

**Государственный Астрономический Институт  
им. П.К. Штернберга МГУ  
Научный совет по астрономии РАН**

**Всероссийская конференция  
Физика межзвёздной среды:  
от локального облака до  
ранних галактик  
Москва, ГАИШ МГУ  
25 – 26 мая 2023**

**памяти Николая Геннадьевича Бочкарева**

**Научный организационный комитет:**

**С.А. Балашев (ФТИ им. Иоффе)**

**К.В. Бычков (ГАИШ МГУ)**

**Е.О. Васильев (АКЦ ФИАН)**

**И.И. Зинченко (ИПФ РАН)**

**Е.А. Карицкая (ИНАСАН)**

**М.С. Кирсанова (ИНАСАН)**

**Ю.А. Щекинов (RRI)**

**Москва 2023**

*Конференция посвящена памяти **Николая Геннадьевича Бочкарева** — д.ф.-м.н, профессора ГАИШ МГУ. Николай Геннадьевич был одним из создателей рабочей группы по физике МЗС и более 30 лет был ее бессменным руководителем. Круг его интересов был всегда очень широк, и каждый новый результат в физике межзвездной среды и в астрофизике в целом принимался им с большим энтузиазмом. Ему принадлежат результаты фундаментальной значимости в разных областях астрофизики, начиная от термодинамики МЗС, происхождения и свойств локальной межзвездной среды, гало Галактики, физики АГЯ и до работ по астробиологии в последнее время. Спектр задач планируемой конференции вполне соответствует духу исследований, приверженцем которого был Н.Г. Бочкарев.*



**19.05.1947 - 24.12.2022**

## Программа

25 мая

09.30 — 10.40	ведущий — <b>ЮА Щекинов</b>
09.30 — 09.40	<b>ЮА Щекинов</b> , <i>Вступительное слово</i>
09.40 — 10.10	<b>НН Самусь и ЕА Карицкая</b> , Страницы из биографии НГ Бочкарева
10.10 — 10.40	<b>КВ Бычков</b> , История развития трёх идей Пикельнера
<b>10.40 — 11.00</b>	<b>кофе, чай</b>
<b>11.00 — 13.00</b>	ведущий — <b>СВ Салий</b>
11.00 — 11.30	<b>МС Мурга</b> , Эволюция ароматических углеводородов в межзвёздной среде
11.30 — 11.45	<b>ОВ Кочина</b> , <i>Субъядра DR21(OH): определение эволюционного статуса при помощи пакета PRESTALINE</i>
11.45 — 12.00	<b>ММ Евсеев</b> , <i>Синтез [6]-гелицена в газовой фазе</i>
12.00 — 12.15	<b>ОВ Кузнецов</b> , <i>Поверхность потенциальной энергии химической реакции этилового радикала с монооксидом углерода</i>
12.15 — 12.30	<b>ДГ Туричина</b> , <i>Моделирование оптических характеристик слоистых сфероидальных пылевых частиц</i>
12.30 — 12.45	<b>СН Лузгин</b> , Резонансное световое давление Галактического лайман-альфа фона как механизм диссипации турбулентных движений и нагрева межзвёздного газа в областях HI
<b>12.45 — 14.30</b>	<b>обед</b>
<b>14.30 — 16.15</b>	ведущий — <b>МС Мурга</b>
14.30 — 15.00	<b>НН Шахворостова</b> , Мазеры водяного пара в областях звездообразования
15.00 — 15.30	<b>СВ Салий</b> , Оценка физических параметров областей образования массивных звезд по радиолиниям метанола. Преимущества и сложности
15.30 — 15.45	<b>ЮС Воротынцева</b> , Метанольные мазеры на частоте 25 ГГц и сверхтонкая структура линий молекулы метанола
15.45 — 16.15	<b>ИИ Зинченко</b> , Наблюдательные исследования образования массивных звезд
<b>16.15 — 16.35</b>	<b>кофе, чай</b>
16.35 — 17.50	ведущий — <b>НН Шахворостова</b>
16.35 — 17.05	<b>СА Хайбрахманов</b> , Магнитные поля протопланетных дисков
17.05 — 17.20	<b>АМ Скляревский</b> , <i>Формирование планетезималей в гравитационно-неустойчивых протопланетных дисках</i>
17.20 — 17.50	<b>ВВ Акимкин</b> , Между Сциллой и Харибдой: коагуляция и фрагментация заряженной пыли в протопланетных дисках
17.50 — 18.20	обсуждение

