеров OH на расстояния, сравнимые с размерами молекулярных потоков в областях звездообразования или размерами ультракомпактных зон III.

Слайд 52. Эти цифры означают, что метанольные мазеры I класса не сосуществуют с точечным источником инфракрасного излучения, мазерами OH и метанольными мазерами II класса в одном и том же молекулярном ядре. Т.е. возможно, метанольные мазеры I класса формируются в других физических условиях в другом молекулярном ядре скопления.

Слайд 53. При этом их эволюционные треки могут быть не связаны между собой. Возможно, что метанольные мазеры I класса нельзя поставить на определенное место в эволюционной шкале развития молекулярных ядер в облаке, представленной ранее, вероятно метанольные мазеры I класса могут развиваться самостоятельно, т.е. стадия существования конденсации с метанольным мазером I класса необязательно перейдет в дальнейшую стадию развития протозвездной области. При этом фаза перехода также остается неясной.

Слайд 54. Глава 4. На всех представленных картах были отмечены позиции мазеров OH и метанола, но не мазера H_2O . Тем не менее, мазеры H_2O присутствуют на эволюционной шкале, и в ряде работ считается, что они образуются раньше sIMM. Накачка мазеров H_2O , как и метанольных мазеров I класса – чисто столкновительная. Оба этих мазера вместе с протяженной эмиссией на длине волны 4.5 мкм (EGOs) могут быть индикаторами очень ранней стадии развития молодых звездных объектов.

Слайд 55. Мы планируем исследовать пространственную связь мазеров H_2O и sIMM, в выборке EGO. И для этого выполняем мониторинг для 24-х мазеров H_2O , ассоциирующихся с EGOs, на РТ-22 (Пушино). Для одного очень интересного мазера H_2O (не входящего в выборку EGO) выполнены интерферометрические наблюдения на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон.

Слайд 56. Параметры наблюдений мазеров H_2O на РТ-22. Чувствительность на 22 ГГц не очень высокая.

Слайд 57. С чувствительностью Пушинского радиотелескопа продетектировано излучение H_2O в направлении 11 EGOs.

Слайд 58. Наблюдения оказались очень интересными.

1) Отмечено, что сильные мазеры H_2O наблюдаются именно в тех источниках, в которых на VLA нами было обнаружено излучение OH.

2) Источники оказались сильно переменны. В 5 источниках были зафиксированы вспышки. Три источника имеют потоки до 500 Ян.

3) В одном из источников было зафиксировано излучение H_2O , не наблюдавшееся ранее. Мы наблюдали некоторое слабое излучение H_2O в январе и в феврале, а уже в марте и мае 2015 г. эмиссия H_2O не была обнаружена.

Столь кратковременное появление и последующее быстрое затухание мазера H_2O , может означать, что мы застали источник, например, в краткой стадии распространения ударной волны от центрального звездного объекта. Возможно, это предположение о коротком времени распространения ударной волны имеет глубокий смысл для всех наших исследований – в том смысле, что ударные линии $\text{OH}(1720)$ также могут оказаться короткоживущими.

4) Спектры H_2O в смысле сопоставления с SiMM очень разнообразны:
– В большинстве источников скорости главных деталей спектров H_2O и SiMM совпадают, возможно, что они находятся в одном и том же молекулярном ядре в сходной по времени стадии эволюции.

– Но в некоторых EGOs эти скорости различаются более чем на 5-10 км/с.

Слайд 59. Возможные объяснения этому факту:

1) эти мазеры сформированы в разных молекулярных ядрах,
2) излучение H_2O исходит из небольших областей за фронтом ударной волны, возбуждающей мазер, что приводит к сдвигу скорости мазера H_2O относительно более спокойной среды, содержащей протяженные структуры с метанольным излучением I класса,

3) мазеры H_2O и метанола находятся на разных участках фронта bipolarного потока, например, H_2O – в основании потока, а метанольные мазеры – на фронте взаимодействия ударной волны с веществом окружающего молекулярного облака.

