

**Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
Астрокосмический центр  
Научный совет по астрономии РАН**

**Всероссийская конференция  
Звездообразование  
И  
планетообразование  
Москва, АКЦ ФИАН  
15 – 17 ноября 2022**

**Научный организационный комитет:  
Е.О. Васильев,  
М.С. Кирсанова,  
Ю.А. Щекинов**

**Москва 2022**

## **Программа конференции <sup>1</sup>**

### **15 ноября, вторник**

**09:55 — 12:50** (Е.О. Васильев)

09:55 Открытие

10:00 С.А. Балашев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), Диффузная фаза межзвёздной среды: распространённости молекул и физические условия

10:40 А.Г. Пазухин (ИПФ РАН, ННГУ), Отношение интенсивностей  $\text{H}^{13}\text{CN}$ - $\text{HN}^{13}\text{C}$  как индикатор температуры межзвездных облаков

11:00 Д.Н. Косенко (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), Молекулы  $\text{HD}$  в Магеллановых Облаках

**11:20 кофе, чай**

11:50 Е.П. Курбатов (ИНАСАН), Конвекция и турбулентность в протопланетных дисках

12:10 Е.Е. Лехт (ГАИШ МГУ) Сильные вспышки мазерного излучения  $\text{H}_2\text{O}$  в источниках, связанных с областями звездообразования

12:30 Е.Е. Лехт (ГАИШ МГУ), Исследование магнитного поля в источниках областей звездообразования из наблюдений мазерных источников гидроксила

**12:50 обед**

**14:30 — 17:30** (С.А. Балашев)

14:30 С.В. Салий (Астрономическая обсерватория УрФУ), Излучение метанола в серии линий  $\text{J}_{1-0} \text{A}^+$  как трассер особых условий в областях образования массивных звезд

15:00 А.Д. Гималиева (УрФУ), Исследование излучения молекулярного сгустка вокруг  $\text{V}645 \text{ Sgr}$  на длинах волн 3-4 мм

**15:20 кофе, чай**

15:40 А.В. Засов (ГАИШ МГУ), Звездообразование в газе, теряемом галактическими дисками

16:20 Д.Ф. Гасымов (ГАИШ МГУ), Исследование галактик со звёздным противовращением

16:40 Е.А. Михайлов (ФИАН, МГУ), Условия роста магнитного поля в тонких галактических дисках и внешних кольцах

**17:00 обсуждение**

<sup>1</sup> желтым цветом выделены приглашенные доклады

## **ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И ПЛАНЕТООБРАЗОВАНИЕ**

---

**16 ноября, среда**

**10:00 — 13:30** (Д.З. Вибе)

10:00 И.И. Зинченко (ИПФ РАН), Достижения и перспективы миллиметровой и субмиллиметровой астрономии

10:40 В.И. Буюкас (ФИАН), Новая концепция наземно-космического радио интерферометра. Возможное развитие проекта «Радиоастрон».

11:00 А.В. Лапинов (ИПФ РАН), Новый субдоплеровский спектрометр ИПФ РАН

**11:20 кофе, чай**

11:40 М.Е. Сачков (ИНАСАН), Научные задачи проекта Спектр-УФ

12:20 М.С. Кирсанова (ИНАСАН), Научные задачи по межзвездной среде для проекта Спектр-УФ

13:00 обсуждение (ведущий — Б.М. Шустов)

**13:30 обед**

**14:30 — 18:00** (И.И. Зинченко)

14:30 М.С. Мурга (ИНАСАН), Углеродная вселенная: жизненный цикл углеродных пылинок, наблюдательные проявления и моделирование

15:10 Е.А. Годенко (ИПМ РАН, ИКИ РАН, МГУ), Моделирование электрического заряда межзвездных пылевых частиц в гелиосфере. Проникновение пылинок внутрь гелиосферы.

15:30 В.В. Журавлев (ГАИШ МГУ), Существует ли пучковая неустойчивость Юдина-Гудмана в приближении безынерционной пыли?

15:50 В.В. Королёв (ВолГУ), Трансзвуковая турбулентность в конвективно-неустойчивом облаке

**16:10 кофе, чай**

16:30 К.В. Плакитина (ИНАСАН), Исследование химического состава и кинематики газа в области образования массивных звезд RCW 120

16:50 А.М. Соболев (УрФУ), Транзиентные явления в звездообразовании: важность дальнего инфракрасного, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов

**17:30 обсуждение**

## **ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И ПЛАНЕТООБРАЗОВАНИЕ**

---

**17 ноября, четверг**

**10:00 — 12:40** (С.В. Салий)

10:00 О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ), Звездообразование в галактиках ранних типов

10:40 Д.Д.Соколов (МГУ, ИЗМИРАН), Конфигурация токовых слоев в экзопланетных системах и звездное динамо

**11:20 кофе, чай**

11:40 С.А. Хайбрахманов (УрФУ, ЧелГУ, СПбГУ), Магнитная газодинамика аккреционных и протопланетных дисков

12:20 М.В. Пашенцева (физический факультет МГУ), Скорость роста магнитного поля в «толстых» астрофизических дисках

12:40 обсуждение

**13:00 обед**

**14:30 — 17:30** (М.С. Кирсанова)

14:30 А.И. Васюнин (УрФУ), Теоретические и экспериментальные исследования химической эволюции областей звездообразования

15:10 Е.С. Постникова (ИНАСАН), РЗС в области Меча Ориона и их связь со звездно-газовой структурой

15:30 Н.Н. Шахворостова (АКЦ ФИАН), Мазеры водяного пара в областях звездообразования: тонкая структура и рассеяние

**16:00 кофе, чай**

16:20 И.С. Потравнов (ИСЗФ СО РАН), BD+30deg.549: молодая He-wk Si звезда в области звездообразования NGC 1333

16:40 Г.Н. Цуриков (ИНАСАН), О возможности наблюдения оксида азота на Земле-подобных экзопланетах с помощью обсерватории WSO-UV (Спектр-УФ)