26 мая

- 09.30 — 10.45** ведущий — **СА Хайбрахманов**  
 09.30 — 09.45 **АН Мелихов**, Ограничение на количество первичных черных дыр из-за взаимодействия с пылью  
 09.45 — 10.00 **ГА Гончаров**, *Межзвёздное поглощение поперёк слоя пыли в нашей Галактике*  
 10.00 — 10.15 **АВ Мосенков**, *Тонкий и толстый пылевые диски в видимых с ребра галактиках*  
 10.15 — 10.30 **ИГ Коваленко/ВВ Королев**, *Ударные волны и газопылевые структуры и в окрестности рукавов спиральных галактик*  
 10.30 — 10.45 **Ю Хонгжи**, *Galactic interstellar sulfur isotopes: a radial 32s/34s gradient*
- 10.45 — 11.05** чай, кофе
- 11.05 — 13.05** ведущий — **ИИ Зинченко**  
 11.05 — 11.20 **ОА Куричин**, Проблемы определения распространённости первичного гелия-4  
 11.20 — 11.35 **ДН Косенко**, Физические условия в Магеллановых Облаках  
 11.35 — 12.05 **АВ Моисеев**, Радиоджеты и конусы ионизации сейфертовских галактик  
 12.05 — 12.35 **СА Балашев**, Межзвёздная среда в галактиках на больших красных смещениях: определение физических условий  
 12.35 — 13.05 **ЕО Васильев**, Межзвездная среда в первых галактиках
- 13.05 — 14.30** обед
- 14.30 — 15.50** ведущий — **АВ Моисеев**  
 14.30 — 15.00 **ДД Соколов**, Мелкомасштабное динамо в контексте сопоставления модели Казанцева и каскадной модели  
 15.00 — 15.30 **МС Кирсанова**, Ударная волн и связанные с ней протозвезды вблизи области III RCW 120  
 15.30 — 16.00 **АВ Засов**, Особенности звездообразования на большом расстоянии от центра галактик
- 16.00 — 16.20** кофе, чай
- 16.20 — 18.05** ведущий — **МС Кирсанова**  
 16.20 — 16.50 **АМ Быков**, *Нетепловые процессы в компактных скоплениях молодых массивных звезд*  
 16.50 — 17.05 **ПМ Землянуха**, *Фрагментированная оболочка III зоны S187*  
 17.05 — 17.20 **ДА Сорокин/ЕМ Домбек**, Использование метода интерполяции и модели LOC для оценки физических параметров протозвездных ядер  
 17.20 — 17.35 **АГ Пазухин**, Доля дейтерия в молекулах HCO<sup>+</sup>, HCN, HNC, NH<sub>3</sub> и N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> в областях образования массивных звезд  
 17.35 — 18.05 **АВ Столяров**, Взгляд химика на современные проблемы молекулярной астрофизики
- 18.05 — 18.30** обсуждение, закрытие