Т.е. интерферометрические исследования пространственной ассоциации мазеров H_2O и SiMM могут дать очень интересные результаты.

И последнее.

Слайд 60. Среди источников, которые мы постоянно наблюдаем в Пуцино в линии H_2O , есть очень интересный SiMM .

Слайд 61. В этой туманности по результатам различных исследований было выделено 15 темных облаков и глобул, 25 источников IRAS и 6 кандидатов в молодые звездные объекты, среди которых один имеет наибольшую светимость в далекой инфракрасной области среди всех глобул туманности, а также единственный с мазером H_2O . При этом в данной глобуле не наблюдаются метанольный мазер II класса и мазер OH . Для нас этот объект особенно интересен тем, что мазер H_2O в нем отслеживает структуру протопланетного диска, причем размер его – один из самых маленьких известных на сегодняшний день.

Слайд 62. Небольшая предыстория: в июне 1996 г. были проведены наблюдения 60 мазеров H_2O на VLBA в рамках предполетного обзора VSOP. Анализ функции видности этого источника показал, что в нем имеются компоненты, потоки от которых не убывают с увеличением базы интерферометра до $600 M_{\odot}$. На коротких базах источник не разрешался.

Данные наблюдений этого источника были обработаны отдельно в работе Слыша и др. 1999, при этом была обнаружена упорядоченная цепь мазерных пятен на нулевых скоростях в размере 15 а.е. И две далекие детали, не показанные на данной карте. Авторы предложили модель, в которой мазерные пятна на нулевых скоростях возникают в кеплеровском диске и мазерное излучение возбуждается ударными волнами, в то время как пятна на высоких скоростях возникают под действием молекулярного потока, исходящего от центрального молодой звезды или протозвездного объекта с массой $\sim 4M_{\odot}$. Масса диска и угловой момент похожи на те, которые имеет Солнечная система. т.е., по мнению авторов исследования, в IC 1396 N наблюдается межзвездный аккреционный диск, который может дать начало процессу формирования протопланетной системы.

Слайд 63. В 2014 году на РадиоАстроне была проведена серия из пяти последовательных сессий наблюдений этого источника.

Слайд 64. На слайде представлены некоторые технические характеристики наблюдений. Источник показал сильную переменность. В период наших наблюдений с наименьшей наземно-космической базой плотность потока излучения от источника составила всего 5 Ян, а наибольший поток источник показал, когда мы выполняли наблюдения с достаточно большой базой ~ 5 диаметров Земли. Наблюдения с космическим телескопом прошли в штатном режиме: со станций слежения не поступило сообщений об ошибках. Шумовая температура системы соответствовала норме.

Слайд 65. Первичная обработка данных выполнялась на программном корреляторе АКЦ ФИАН. Поиск интерферометрического отклика для наземно-космических баз выполнялся в программном пакете PIMA.

Слайд 66. Для дальнейшей обработки данных, использовался программный пакет AIPS.

— Калибровка групповой задержки сигнала и частоты интерференции выполнялась по калибровочному источнику.

— Положения мазерных пятен относительно опорной детали и значения потоков определены из карт, построенных методом частоты интерференционных лепестков.

— Из карт, построенных с помощью процедуры CLEAN, были определены абсолютные координаты самой яркой мазерной детали.

Слайд 67. Представлены реализованные в наших наблюдениях покрытия UV-плоскости:

- для наземно-космических баз,
 - для наземных баз (данные только для баз, на которых получено надежное детектирование сигнала).
- и кросскорреляционные спектры.

Наиболее надежное детектирование сигнала на наземных базах получено во второй сессии наблюдений, в которой было реализовано наилучшее заполнение UV-плоскости.

Слайд 68. В наблюдениях на наземно-космических базах отклик от источника не был обнаружен на проекциях баз >2.5 диаметров Земли, что дает: верхний предел на яркостную температуру $\sim 10^{12}$ К, и нижний предел на размер мазера ~ 0.3 а.е.