**17:00 обсуждение, закрытие**

**Список участников**

Фамилия	Имя	Отчество
1. Акимкин	Виталий	Викторович
2. Ашимбаева	Нурия	Туткабаевна
3. Балашев	Сергей	Александрович
4. Боли	Пол Эндрю	-
5. Борщёва	Екатерина	Владимировна
6. Буюкас	Виктор	Игнатъевич
7. Васильев	Евгений	Олегович
8. Васюнин	Антон	Иванович
9. Вибе	Дмитрий	Зигфридович
10. Вольф	Александр	Владимирович
11. Гасымов	Дамир	Фариз оглы
12. Гималиева	Алина	Дамировна
13. Годенко	Егор	Алексеевич
14. Гусева	Анастасия	Олеговна
15. Догель	Владимир	Александрович
16. Дроздов	Сергей	Александрович
17. Журавлев	Вячеслав	Вячеславович
18. Засов	Анатолий	Владимирович
19. Зинченко	Игорь	Иванович
20. Ильин	Владимир	Борисович
21. Каленский	Сергей	Владимирович
22. Карамзина	Алёна	Евгеньевна
23. Карташова	Анна	Петровна
24. Кирсанова	Мария	Сергеевна
25. Ковалева	Дана	Александровна
26. Королёв	Виталий	Владимирович
27. Косенко	Дарья	Николаевна
28. Курбатов	Евгений	Павлович
29. Ламзин	Сергей	Анатольевич
30. Лапинов	Александр	Владимирович
31. Лехт	Евгений	Евгеньевич
32. Макаров	Константин	Альбертович
33. Максимова	Ломара	Аслановна
34. Марчук	Александр	Александрович
35. Михайлов	Евгений	Александрович
36. Михеева	Екатерина	Андреевна
37. Моисеев	Алексей	Валерьевич
38. Молярова	Тамара	Сергеевна
39. Мурга	Мария	Сергеевна
40. Нестеренок	Александр	Владимирович
41. Пазухин	Андрей	Геннадьевич
42. Пашенцева	Мария	Владимировна
43. Пирогов	Лев	Евгеньевич
44. Плакитина	Каролина	Владимировна
45. Постникова	Екатерина	Сергеевна

---

**ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И ПЛАНЕТООБРАЗОВАНИЕ**

---

46. Потравнов	Илья	Сергеевич
47. Сабиров	Денис	Шамилевич
48. Салий	Светлана	Викторовна
49. Сачков	Михаил	Евгеньевич
50. Сильченко	Ольга	Касьяновна
51. Сичевский	Сергей	Григорьевич
52. Соболев	Андрей	Михайлович
53. Соколов	Дмитрий	Дмитриевич
54. Соколова	Валерия	Алексеевна
55. Ткаченко	Роман	Валерьевич
56. Топчиева	Анастасия	Павловна
57. Хайбрахманов	Сергей	Александрович
58. Цуриков	Григорий	Николаевич
59. Шахворостова	Надежда	Николаевна
60. Ширяев	Андрей	Альбертович
61. Шугаров	Андрей	Сергеевич
62. Шустов	Борис	Михайлович
63. Щекинов	Юрий	Андреевич

# **Тезисы докладов**

**СА Балашев (ФТИ им Иоффе)**

**Диффузная фаза межзвёздной среды: распространённости молекул и физические условия**

В докладе представлены недавние результаты изучения холодной фазы диффузной межзвёздной среды, полученные нашей группой. Работа основана на спектроскопическом анализе абсорбционных систем, наблюдаемых как в нашей галактике (и галактиках локальной группы), так и в галактиках на больших красных смещениях. Представлены оценки на физические условия в диффузном холодном газе, полученные на основе анализа населённости вращательных уровней молекул  $H_2$  и  $CO$ , а также уровней тонкой структуры  $CI$  и  $CII$ . Обсуждается подход для теоретического описания распространённости молекул ( $H_2$ ,  $HD$ ,  $OH$ ) и атомов (например,  $CI$ ) и ионов (например,  $CII$ ) и его применение к наблюдательным данным.

Работа поддержана грантом РФФ 22-22-00164.



**ВИ Буюкас** (ФИАН, Отделение Физики Твердого Тела)

**Новая концепция наземно-космического радио интерферометра.  
Возможное развитие проекта «Радиоастрон».**

Обсуждаются трудности, возникающие при разработке наземно-космического интерферометра мм диапазона с большим космическим зеркалом, расположенным в точке L2 [1]. Предлагается новая концепция наземно — космической антенной решеткой мм диапазона, включающей в себя набор сравнительно небольших космических антенн мм диапазона, доставляемых на орбиты одним запуском. Концепция опирается на опыт работы проекта «Радиоастрон» [2], продемонстрировавший возможность получения рекордных угловых разрешений в коротковолновой области спектра с помощью антенн небольшого размера (КИП зеркала телескопа проекта «Радиоастрон» на орбите на длине волны 1.35 см оказался равным 0.1). Рассматриваются технические задачи, которые необходимо решить для реализации новой концепции [3].

1. Шайхутдинов А. Р. , Костенко В. И.// Перспективы использования гало-орбиты в окрестности точки либрации L2 системы солнце-земля для наземно-космического радиоинтерферометра Миллиметрон. Космические исследования, 2020, том 58, № 5, с. 434-442. DOI: 10.31857/S002342062005009X
2. Кардашев Н.С., Хартов В.В., Абрамов В.В., Авдеев В.Ю. и др. // «Радиоастрон» - телескоп размером 300000 км: основные параметры и первые результаты наблюдений. Астрономический журнал, 2013, том 90, №3, с.179-222.
3. Bujakas V.I. // «Radioastron-2» - a new concept of space radio interferometer. Proceedings of International Conference “Space Sciences and Technologies”. Byurakan Astrophysical Observatory (BAO), Armenia on 19-23 September, 2022. (in press).

**АИ Васюнин** (УрФУ)  
А Пунанова (УрФУ),  
Г Федосеев (УрФУ),  
Е Борщева (ИНАСАН, УрФУ),  
М Мурга (ИНАСАН, УрФУ),  
И Петрашкевич (УрФУ),  
М Медведев (УрФУ),  
А Островский (УрФУ),  
М Кискин (УрФУ),  
В Соколова (УрФУ),  
А Можегоров (УрФУ)

**Теоретические и экспериментальные исследования химической эволюции областей звездообразования**

Доклад будет посвящен обзору недавних теоретических и экспериментальных результатов исследований химических процессов в областях образования звезд. Среди прочего, будут обсуждаться роль недиффузионной химии в холодном синтезе сложных органических молекул, лабораторные исследования аналогов межзвездных льдов, а также развиваемая собственная экспериментальная база научной лаборатории астрохимических исследований Уральского Федерального Университета.