## Список участников

Фамилия	Имя	Отчество	Организация
1. Акимкин	Виталий	Викторович	ИНАСАН
2. Ачарова	Ирина	Александровна	ЮФУ
3. Балашев	Сергей	Александрович	ФТИ им. Иоффе
4. Быков	Андрей	Михайлович	ФТИ им. Иоффе
5. Бычков	Константин	Вениаминович	МГУ
6. Васильев	Евгений	Олегович	АКЦ ФИАН
7. Вибе	Дмитрий	Зигфридович	ИНАСАН
8. Воротынцева	Юлия	Сергеевна	ФТИ им. Иоффе
9. Гималиева	Алина	Дамировна	УрФУ
10. Гончаров	Георгий	Александрович	ГАО РАН
11. Домбек	Евгений	Максимович	ИПФ РАН
12. Дроздов	Сергей	Александрович	АКЦ ФИАН
13. Евсеев	Михаил	Михайлович	ФИАН
14. Еретнова	Ольга	Викторовна	ЧелГУ
15. Засов	Анатолий	Владимирович	МГУ
16. Землянуха	Петр	Михайлович	ИПФ РАН
17. Зинченко	Игорь	Иванович	ИПФ РАН
18. Каленский	Сергей	Владимирович	ФИАН
19. Калинина	Наталья	Дмитриевна	УрФУ
20. Карицкая	Евгения	Алексеевна	ИНАСАН
21. Кийков	Сергей	Ортабаевич	НИУ ВШЭ
22. Кирсанова	Мария	Сергеевна	ИНАСАН
23. Коваленко	Илья	Геннадьевич	ВолГУ
24. Королёв	Виталий	Владимирович	ВолГУ
25. Косенко	Дарья	Николаевна	ФТИ им. Иоффе
26. Кочина	Ольга	Валерьевна	ИНАСАН
27. Кузнецов	Олег	Владимирович	ФИАН
28. Куричин	Олег	Алексеевич	ФТИ им. Иоффе
29. Лузгин	Сергей	Николаевич	ИЗМИРАН
30. Мелихов	Александр	Николаевич	ФИАН
31. Моисеев	Алексей	Валерьевич	САО РАН
32. Мосенков	Александр	Владимирович	ВУУ, ГАО РАН
33. Мурга	Мария	Сергеевна	ИНАСАН
34. Павлюченков	Ярослав	Николаевич	ИНАСАН
35. Пазухин	Андрей	Геннадьевич	ИПФ РАН
36. Пирогов	Лев	Евгеньевич	ИПФ РАН
37. Потравнов	Илья	Сергеевич	ИСЗФ СО РАН
38. Рящиков	Дмитрий	Сергеевич	ФИАН
39. Салий	Светлана	Викторовна	УрФУ
40. Самусь	Николай	Николаевич	ГАИШ, ИНАСАН
41. Склярёвский	Александр	Михайлович	ЮФУ
42. Соболев	Андрей	Михайлович	УрФУ

43. Соколов	Дмитрий	Дмитриевич	МГУ
44. Соколова	Валерия	Алексеевна	УрФУ
45. Сорокин	Даниил	Андреевич	ИПФ РАН
46. Столяров	Андрей	Владиславович	МГУ
47. Топчиева	Анастасия	Павловна	ИНАСАН
48. Туричина	Дарья	Глебовна	ГАО РАН
49. Хайбрахманов	Сергей	Александрович	УрФУ, СПбГУ, ЧелГУ
50. Холтыгин	Александр	Федорович	СПбГУ
51. Цуриков	Григорий	Николаевич	ИНАСАН
52. Шахворостова	Надежда	Николаевна	ФИАН
53. Щекинов	Юрий	Андреевич	RRI
54. Yu	Hongzhi		УрФУ

# **Тезисы докладов**

**ВВ Акимкин (ИНАСАН)**

**Между Сциллой и Харибдой: коагуляция и фрагментация заряженной пыли в протопланетных дисках**

Коагуляция пыли в протопланетных дисках считается ключевым начальным этапом формирования планет. Существует ряд процессов, существенно замедляющих рост пылинок, например, их фрагментация при высокоскоростных столкновениях и быстрый дрейф сквозь газ по направлению к звезде. Кроме того, в глубоких слоях диска пылинки становятся отрицательно заряженными из-за столкновений с электронами и ионами, что приводит к их кулоновскому отталкиванию. Заряд пылинок наиболее сильно блокирует коагуляцию микронных пылинок из-за их малых относительных скоростей. Скорости столкновений макроскопических частиц ( $>100$  мкм) могут быть, наоборот, чрезмерно большими и приводить к фрагментации. Доклад посвящен исследованию столкновительной эволюции пыли с учетом совместного действия электростатического и фрагментационного барьеров ее роста. Для этого численно решается уравнение Смолуховского для пылинок, зарядка которых происходит в условиях внутренних областей диска. Было найдено, что фрагментация макроскопических пылинок эффективно пополняет ансамбль микронных частиц под электростатическим барьером. В результате равновесное содержание мелких пылинок увеличивается на несколько порядков по сравнению со случаем нейтральной пыли. В определенных условиях при пороге фрагментации  $\sim 1$  м/с макроскопические частицы полностью разрушаются.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-72-10029, <https://rscf.ru/project/22-72-10029>.