Слайд 69. А по наземным данным, мы можем сделать следующее заключение: на кросскорреляционном спектре, полученном в наших наблюдениях, отсутствуют далекие детали, которые наблюдались в работе Слыша. При этом наблюдаются две новые яркие детали. Центральная часть спектра имеет существенно меньший поток. Получены позиции 30 мазерных деталей из центральной части спектра. По скоростям они делятся на 4 группы.

Слайд 70. Положения мазерных пятен относительно опорной детали и значения потоков определены из карт, построенных методом частоты интерференционных лепестков. Карты для самых ярких спектральных деталей, наблюдавшихся в каждой из четырех групп.

Слайд 71. В спектре наблюдаются 4 группы деталей в центральном интервале скоростей от -4.4 до $+0.6$ км/с и две детали на далеких скоростях -9.4 и $+4.4$ км/с, удаленные от наиболее яркой детали на скорости ~ 0.3 км/с на расстояния 157 и 70 а.е, соответственно. Четыре группы мазерных компонентов в центре спектра выстраиваются на прямой линии протяженностью ~ 200 а.е., при этом две группы – 3 и 4, не наблюдались ранее и, видимо, являются джетами, сформировавшимися в период 18 лет между наблюдениями 1996 и 2014 гг.

Слайд 72. Интересно, что при этом имеется линейная зависимость скорости от расстояния между:

- возможными джетами (3 и 4) и центральной группой пятен 5,
- центральной группой 2 и далекими пятнами (1 и 6).

Слайд 73. Сопоставление данных наших наблюдений и наблюдений 1996 года, показывают, что далекие детали могут быть организованы в два протопланетных кольца. При этом пространственная структура центральной части мазера, интерпретированная ранее как протопланетный диск, сохраняется на протяжении 18 лет в масштабе менее 20 мсек дуги, т. е. в пределах 15 а.е. при расстоянии до глобулы 750 пк.

Очевидно, что спектральный и пространственный мониторинг может

показать очень интересные результаты.

Слайд 74. На защиту выносятся следующие основные результаты.

Слайд 75. Модифицирован каталог метанольных мазеров I класса и создана его новая электронная версия, доступная в режиме online. На настоящий момент этот каталог содержит 206 объектов. Проведено отождествление этих мазеров с абсорбционными и эмиссионными объектами ближнего инфракрасного диапазона, открытых в рамках проектов космических миссий MSX и Spitzer. Показано, что метанольные мазеры I класса в 71% случаев отождествляются с темными инфракрасными облаками с четкими границами SDC (Spitzer Dark Clouds) и в 42% случаев – с протяженными объектами типа биполярных потоков Spitzer/EGOs (Extended Green Objects). Высказано предположение, что метанольные мазеры I класса могут формироваться в изолированных самогравитирующих конденсациях, каковыми являются SDC. Выборка SDC предлагается как новый самостоятельный список для исследования на частотах метанольного излучения I класса с целью обнаружения новых объектов данного типа.

Слайд 76. В результате обработки архивных данных поляризационных наблюдений 7 мазеров OH, проведенных на радиотелескопе в Нансэ (Франция) в главных линиях OH в 4-х параметрах Стокса, получены гауссовы параметры деталей спектров и сделаны оценки поляризационных параметров: степень круговой поляризации m_C , плотность потока в линейной поляризации p , степень линейной поляризации m_L . Показано, что значения напряженности магнитного поля B колеблются для разных источников в интервале от <0.5 до 1.4 мГс. Показано, что ассоциации скоплений «OH-метанол» реальны, т.е. магнитное поле, действующее в пределах скоплений OH, может распространяться и на группы метанольных мазеров, а по размерам исследуемые области могут быть связанными структурами типа небольших облаков IRDC (Infrared Dark Cloud). На основании полученных значений величины напряженности магнитного поля получены значения отношения массы к магнитному потоку в размере исследуемой области, значения отношения теплового давления к магнитному и вириальные соотношения энергий кинетической, магнитной и гравитационной. Показано, что во всех источниках отношение массы к магнитному потоку превышает критическое значение, а энергия хаотических движений и энергия магнитного поля существенно меньше энергии гравитационных связей. С другой стороны, показано, что значение отношения теплового давления к магнитному во всех случаях <1 , т.е. облака могут находиться в магнитно-доминирующем режиме. Подобное противоречие связывается с возможными большими ошибками как в определении значений напряженности магнитного поля, так и в возможных завышенных оценках расстояний до источников, увеличивающих размер исследуемых областей.