Результаты, представленные в обзорном докладе, получены в рамках проекта Госзадания FEUZ-2020-0038, гранта РФФИ 18-12-00351-П, а также проекта Минобрнауки РФ 075-15-2020-780

**ДФ Гасымов** (ГАИШ МГУ)  
ИЮ Катков (ГАИШ МГУ, NYU Abu-Dhabi)

### **Исследование галактик со звёздным противовращением**

Как правило, в дисковых галактиках газ и звёзды расположены в одной плоскости и вращаются в одном направлении. Однако встречаются галактики с рассогласованной кинематикой газа относительно звёзд, а также объекты с двумя независимыми звёздными дисками, вращающимися в разные стороны (звёздное противовращение). Такие системы формируются из аккрецированного извне вещества. Поэтому их исследование позволяет уточнить детали процесса аккреции. Детально были изучены лишь 10 галактик со звёздным противовращением. Используя публичные данные обзора MaNGA SDSS DR17 мы составили выборку из 49 надёжных и 63 кандидатов галактик со звёздным противовращением. Благодаря наблюдательной кампании на телескопе БТА САО РАН мы детально исследуем свойства обоих звездных дисков и газа. Мы обнаружили дихотомию в свойствах выборки. В более массивных галактиках чаще встречается "внешний" противовращающийся диск с большим вкладом в светимость галактики, чем в маломассивных галактиках. В них наблюдается классический противовращающийся диск, преобладающий в центральной части галактики и имеющий меньшую массу и светимость, чем старый диск. Мы обсуждаем эту дихотомию с точки зрения режима аккреции и ее зависимости от массы галактики и её окружения.

**АД Гималиева** (УрФУ)  
**МС Кирсанова** (ИНАСАН),  
**СВ Салий** (УрФУ)

**Исследование излучения молекулярного сгустка вокруг V645 Cyg на длинах волн 3-4 мм**

В ЛТР-приближении были получены оценки вращательной температуры СНЗСН, лучевые концентрации 23 молекул. Также были построены карты скоростей для 9 молекул.

**ЕА Годенко** (ИПМех РАН им. А.Ю.Ишлинского, ИКИ РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова)  
**ВВ Измоденов** (ИКИ РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова, ИПМех им. А.Ю.Ишлинского)

### **Моделирование электрического заряда межзвездных пылевых частиц в гелиосфере. Проникновение пылинок внутрь гелиосферы.**

Солнце движется относительно локальной межзвездной среды со скоростью 26.4 км/сек. При взаимодействии плазмы солнечного ветра и частично-ионизованной плазмы локальной межзвездной среды образуется структура из двух ударных волн и тангенциального разрыва между ними, которая называется гелиосферным ударным слоем. В межзвездной среде, помимо плазменной и нейтральной компонент, присутствует также пылевая компонента, частицы которой (из-за относительного движения) могут проникать внутрь гелиосферы, пересекая гелиосферный ударный слой. Параметры плазмы (плотность, скорость, температура, магнитное поле) в гелиосферном ударном слое существенно отличаются от параметров плазмы в невозмущенных солнечном ветре и межзвездной среде, что значительно влияет на заряд и траектории пылевых частиц. Целью данной работы является исследование процесса формирования заряда пылевых частиц в гелиосферном ударном слое. Модель для вычисления заряда пылевых частиц необходима для моделирования распределения частиц межзвездной пыли в гелиосфере и, в частности, для исследования проникновения этих частиц внутрь гелиосферы. На заряд частиц межзвездной пыли оказывают влияние несколько физических процессов: 1) прилипание протонов и электронов из окружающей плазмы на поверхность пылинки; 2) вторичная электронная эмиссия, которая образуется в результате падения на поверхность пылинки электронов высоких энергий; 3) различные виды фотоэлектронной эмиссии; 4) эффекты, связанные с космическими лучами в межзвездной среде. Токи, соответствующие упомянутым процессам, зависят от условий среды, которая окружает пылинки, а также от свойств самих пылинок: их формы, размера, химического состава. Для вычисления заряда используется приближение равновесного заряда. Равновесный заряд – заряд, при котором алгебраическая сумма токов по всем физическим процессам равна нулю. Мы показываем, что динамическое вычисление заряда вдоль траекторий (с помощью решения отдельного дифференциального уравнения на заряд) не оказывает существенного влияния на распределение концентрации пылинок. Для вычисления распределения концентрации пылинок используется метод Монте-Карло. Результаты моделирования показывают, что частицы пыли малых размеров практически полностью фильтруются на границе гелиосферы, в то время как крупные пылинки пересекают гелиосферный ударный слой практически беспрепятственно.

**ВВ Журавлев (ГАИШ МГУ)**

**Существует ли пучковая неустойчивость Юдина-Гудмана в приближении безынерционной пыли?**

Приближение безынерционной пыли (terminal velocity approximation) широко используется как в аналитических, так и в численных исследованиях динамики газопылевой смеси с пылинками, которые достаточно тесно связаны с газом. В этой работе пересматривается ее совместимость с физическими процессами, ответственными за известную пучковую неустойчивость газопылевой смеси (Юдин и Гудман 2005), вызываемую радиальным дрейфом пыли в протопланетных дисках. Анализ проводится в приближении малого количества пыли в смеси. Показано, что использовавшиеся ранее уравнения превышают физическую точность приближения безынерционной пыли, и, как следствие, соответствующее им дисперсионное уравнение воспроизводит длинноволновую ветвь указанной неустойчивости, которая вызывается инерционным процессом: медленным стационарным азимутальным дрейфом пыли в диске. Уточненное приближение безынерционной пыли не приводит к пучковой неустойчивости Юдина-Гудмана в случае малого количества пыли в смеси.