**СА Балашев** (ФТИ им. Иоффе)

**Межзвёздная среда в галактиках на больших красных смещениях: определение физических условий**

В докладе представлены недавние результаты изучения и определения физических условий в межзвёздной среде галактик на больших красных смещениях, полученные нашей группой. В основном работа основана на спектроскопическом анализе абсорбционных систем квазаров с большими красными смещениями. Представлены методы и, полученные на их основе, оценки на физические условия в диффузном холодном газе с помощью анализа населённости вращательных уровней молекул  $H_2$ , и уровней тонкой структуры  $CI$  и  $CII$ , а также распространённости молекул ( $H_2$ ,  $HD$ ,  $OH$ ) и нейтрального углерода. Дополнительно, на примере данных наблюдений квазара PKS1830-211 телескопом MeerKAT, представлены оценки физических условий в плотном ионизованном газе галактики на луче зрения, которые могут быть получены с помощью идентификации линий рекомбинационного излучения атомарного водорода.

Работа поддержана грантом РФФ 22-22-00164.

**КВ Бычков** (МГУ)  
ЮА Купряков (МГУ)  
АБ Горшков (МГУ)  
ОМ Белова (МГУ)  
ВА Малютин (МГУ)

**Необходимость гипотезы ионизации и возбуждения нетепловыми электронами при объяснении излучения протуберанца 2013-10-22 в линиях бальмеровской серии**

Показано, что для объяснения потоков излучения в линиях бальмеровской серии спокойного протуберанца 2013-10-22 необходимо предположение об ионизации и возбуждении газа надтепловыми электронами. Роль нетепловых частиц могут играть "прострельные" электроны из короны. Проведены расчёты с учётом всех процессов, определяющих формирования излучения газа, непрозрачного в спектральных линиях. Вычислены параметры протуберанца и нетепловых частиц, которые обеспечивают теоретические потоки, согласующиеся с наблюдениями.

**ЮС Воротынцева** (ФТИ им. Иоффе)  
СА Левшаков (ФТИ им. Иоффе)

**Метанольные мазеры на частоте 25 ГГц и сверхтонкая структура линий молекулы метанола**

Результаты прецизионных лабораторных измерений профилей торсионно-вращательных переходов  $J_2 \rightarrow J_1 E$  ( $J = 2-6$ ) на частоте 25 ГГц в метаноле ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) сравниваются с квантомеханическими расчетами сверхтонкой структуры соответствующих переходов, а также с наблюдаемыми профилями космических метанольных мазеров класса I. Обсуждаются обнаруженные существенные различия между теоретическими, лабораторными и астрономическими спектрами сверхтонких переходов в метаноле.

**ГА Гончаров** (ГАО РАН)

АВ Мосенков (Brigham Young University, USA)

СС Савченко (СПбГУ)

ВБ Ильин (СПбГУ Аэрокомического приборостроения)

АА Марчук (СПбГУ)

АА Смирнов (СПбГУ)

ПА Усачёв (СПбГУ, САО РАН)

ДМ Поляков (СПбГУ)

### **Межзвёздное поглощение поперёк слоя пыли в нашей Галактике**

Мы проанализировали всевозможные оценки межзвёздного поглощения поперёк всего слоя пыли в нашей Галактике (полученные на основе калибровок характеристик переменных звёзд, оценок избытка цвета звёзд в крупнейших обзорах неба, сопоставления теоретических и наблюдаемых характеристик звёзд, шаровых скоплений и карликовых галактик, по подсчётам звёзд и галактик, с учётом параллаксов Gaia и т.д.). Это позволило выявить значительные систематические ошибки (до  $\sigma(A_v)=0.1$ ) в наиболее популярных двумерных картах покраснения и других источниках оценок покраснения/поглощения внегалактических объектов, а также - существенные вариации закона поглощения вдали от плоскости Галактики. С учётом этих ошибок и вариаций современные оценки поглощения поперёк всего полуслоя пыли в Галактике выше или ниже Солнца сходятся к значению  $A_v=0.12$ , определённому нами с точностью 0.02 при стандартном отклонении естественных флуктуаций галактической пылевой среды в высоких широтах 0.06 звёздной величины. Столь большое поглощение не противоречит прежним оценкам (например, наиболее популярной оценке Schlegel1998  $A_v=0.06\pm 0.09$ ), но заставляет объяснить большое количество пыли вдали от плоскости Галактики и пересмотреть оценки фонового поглощения для внегалактических объектов.