Слайд 77. На основании собственных наблюдений метанольных мазеров I класса, ассоциирующихся с источниками EGOs, выполненных на радиотелескопе РТ-70 Центра дальней космической связи в Евпатории (Крым) показано, что в направлении источников типа Spitzer/EGOs излучение OH(1720) присутствует в 72% случаев. Наблюдаются, в основном, широкие эмиссионные линии OH(1720), средняя плотность на луче зрения молекул OH в которых не превышает значения 10^{16} см⁻², а плотность молекулярного водорода составляет не более 10^2 см⁻³ в предположении, что размер конденсации равен 1 000 а.е. Это может косвенно указывать на незначительную мощность биполярных потоков, на пространственное несовпадение метанольных конденсаций и конденсаций OH(1720), на различия в моделях их накачки, а также на то, что размеры объектов EGO могут быть существенно меньше 1 000 а.е.

Слайд 78. Подготовлен и выполнен обзор 100 областей звездообразования на координатах и лучевых скоростях метанольных мазеров I класса в четырех линиях основного состояния OH на интерферометрической решетке VLA с пространственным разрешением 12", в том числе, для 20 инфракрасных объектов Spitzer/EGOs. Эмиссия OH обнаружена в 10 EGOs: главные линии OH на частотах 1665 и 1667 МГц наблюдаются в 50% и 45% объектов, соответственно; линия-спутник на частоте 1612 МГц наблюдается в 15% случаев, линия-спутник на частоте 1720 МГц – в 5% случаев. Оценка расстояния (медианные величины) между мазерами OH и точечным источником Spitzer/GLIMPSE, который ассоциируется с EGO (0.04 пк), мазерами OH и sIMM (0.14 пк), мазерами OH и cIMM (0.03 пк) показывает, что метанольные мазеры I класса расположены дальше от источника возбуждающего излучения, чем скопления мазеров OH и мазерных пятен метанола II класса. Показано, что метанольные мазеры I класса не сосуществуют с точечным источником GLIMPSE, мазерами OH и метанольными мазерами II класса в пределах одного и того же молекулярного ядра, т.е. это разные ядра, которые могут находиться на разных стадиях эволюционного развития.

Слайд 79. Выполнен обзор 24-х EGOs в мазерной линии H₂O на волне 1.35 см на РТ-22 Пушинской радиоастрономической обсерватории. Излучение зарегистрировано в 11 EGOs. Впервые обнаружено излучение H₂O источника G28.83-0.25, которое, вероятно, соответствует ранней стадии распространения ударной волны. Показано, что в некоторых EGOs лучевые скорости главных деталей спектров H₂O и метанольных мазеров I класса различаются более чем на 5-10 км/с. Возможные объяснения этому факту: эти мазеры сформированы в разных молекулярных ядрах, излучение H₂O исходит из небольших областей на фронте ударной волны, возбуждающей мазер, что приводит к сдвигу скорости мазера H₂O отно-

сительно более спокойной среды, содержащей протяженные структуры с метанольным излучением I класса. Эти гипотезы можно и целесообразно проверить с помощью получения интерферометрических данных для мазеров H_2O в объектах EGOs.