**АВ Засов (ГАИШ)**

**Звездообразование в газе, теряемом галактическими дисками**

Галактики могут терять часть межзвездного газа при взаимодействии с соседними системами или в результате выметания газа лобовым давлением межгалактической среды. И в том, и в другом случае на большом расстоянии от центров галактик часто наблюдаются отдельные эмиссионные области, связанные с молодыми звездами. Будет рассказано о результатах длиннощелевых спектральных наблюдений эмиссионного газа во взаимодействующих системах, проведенных на БТА, и о возможных механизмах, стимулирующих появление очагов звездообразования в специфических условиях низкой средней плотности газа.

**ИИ Зинченко** (ИПФ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского)

### **Достижения и перспективы миллиметровой и субмиллиметровой астрономии**

Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия является важнейшим и часто уникальным источником информации для решения ряда актуальных астрофизических проблем. Многие из них связаны с изучением так называемой «холодной» Вселенной. В основном это межзвёздные газопылевые облака, как в нашей Галактике, так и в далеких объектах. Пик их излучения лежит в субмиллиметровом диапазоне. В них происходит процесс звездообразования, многие аспекты которого до сих пор не вполне понятны. Особенно это касается образования массивных звезд. В докладе приводятся некоторые недавние результаты исследований таких объектов. Наряду с изучением холодной Вселенной, миллиметровая и субмиллиметровая астрономия вносит неоценимый вклад и в исследования таких объектов, как активные ядра галактик, которые, судя по всему, представляют собой аккрецирующие сверхмассивные чёрные дыры. Одним из самых впечатляющих достижений миллиметровой астрономии явились недавно полученные при помощи Телескопа Горизонта Событий (ТГС) изображения «тени» сверхмассивной чёрной дыры (СМЧД) в галактике М87, а также в центре нашей Галактики. ТГС представляет собой глобальную сеть радиотелескопов, работающих в этом диапазоне. В мире активно строятся новые миллиметровые и субмиллиметровые радиотелескопы. При этом в нашей стране вообще нет подобных конкурентоспособных инструментов. На территории РФ нет площадок, сравнимых по астроклимату в данном диапазоне с лучшими в этом смысле местами на Земле, но есть площадки, где возможны эпизодические наблюдения на волнах до 0.8 мм и, возможно, короче. Строительство хотя бы одного субмиллиметрового телескопа диаметром 15–20 м позволит значительно повысить уровень проводимых в стране астрофизических исследований и включиться в международные проекты. Обсуждаются возможные научные задачи и пути создания таких инструментов.

Работа поддержана грантом РФФ 22-22-00809.



**МС Кирсанова (ИНАСАН)**

**Научные задачи по межзвездной среде для проекта Спектр-УФ**

В докладе обсуждается ряд научных задач по межзвездной среде для проекта Спектр-УФ

**ВВ Королев (ВолГУ)**

### **Трансзвуковая турбулентность в конвективно-неустойчивом облаке**

За возникновение и поддержание турбулентности в межзвёздной среде, вероятно, отвечают несколько физических механизмов. В частности, в протозвёздных облаках она может быть связана с конвективной неустойчивостью. Необходимые для её развития условия обеспечиваются благодаря инверсной стратификации среды, поддерживаемой внутренними источниками излучения (звёздами) и самогравитацией. Моделирование показывает, что среда облака перестраивается при появлении источников излучения, образуется инверсный слой, в котором спонтанно возникает конвективное течение, далее переходящее в турбулентный режим. Мы представляем результаты численного моделирования развития трансзвуковой турбулентности по всему объёму облака и установление квазистационарного режима течения: 1) характерные масштабы вихрей составляют  $\sim (0.05-0.1)\lambda_J$ , 2) спектр турбулентности близок к Колмогоровскому 3) турбулентность имеет трансзвуковой характер с числами Маха  $M < 1.2$ , 4) сверхзвуковые области течения транзитны и составляют малую долю его объёма.

**ДН Косенко** (ФТИ им Иоффе)  
**СА Балашев** (ФТИ им. Иоффе)

### **Молекулы HD в Магеллановых Облаках**

Молекула HD — изотоп самой распространенной молекулы во Вселенной, H<sub>2</sub>. Отношение N(HD)/N(H<sub>2</sub>) сильно зависит от физических условий в среде, что позволяет оценивать различные параметры, в частности скорость ионизации космическими лучами [1, 2]. Ранее мы показали, что при уменьшении металличности концентрация молекул HD может увеличиваться [1], также провели систематический поиск HD в системах на больших красных смещениях (в них металличность в среднем меньше, чем в нашей Галактике) и оценили скорость ионизации космическими лучами в найденных системах, а также в некоторых уже известных [2]. Одни из ближайших к нам галактик, в которых наблюдается существенно меньшая металличность, чем в Млечном Пути, - это Большое и Малое Магелланово Облако. Близость к нашей Галактике дает уникальную возможность детального изучения низкометаллических систем вдоль различных лучей зрения в одной галактике и оценки условий в этих системах. Мы провели систематический поиск молекул HD в Магеллановых Облаках, используя архивные спектры телескопа FUSE [3, 4]. Для поиска молекул HD мы использовали методы абсорбционной спектроскопии систем, лежащих на луче зрения наблюдатель - яркий фоновый источник (квазар для наблюдений на больших красных смещениях либо яркая звезда для близких галактик). Лучевые концентрации HD в найденных системах варьируются от  $10^{13}$  до  $10^{15}$  см<sup>-2</sup>. Используя архивные данные телескопа Хаббл, для некоторых систем были найдены населенности уровней тонкой структуры CI и металличность. Используя полученные лучевые концентрации CI, H<sub>2</sub> и HD были оценены физические условия в этих системах, а именно, скорости ионизации космическими лучами, интенсивности УФ фона и объемные концентрации.

Работа поддержана грантом РФФИ №18-12-00301

1. S.A. Balashev, D.N. Kosenko, MNRAS: Letters, vol.492, p.L45-L49, 2020
2. D.N. Kosenko, S.A. Balashev, P. Noterdaeme, J.-K. Krogager, R. Srianand, C. Ledoux, MNRAS, vol.505, p.3810-22, 2021
3. Blair W.P. et al, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, vol.121, pp.634, 2009
4. Welty D.E., Xue R., Wong T., The Astrophysical Journal, vol.745, pp.28, 2012

**АВ Лапинов** (ИПФ РАН)

ИВ Лапкин,

РА Алексеев,

ТА Хабарова,

ГЮ Голубятников,

АФ Андриянов,

АП Шкаев,

ПМ Землянуха

### **Новый субдоплеровский спектрометр ИПФ РАН**

Высокоточные измерения систематических движений в областях звездообразования и исследования вариаций фундаментальных констант из анализа спектров молекул не возможны без прецизионных измерений лабораторных частот. Цель доклада - рассказать о новом субдоплеровском спектрометре ИПФ РАН, созданном для лабораторной спектроскопии межзвездных молекул, его возможностях, а также достоинствах и подводных камнях, связанных с измерениями на основе провала Лэмба.

**ЕЕ Лехт** (ГАИШ)  
НТ Ашимбаева (ГАИШ)  
АМ Толмачев (АКЦ ФИАН. ПРАО)

**Исследование магнитного поля в источниках областей звездообразования из наблюдений мазерных источников гидроксила**

Обсуждаются результаты мониторинга источников мазерного излучения ОН (W75N, G43.8-0.1, ON1 и др.), связанных с областями активного звездообразования. Наблюдения выполнены на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция). Регистрировались обе круговые поляризации и линейная поляризация для четырех направлений позиционного угла антенны. Для отдельных мазерных деталей обнаружена корреляция переменности плотности потока и направления вектора поперечного магнитного поля. Для источника W75N показано, что ориентация векторов магнитного поля монотонно меняется вдоль дуги, на которой расположены мазерные конденсации. В G43.8-0.1 происходили существенные локальные для источника изменения направления поперечного магнитного поля. Так в некоторых мазерных деталях направление поля менялось на противоположное, т.е. на 180 градусов. В источнике ON1 векторы поперечного магнитного поля ориентированы, в основном, вдоль дуги в северной и южной частях сверхкомпактной области III. Для одной детали обнаружено изменение магнитного поля со временем. Это носит локальный характер для источника ON1. Для некоторых деталей, перечисленных выше источников, были обнаружены Зеемановские пары и по величине и знаку расщепления были вычислены значения продольного магнитного поля и его направление.

**ЕЕ Лехт** (ГАИШ)  
НТ Ашимбаева (ГАИШ)  
АМ Толмачев (АКЦ ФИАН. ПРАО)

**Сильные вспышки мазерного излучения H<sub>2</sub>O в источниках, связанных с областями звездообразования**

Многолетний мониторинг источников мазерного излучения водяного пара в областях звездообразования показал, что в ряде источников возникают очень сильные вспышки излучения. Длятся они непродолжительное время и, как правило, связаны со значительным увеличением излучения одного спектрального компонента. Такие вспышки наблюдались, например, в IRAS 16293, IRAS 18316, IRAS 21078 и др. Типичным представителем такого типа является источник W51M. Многолетний мониторинг W51M в линии 1.35 см проводится на 22-м радиотелескопе в Пушино. С 2009 по 2022 г. обнаружены три мощные вспышки мазера на лучевых скоростях 69.7, 61.6 и 59 км/с с плотностью потока в максимумах 23.1, 29.4 и 66.1 Ян соответственно. Вероятной причиной таких мощных вспышек может быть наложение на луче зрения двух или более мазерных конденсаций (сгустков вещества) с близкими лучевыми скоростями при наличии турбулентных движений вещества. Линия на 59 км/с является асимметричной. Обсуждаются различные механизмы возникновения асимметрии. В W51M также обнаружено большое число вспышек с плотностью потока выше 10 кЯн.

**ЕА Михайлов** (ФИАН им. П.Н.Лебедева / МГУ им. М.В.Ломоносова)

### **Условия роста магнитного поля в тонких галактических дисках и внешних кольцах**

Большое количество галактик обладают крупномасштабными магнитными полями величиной в несколько микрогаусс [1]. Их генерация обусловлена действием механизма  $\alpha\Omega$ -динамо, который связан с характером течений в межзвездной среде. Особый интерес представляет изучение роста магнитного поля в так называемых внешних кольцах галактик, расположенных на некотором расстоянии от центрального объекта [2]. Достаточно удобным оказывается использование планарного приближения, которое связано с тем фактом, что галактический диск достаточно тонкий. В таком случае решение задачи сводится к решению пары уравнений для компонент поля. Механизм динамо носит пороговый эффект, и генерация поля возможна лишь при определенном соотношении между кинематическими параметрами межзвездной среды. Оценка данного порога требует решения спектральной задачи [3], для которой собственные значения соответствуют скоростям роста магнитного поля. В работе исследована скорость роста магнитного поля для основной части галактики и для внешних колец галактик. С помощью решений задачи на собственные значения показано, что условия генерации магнитного поля во внешних кольцах жестче, чем в основном диске.

1. T. G. Arshakian, R. Beck, M. Krause, D. Sokoloff // *Astronomy and Astrophysics*. — 2009. — Vol. 494. — P. 21–32.
2. D. Moss, E. Mikhailov, O. Silchenko, D. Sokoloff, C. Horrelou, R. Beck // *Astronomy and Astrophysics*. — 2016. — Vol. 592, A44
3. Е.А.Михайлов. // *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия*. — 2020. — № 5. — С. 40–45.

**МС Мурга (ИНАСАН)**

**Углеродная вселенная: жизненный цикл углеродных пылинок, наблюдательные проявления и моделирование**

В докладе будет сделан обзор современных представлений об углеродной пыли: о различных возможных типах, их структуре и свойствах. Более подробно будет освещен вопрос о наиболее малых представителях пыли - полициклических ароматических углеводородах и фуллеренах и их потенциально возможных аллотропах. Будет рассказано о том, как могут себя проявлять в наблюдениях разные типы пылинок в широком диапазоне длин волн за счет различных механизмов, а также о том, какие наблюдения имеются на сегодняшний день и что получено из этих наблюдений. Планируется уделить внимание теоретическому моделированию жизненного цикла углеродной пыли: рождение в оболочках звезд и межзвездной среде, разрушение и трансформация в результате воздействия различных факторов, рост и благоприятные условия для роста, а также участие пыли в этапах формирования молекул. Наконец, будет рассказано о лабораторных исследованиях, касающихся углеродных пылинок, благодаря которым можно значительно расширить и уточнить наши представления об их содержании и жизни в космосе.