Слайд 80-83. Все основные результаты, которые выносятся на защиту и представлены в диссертации, опубликованы в ведущем рецензируемом журнале и в материалах всероссийских и международных конференций. Всего имеется 25 публикаций, в том числе – 6 статей в *Астрономическом Журнале* (список ВАК).

Слайд 84. Спасибо за внимание.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Так, вопросы, пожалуйста.

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА

КОМБЕРГ Б.В.: Ольга, а скажите, пожалуйста, то, что вы называете «гигантскими молекулярными облаками» (но Вы их не рассматриваете), они, вообще, в нашей Галактике существуют? У Вас написано: « 10^3 - $10^4 M_{\odot}$ ».

СОИСКАТЕЛЬ: Да, мы приводили эту информацию, как некий экскурс, в автореферате, в диссертации, по поводу размеров молекулярных облаков. Но мы, именно, говорили о «молекулярных ядрах», о меньших размерах. Т.е. об объектах, в которых формируются мазеры и мы хотели измерить расстояния между ними.

КОМБЕРГ Б.В.: Но, вот в нашей Галактике самое такое большое и заметное молекулярное облако, какое существует, какое из гигантских?

СОИСКАТЕЛЬ: Это интересный вопрос, я обязательно уточню.

БУРДЮЖА В.В.: Скажите, пожалуйста, вот межзвездная среда, есть гидроксильные мазеры. Можно ли утверждать на сегодняшний день, что главные линии – это накачка радиационная, а сателлитные – столкновительная. Или это все-таки от источника к источнику, от расстояния от центральной звезды зависит.

СОИСКАТЕЛЬ: Дело в том, что как раз с мазерами OH(1720) ситуация очень интересная, в том смысле, что они есть, накачиваемые как столкновительно, так и радиативно. Впервые мазеры OH(1720) были обнаружены в направлении остатков сверхновых, они накачиваются столкновениями и мы, конечно, хотели найти именно их. Но, чаще всего, в областях звездообразования наблюдаются мазеры OH(1720), которые накачиваются радиативно, при этом наблюдаются в излучении все линии гидроксила, т.е. наблюдаются главные линии и одновременно с ними - OH(1720). И как раз это мы чаще всего видим сейчас на VLA.

БУРДЮЖА В.В.: Скажите, а Ваша оценка 10^5 – время коллапса. Сна-

чала было облако, потом протозвезда, потом вспыхнула звезда. Оценка 10^5 , как Вы ее оценили.

СОИСКАТЕЛЬ: Мы оценивали через магнитные поля. Для конкретных источников мы сначала определяли напряженность магнитного поля по зеемановскому расщеплению линий, затем определяли объемную плотность водорода и далее по определенным формулам, которые я показывала, мы определяли время коллапса.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Какая общая структура магнитного поля в районе мазеров?

СОИСКАТЕЛЬ: Это интересный вопрос. Как раз влияние магнитного поля на мазеры – это исследуемый на данный момент вопрос, на сколько магнитное поле влияет на них. Так я, например, говорила, что, с одной стороны, это может способствовать сжатию облака и увеличению плотности его, что, например, очень важно для столкновительной накачки.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Поле хаотическое или у него имеется структура?

СОИСКАТЕЛЬ: Чтобы получить мазер, нам нужно, чтобы на луче зрения выстраивалась определенное количество молекул, магнитное поле, безусловно, может способствовать этому. Т.е. магнитное поле может упорядочить молекулы.

ЧАРУГИН В.М.: Максимальная яркостная температура, какая она может быть у мазерных линий, кроме 10^{12} , которую Вы показывали?

СОИСКАТЕЛЬ: Дело в том, что мы наблюдали не очень сильные мазеры. В наблюдениях с РадиоАстроном, действительно, лучше всего выбирать мазеры, у которых очень высокая яркостная температура, и в этом смысле, может быть, наша промашка, что наш источник показал небольшую яркостную температуру, которая не может быть продетектирована с РадиоАстроном. И, соответственно, они должны быть выше - порядка 10^{16} .

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Еще вопросы? Кажется, вопросов больше нет. Можем перейти к выступлениям оппонентов.

ОТЗЫВЫ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Слово предоставляется научному руководителю соискателя.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: Выступает (отзыв прилагается).

СЕКРЕТАРЬ: Зачитывает заключение организации, в которой была выполнена работа, и отзыв ведущей организации (отзывы положительные, оба документа прилагаются).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Ольга Сергеевна, Вам отвечать на замечания из отзыва ведущей организации.

СОИСКАТЕЛЬ: Я хотела бы позже ответить на все замечания из всех отзывов.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Тогда слово передается оппоненту, пожалуйста.

ВИБЕ Д.З. (официальный оппонент): Выступает (отзыв прилагается).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Заслушаем второго оппонента.

СОИСКАТЕЛЬ: оппонент отсутствует по уважительной причине. Зачитывает отзыв официального оппонента Соболева А.М. (отзыв положительный, прилагается).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Пожалуйста, Ольга, Вам слово для ответа на замечания.

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ В ОТЗЫВАХ

Ответ на замечания Ведущей организации

— Относительно опечаток в тексте: В тексте диссертации действительно присутствуют некоторые опечатки, в том числе, в одном месте ошибочно вместо «пк» написано «кпк».

— Относительно англоязычных подписей осей: Некоторые рисунки были подготовлены в англоязычных программах без поддержки русского языка. Мы не корректировали их в графических редакторах, чтобы не потерять качество.

— На нескольких рисунках ошибочно указано, что по вертикальной оси указан поток – это действительно моя ошибка, на спектрах приводится именно плотность потока излучения (т.е. поток на определенной частоте).

— Один рисунок действительно отображается некорректно, например, может быть срезана его нижняя часть. Как оказалось, это зависит от браузера, в котором просматривают pdf файл диссертации. В оригинальном файле pdf рисунок приведен полностью.

Ответ на замечания официального оппонента Вибе Д.З.

— В таблицу с временами коллапса ошибочно были внесены данные для звезды, этого, действительно, не следовало делать.

— Относительно приведенного мной значения содержания ОН: я использую его в расчетах параметров источников ЕГО, которые, как считается, отслеживают биполярные потоки. Мы опираемся на классическую работу, в которой рассматривалось содержание ОН именно в биполярных потоках.

— В тексте диссертации, действительно, присутствуют некоторые стилистические и технические погрешности, отмеченные оппонентом, приношу извинения.

— Относительно описания молекулярного ядра: Данное описание при-

водится только во Введении, при этом обсуждались ядра, в которых уже есть протозвезды. Т.е. мы говорим, о так называемых «горячих молекулярных ядрах» (на дополнительном слайде приведены их параметры). При этом существуют и другие эволюционные стадии развития молекулярного ядра. Следовало дать более подробное описание.

– Замечание о инфракрасных тёмных облаках и глобулах Бока: Мы пытались подчеркнуть, что это разные объекты. В тексте диссертации информация о глобулах Бока приводится в контексте истории исследования темных туманностей. Указывается на общий признак инфракрасных тёмных облаков и глобул Бока – это поглощение в них фонового излучения. При этом указывается, что глобулы Бока обнаруживаются в оптике, а IRDC (более плотные облака) на длинах волн инфракрасного излучения и имеют большие размеры. Следовало дать более подробные разъяснения.

– Относительно термина «clump»: Под англоязычным понятием «clumps» мы понимаем следующее - окружение молекулярных ядер, со следующими физическими параметрами (на дополнительном слайде приведены параметры). Дословный перевод – «глыба», показался нам не физическим. В тексте мы пытались точнее отразить физический смысл понятия, но действительно не подобрали единственный аналог на русском языке.

– В диссертации действительно было бы корректнее использовать понятие «околосвёздный диск». Спасибо за это замечание.

Ответ на замечания официального оппонента Соболева А.М.