**АГ Пазухин** (ИПФ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского)  
ИИ Зинченко (ИПФ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского),  
ЕА Трофимова (ИПФ РАН),  
К Хенкель (Институт радиоастрономии общества Макса Планка, ФРГ)

**Отношение интенсивностей  $\text{H}^{13}\text{CN}$ - $\text{HN}^{13}\text{C}$  как индикатор температуры межзвездных облаков**

С помощью 30-м радиотелескопа IRAM были проведены наблюдения нескольких областей образования массивных звезд на длинах волн 3–4 мм и 2 мм. Температура газа в источниках оценивалась по линиям  $\text{CN}^{13}\text{CN}$  и по полученным при наблюдениях на 100-м радиотелескопе в Эффельсберге линиям молекулы  $\text{NH}_3$ . В результате были получены корреляции отношения интенсивностей  $\text{H}^{13}\text{CN}$ – $\text{HN}^{13}\text{C}$  и кинетической температуры. Полученные результаты позволяют предложить использование отношения интенсивностей  $\text{H}^{13}\text{CN}$ – $\text{HN}^{13}\text{C}$  как возможный индикатор температуры межзвездных облаков. Полученные оценки кинетической температуры сравнены с оценками температуры пыли  $T_{\text{dust}}$ . В результате значимой корреляции не было обнаружено.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант 22-22-00809).

**МВ Пашенцева (МГУ)**

ЕА Михайлов

### **Скорость роста магнитного поля в «толстых» астрофизических дисках**

В настоящий момент установлено наличие магнитных полей в спиральных галактиках. Их генерация обусловлена действием механизма динамо, который основан на характере крупномасштабных течениях среды и спиральности скоростей турбулентных движений. С точки зрения магнитной гидродинамики удобно описывать генерацию поля, считая галактику диском. Ранее было построено приближение, которое дает возможность оценить скорость роста магнитного поля в предположении, что диск является достаточно тонким (по- $z$  модель [1]). Так же было продемонстрировано, что приближение тонкого диска можно использовать и для аккреционных дисков [2]. Между тем, большое количество объектов имеют значительную толщину. Для этого разумно модифицировать уравнения динамо с учетом вертикальной структуры поля. Тем не менее, это усложняет решение задачи. Так, в отличие от по- $z$  модели, вычисление скорости роста магнитного поля уже не настолько прозрачно. Так же это затрудняет определение критического динамо-числа. В настоящей работе проведен спектральный анализ дифференциального оператора в случае толстых дисков. С помощью метода теории возмущений, хорошо известной в квантовой механике, были вычислены приближенные значения скоростей роста магнитного поля [3]. Установлено критическое значение динамо-числа, которое оказалось выше, чем для тонких дисков.

1. Moss D. On the generation of bisymmetric magnetic field structures in spiral galaxies by tidal interactions // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1995. – Т. 275. – №. 1. – С. 191-194.
2. Magnetic fields in the accretion discs for various inner boundary conditions / D. V. Boneva, E. A. Mikhailov, M. V. Pashentseva, D. D. Sokoloff // Astronomy and Astrophysics. — 2021. — Vol. 652. — P. A38.
3. Mikhailov E. A., Pashentseva M. V. The eigenvalue problem for a dynamo in a thick disk and the threshold of magnetic field generation // Moscow University Physics Bulletin. — 2022. — Vol. 77, no. 5. — P. 741–746.

**КВ Плакитина** (ИНАСАН)  
МС Кирсанова (ИНАСАН),  
АОХ Олофссон (Обсерватория Онсала),  
СВ Каленский (АКЦ ФИАН)

**Исследование химического состава и кинематики газа в области образования массивных звезд RCW 120**

RCW 120 представляет собой область ионизированного водорода (HII) и является одной из наиболее интересных для изучения областей образования массивных звезд, вследствие ее близости (~1.3 кпк) и относительно простой морфологии. На периферии RCW120 наблюдаются плотные молекулярные сгустки с погруженными в них протозвездами, в т.ч. массивными. Несмотря на то, что RCW 120 является одной из наиболее изученных областей звездообразования, работ по исследованию химического разнообразия в области образования протозвезд до сих пор не проводилось. Используя телескоп APEX мы провели наблюдения радиолиний молекул в направлении этих протозвезд в диапазоне частот от 200 до 260 ГГц. Мы получили карты интегральной интенсивности для различных молекул: от двухтомных (SO, CS) до сложных органических молекул (CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>CCH). Методом вращательных диаграмм по переходам CH<sub>3</sub>CCH и CH<sub>3</sub>CN были определены температуры и лучевые концентрации молекул. Анализ кинематики был проведен по изучению профилей молекулярных линий и диаграммам позиция-скорость молекул SiO и CH<sub>3</sub>OH, которые известны как трассеры истечений.

**ЕС Постникова** (ИНАСАН)

СВ Верещагин,

НВ Чупина,

АВ Тутуков,

ДВ Мосунова

### **РЗС в области Меча Ориона и их связь со звездно-газовой структурой**

Рассмотрено строение группы РЗС в области Меча Ориона и его газовой-пылевой составляющей. В этой области находятся РЗС NGC 1981, NGC 1977, NGC 1976, NGC 1980 и другие новые звездные группы. Взяты звезды Gaia DR3, расположенные на расстояниях от Солнца от 450 до 350 пк (рассчитаны по параллаксам, приведенным в каталоге Gaia). Прослежена связь скоплений Меча Ориона с расположенной в том же регионе газовой-пылевой областью по данным космического аппарата "Гершель". Сделано предположение о возникновении цепочки из РЗС из-за возникновения области звездообразования, в результате столкновения двух линзообразных молекулярных облаков.

**ИС Потравнов** (ИСЗФ СО РАН)  
ЛИ Машонкина (ИНАСАН),  
ТА Рябчикова (ИНАСАН)

**BD+30deg.549: молодая He-weak Si звезда в области звездообразования NGC 1333**

В докладе будут представлены результаты спектроскопического исследования химически пекулярной звезды BD+30deg.549, принадлежащей области звездообразования NGC1333. Мы обнаружили, что звезда обладает незначительным вращением и He-weak спектральным паттерном со значительно усиленными линиями Si II и Si III. Фундаментальные параметры звезды  $T_{\text{eff}}=13100$  К и  $L=2.1L_{\odot}$  соответствуют возрасту порядка 2.7 млн.лет и положению на диаграмме Герцшпрунга-Рессела в конце эволюционного трека до Главной Последовательности, вблизи ГП нулевого возраста. Анализ содержаний элементов выявил умеренный дефицит практически всех элементов, за исключением Si, Fe, Ca и P которые находятся в избытке. Мы выполнили не-ЛТР расчёты для Si II/Si III, Mg II и Ca II для того чтобы проверить влияние отклонений от ЛТР на формирование линий. Не-ЛТР вычисления позволили намного лучше воспроизвести профили отдельных линий кремния, но полностью не элиминировали разницу в содержаниях между линиями Si II и Si III. Мы также исследовали эффекты возможной химической стратификации в атмосфере BD+30deg.549. По всей видимости, "Si II/Si III аномалия" наблюдаемая в спектре BD+30deg.549 возникает в результате совместного действия вертикальных и горизонтальных градиентов содержаний, а также не-ЛТР эффектов. Эволюционный статус BD+30deg.549 подразумевает, что потеря углового момента, стабилизация атмосферы и формирование пекулярного поверхностного химического состава произошли на фазе до Главной Последовательности.

**СВ Салий** (УРФУ)

ИИ Зинченко (ИПФ РАН)

ШЮ Лю (Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica),

АМ Соболев (АО УрФУ)

### **Излучение метанола в серии линий J<sub>1</sub>–J<sub>0</sub> A–+ как трассер особенных условий в областях образования массивных звезд**

В работе представлены результаты исследования серии линий метанола J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+. Поводом для проведения исследования послужило обнаружение в 2016 г. в области звездообразования S255IR-SMA1 мазерного излучения в линии метанола из серии J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+ с квантовым числом J = 14 на частоте 349.1 ГГц (Zinchenko et al., 2017). Примечательно, что никогда ранее линии этой серии не рассматривались в качестве потенциально мазерных. В ходе исследования были проведены наблюдения объекта S255IR-SMA1 на интерферометре SMA в 6 линиях серии J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+. Проведен миниобзор в частотном диапазоне 330-350 ГГц, в который входят 3 линии серии J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+, на телескопе IRAM 30-м. Обзор включил 15 объектов, известных ярким мазерным излучением в линии метанола на 6.7 ГГц, среди которых был и объект S255IR-SMA1. Помимо наблюдений, был проведен поиск физических условий, при которых могли бы генерироваться наблюдаемые линии метанола и оценена возможность мазерного эффекта в линиях серии J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+. Было выявлено, что с момента обнаружения, 9 сентября 2016 г., до момента наблюдения на интерферометре SMA, 21 марта 2019 г., интенсивность мазерной компоненты линии 141-140 A-+ (349.1 ГГц) в объекте S255IR-SMA1 уменьшилась более чем на порядок и что это падение интенсивности хорошо коррелирует с падением интенсивности соответствующей компоненты мазерной линии на 6.7 ГГц. Из 6 линий серии J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+, наблюдавшихся на SMA, только в линии с J = 7 зарегистрирована дополнительная, сравнительно яркая, спектральная компонента на скорости, соответствующей скорости мазерной компоненты, наблюдавшейся в 2016 г. На основании LVG-моделирования определены интервалы физических параметров, при которых могут генерироваться наблюдаемые интенсивности линий. Из 15 объектов, наблюдавшихся в рамках миниобзора, только в объекте NGC 7538, в линии 11<sub>1</sub>-11<sub>0</sub> A-+ (331.502 ГГц), обнаружена спектральная компонента, которая может являться слабым мазером. В результате исследования установлено, что мазерный эффект в серии линий метанола J<sub>1</sub>-J<sub>0</sub> A-+ является редким явлением; его наблюдение указывает на высокие температуру и плотность среды и, возможно, служит индикатором всплеск излучения в ближнем ИК диапазоне в областях образования массивных звезд.

**МЕ Сачков (ИНАСАН)**

**Научные задачи проекта Спектр-УФ**

В докладе обсуждаются текущее состояние и научные задачи проекта Спектр-УФ

**ОК Сильченко (ГАИШ МГУ)**

**Звздообразование в галактиках ранних типов**

Несмотря на то, что галактики ранних типов считаются red and dead, у них часто бывают протяженные массивные диски. Почему же в среднем звездообразование в этих дисках бывает более редким и/или слабым, чем у спиральных галактик?



**АМ Соболев (УрФУ)**

### **Транзиентные явления в звездообразовании: важность дальнего инфракрасного, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов**

Обширные современные обзоры установили, что большинство молодых звёзд проявляет переменность в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. Однако молодые звёздные объекты на самых ранних стадиях своей эволюции обычно глубоко погружены в родительское вещество и могут наблюдаться только в дальнем инфракрасном, субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах. Поэтому такие наблюдения имеют большое значение для астрофизики. Кроме того, особенность исследования переменности в этих диапазонах состоит в том, что они дают в основном информацию об изменениях светимости, а не об эффектах непрозрачности. Мониторинг областей образования звёзд малой массы в рамках JCMT Transient Survey на 850 мкм установил, что на временных шкалах месяцев и лет происходят повсеместные изменения, связанные с изменениями темпов аккреции. Обнаружена также стохастическая аккреционная переменность. Это очень ценная информация для изучения явлений аккреции. JCMT Transient Survey также обнаружил одно краткосрочное событие, которое было связано с пересоединением магнитного поля. Исследования таких событий являются потенциальным инструментом для изучения физических процессов в масштабах от внутренних частей аккреционного диска до поверхности звезды. Последние несколько лет отмечены захватывающими открытиями ярких вспышек аккреции у массивных молодых звездных объектов в S255IR, NGC6334I, G358.931-0.030, G24.33+0.14 и др. Примечательно, что эти события сопровождались вспышками мазерного излучения, в том числе в субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах. Важную роль в этих сложных исследованиях играет Организация по Мониторингу Мазеров (M2O). Вот некоторые из полученных результатов: Наблюдения показывают, что структура околозвездных дисков массивных молодых звездных объектов существенно неоднородна. Эти диски содержат когерентные структуры размером до 1000 а.е. Аккреция вещества на молодую звезду происходит вдоль протяжённых структур, которые могут иметь форму спиралей. Вещество аккреционных структур состоит из сгустков, аккреция которых на молодую звезду приводит к вспышкам различной интенсивности. В аккреционных дисках присутствует большое количество вещества высокой плотности, что приводит к значительному замедлению распространения света в плоскости диска. В объектах S255IR, NGC6334I, G358.931-0.030, где вспышки происходят редко, после аккреционной вспышки физико-химическое состояние вещества диска изменяется и не возвращается к прежнему. В объекте G24.33+0.14, где вспышки происходят с периодичностью около 8 лет, физико-химическое состояние диска изменяется с такой же периодичностью. Аккреционные вспышки в молодых звёздных объектах обычно удается выявить только в субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах.