– Относительно каталогов, неучтенных при составлении нашего каталога метанольных мазеров I класса: Эти каталоги не использовались, т.к. они появились, когда наша статья уже была сдана в печать или существенно позже. При этом в каталоге Chen и др. (2011) применялся принципиально иной подход к поиску источников, исследовались объекты EGO.

– Замечание о названии работы: В названии предполагалось сделать акцент не на размерах областей, а на их составе, на том, что мы рассматриваем именно пылевые конденсации, с большим обилием пыли и органических молекул. Конденсации с мазерными источниками, являются частью структуры гигантских молекулярных облаков.

– Относительно непонятных фраз: Некоторые фразы можно было сформулировать проще, согласна с этим замечанием. Понятие clumps обсуждалось выше. В утверждении «наблюдаются как темные туманности, в радиодиапазоне их можно зафиксировать только в линии молекулы CO...», следовало, конечно, написать «например, в линии молекулы CO».

– В тексте автореферата действительно присутствует опечатка относительно обнаружения отклика от источника в наблюдениях с РадиоАстроном, она исправлена в тексте диссертации.

– Относительно неточностей в описании механизмов накачки: Действительно, возможно, мы использовали не самую современную теорию. Подробно в моей диссертации вопросы моделей накачки не обсуждались, т.к. это очень обширный и сложный вопрос, выходящий за рамки моего исследования. Но нам, действительно, следовало осторожнее обращаться с терминологией.

– Конечно, «межзвездный аккреционный диск» – это опечатка, имелся в виду околозвездный аккреционный диск.

ДИСКУССИЯ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Теперь возможна дискуссия. Кто хочет выступить?

ПОПОВ М.В.: Хочу сказать, как руководитель отдела, в котором работает Ольга, что диссертация очень насыщенная и демонстрирует множество методов исследования, подтверждает высокий уровень квалификации, хорошо, если бы все диссертации в отделе экспериментальной астрономии были такого уровня.

ШИШОВ В.И.: Это превосходит кандидатскую диссертацию, а не задает стандарт. Почти докторская.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Я хотел бы поддержать, что она превышает требования к кандидатским, как мне кажется. Еще желающие выступить? Нет, больше желающих нет. Заключительное слово соискателя.

СОИСКАТЕЛЬ: Я хотела бы поблагодарить всех за терпение и извиниться за технические неполадки. Надеюсь, я смогла достойно представить свой доклад. Спасибо за Ваши отзывы.

СЕКРЕТАРЬ: Есть предложение по счетной комиссии. Предлагается счетная комиссия в таком составе: Бурдюжа В.В., Малофеев В.М., Рудницкий Г.М.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Возражения есть? Нет возражений, все за. Прошу приступить к голосованию. (Объявляется перерыв для проведения тайного голосования).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ (после перерыва). Технический перерыв закончен.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СЧЕТНОЙ КОМИССИИ: Зачитывает протокол счетной комиссии по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук Баяндиной Ольге Сергеевне.

Результаты голосования:
Состав совета 21
Присутствовало 16
Роздано бюллетеней 16
Осталось не розданных бюллетеней 5
Оказалось в урне бюллетеней 16
За 16
Против 0
Недействительных бюллетеней 0.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Нам нужно утвердить результаты голосования. Кто за утверждение? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Протокол счетной комиссии утверждается единогласно. Поздравляем соискателя с присуждением ученой степени (аплодисменты).

Теперь нам нужно принять Заключение диссертационного совета. Есть ли замечания, дополнения по ЗаклЮчению? (Текст обсуждается и редактируется). Кто за то, чтобы принять отредактированный текст ЗаклЮчения? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Заключение принимается единогласно. Еще раз поздравляем соискателя (аплодисменты). Заседание объявляется закрытым.

Председатель диссертационного совета
академик РАН

Н.С. Кардашев

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Ю.А. Ковалев

30 мая 2016 г.