**ДД Соколов** (МГУ, ИЗМИРАН),  
ХВ Малова (МГУ, ИКИ),  
ЕВ Маевский (ИКИ),  
ЕВ Юшков (МГУ, ИКИ),  
ВЮ Попов (МГУ)

**Конфигурация токовых слоев в экзопланетных системах и звездное динамо**

Представлена простая модель связи типа динамо центральной звезды и токовых слоев, возникающих в результате работы этого динамо, в экзопланетной системе.

**СА Хайбрахманов** (УрФУ, ЧелГУ, СПбГУ)

### **Магнитная газодинамика аккреционных и протопланетных дисков**

Доклад посвящен обзору современного состояния исследований аккреционных и протопланетных дисков молодых звезд с крупномасштабным магнитным полем. Систематизируются и анализируются имеющиеся наблюдательные данные об интенсивности и геометрии магнитного поля аккреционных и протопланетных дисков. В частности, обсуждаются перспективы определения интенсивности магнитного поля по измерениям зеемановского расщепления линий молекул CN. Приводится обзор современных аналитических и численных моделей аккреционных дисков с магнитным полем. Анализируется эффективность перераспределения углового момента в дисках посредством турбулентности, натяжений крупномасштабного магнитного поля и истечений. Особое внимание уделяется вкладу омической и магнитной амбиполярной диффузии, магнитной плавучести и эффекта Холла в эволюцию магнитного потока дисков. Представляется авторская магнитогазодинамическая (МГД) модель аккреционных дисков молодых звезд с остаточным магнитным полем. С помощью модели исследуется влияние магнитного поля на вертикальную структуру и скорость вращения газа, а также температуру аккреционных дисков. Рассматривается проблема радиального дрейфа пылинок в дисках с динамически сильным магнитным полем. На основе расчетов показывается, что имеющиеся наблюдательные данные о магнитных полях молодых звездных объектов естественным образом объясняются в рамках теории остаточного магнитного поля. В заключении резюмируются современные проблемы теории аккреционных и протопланетных дисков с магнитным полем, а также отмечаются перспективы дальнейших исследований.

Автор признателен Правительству Российской Федерации и Министерству науки и высшего образования РФ за поддержку по гранту 075-15-2020-780 (№ 13.1902.21.0039, договор 780-10).

**ГН Цуриков** (ИНАСАН)  
ДВ Бисикало (ИНАСАН)

**О возможности наблюдения оксида азота на Земле-подобных экзопланетах с помощью обсерватории WSO-UV (Спектр-УФ)**

Принято считать, что наличие N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> доминантной атмосферы является признаком биологической и геологической активности на экзопланетах земного типа, которые находятся в зоне потенциальной обитаемости. Одним из индикаторов такой атмосферы является молекула оксида азота. Из спутниковых наблюдений атмосферы Земли известно, что наиболее яркой полосой оксида азота в ультрафиолетовом диапазоне является γ-полоса NO (203 – 248 нм). Космические телескопы, такие как действующий HST и планируемый к запуску WSO-UV (Спектр-УФ), позволяют наблюдать в данном спектральном диапазоне. В работе приведены оценки светимости различных экзопланет в γ-полосе NO. По результатам работы установлено, что обнаружение эмиссии NO в гамма полосе в атмосферах типичных экзо-Земель и супер-Земель возможно с помощью спектрографов обсерватории WSO-UV (Спектр-УФ) за разумное наблюдательное время (5 орбит Спектр-УФ).

**НН Шахворостова** (АКЦ ФИАН)

АВ Алакоз (АКЦ ФИАН),

АМ Соболев (УрФУ),

JM Moran (CfA, Harvard & Smithsonian, USA),

CR Gwinn (University of California, USA),

H Imai (Kagoshima University, Japan)

### **Мазеры водяного пара в областях звездообразования: тонкая структура и рассеяние**

Наблюдения мазеров водяного пара часто проводятся как с целью исследования различных пространственных структур и кинематики вещества в областях звездообразования, так и с целью измерения тригонометрических параллаксов различных объектов Галактики. Это становится возможным благодаря высокой яркости (плотность потока до десятков тысяч Янских) и очень маленьким угловым размерам этих объектов (меньше миллисекунды дуги), что позволяет наблюдать мазеры H<sub>2</sub>O на больших расстояниях в нашей Галактике и в других галактиках (мегамазеры). Однако, до запуска космического интерферометра "Радиоастрон" не представлялось возможным изучать собственную структуру отдельных мазерных пятен, поскольку для этого требуется разрешение интерферометра в несколько десятков микросекунд дуги. Кроме того, ранее не изучалось влияние рассеяния в межзвездной среде на видимую мелкомасштабную структуру мазеров водяного пара. Наблюдения на Радиоастроне впервые позволили выявить анизотропию мазерных пятен в области звездообразования W49N и изучить субструктуру рассеивающей среды. В докладе будет сделан обзор основных результатов наблюдений мазеров водяного пара на Радиоастроне и представлен анализ собственной структуры мазеров с учетом рассеяния излучения в межзвездной среде.