**ЕМ Домбек** (ИПФ РАН)  
ДА Сорокин(ИПФ РАН)  
ПМ Землянуха(ИПФ РАН)  
ЛЕ Пирогов(ИПФ РАН)

### **Использование метода интерполяции и модели LOC для оценки физических параметров протозвездных ядер**

Эффективным методом оценки кинематики и структуры плотных протозвездных ядер является сравнение наблюдаемых карт в молекулярных линиях с модельными расчетами с целью нахождения оптимальных значений параметров модели, используя методы машинного обучения и статистического анализа. В работе Пирогова и Землянухи (2021) был предложен алгоритм вписывания модельных спектральных карт в наблюдаемые, основанный на применении методов главных компонент к массиву результатов модельных расчетов. Однако оценки физических параметров объекта, основанные на анализе большой выборки модельных реализаций, требуют больших вычислительных мощностей, нередко выходящих за рамки доступных. В данном докладе представлен один из вариантов решения данной проблемы. Предложено дополнить модельные расчеты с помощью интерполяции спектральных карт. Показано, что такой подход позволяет ускорить генерацию выборок более чем в 1000 раз, а также использовать метод марковских цепей Монте-Карло для оценки доверительных диапазонов. Данный подход дает возможность использовать в дальнейшем более сложные физические модели. В докладе также приводятся результаты оценки физических параметров в ядре L1287 с использованием кода LOC (Juveta 2020), в котором перенос излучения рассчитывается методом трассировки лучей в трехмерном случае. Результаты, полученные с использованием LOC, хорошо воспроизводят результаты, полученные в рамках 1D моделирования. Использование LOC позволило уточнить оценки физических параметров L1287 и подтвердить вывод о том, что закон сжатия газа в ядре отличается от случая коллапса в режиме свободного падения.

**ММ Евсеев** (ФИАН)  
ОВ Кузнецов (ФИАН)

### **Синтез [6]-гелицена в газовой фазе**

В течение последних десятилетий гелицены привлекают значительное внимание учёных в силу их уникальных применений в оптике (хироптическая активность, нелинейная оптика и циркулярная поляризация) и хиральном зондировании (химические сенсоры), а также необычных свойств в органокатализе. Здесь мы раскрываем универсальный путь образования гелиценов с помощью направленной винилацетилен-опосредованной газофазной химии. Мы раскрываем механизм синтеза [6]-гелицена вместе с атомарным водородом в газовой фазе посредством бимолекулярной реакции [5]-гелиценильного радикала с винилацетиленом. Простой путь синтеза [6]-гелицена посредством реакции [5]-гелиценильного радикала с винилацетиленом представляет собой универсальный путь, который может быть распространён на высшие гелицены.

**ПМ Землянуха** (ИПФ РАН)  
ИИ Зинченко (ИПФ РАН)  
ЕМ Домбек (ИПФ РАН)  
ЛЕ Пирогов (ИПФ РАН)  
АП Топчиева (ИНАСАН)

### **Фрагментированная оболочка III зоны S187**

В докладе представлен анализ оболочки области S187 в линии H I, молекулярных линиях, а также в инфракрасном и радиоконтинууме. Представлено свидетельство фрагментации слоя H I в области фотодиссоциации. Наличие радиогалактики на фоне позволило оценить свойства холодного атомарного газа в слое. Масса атомарного слоя оценивается в  $\sim 260 M_{\odot}$ , медианная спиновая температура в  $\sim 50$  K. Диаметр оболочки составляет 4 пк с типичной шириной стенки около 0,2 пк. Атомная оболочка состоит из  $\sim 100$  фрагментов. Размеры фрагментов коррелируют с массой при показателе степенной зависимости в 2,39-2,50. Оболочка S187 имеет сложную кинематическую структуру, включающую расширяющийся квазисферический слой, молекулярную фракцию, атомный под-пузырь внутри атомарного слоя и два плотных ядра (S187 SE и S187 NE) на разных стадиях эволюции. В подпузырь вложен молодой звездный объект класса II, и OH, обнаружены и молодые звездные объекты в стенках пузыря. S187 SE и S187 NE имеют близкие массы ( $\sim 1200$  и  $\sim 900 M_{\odot}$  соответственно). S187 SE встроен в атомную оболочку и имеет ряд связанных объектов, в том числе массивные протозвезды, истечения, мазерные источники и другие индикаторы продолжающегося звездообразования. Никаких YSO внутри S187 NE обнаружено не было, но существуют признаки сжатия и нагрева областью H II.

Материал опубликован в Zemlyanukha et al, (2022, MNRAS, V. 515, I. 2, pp.2445-2463.)

**ИИ Зинченко (ИПФ РАН)**

**Наблюдательные исследования образования массивных звезд**

Обзор основных результатов исследований областей образования массивных звезд и механизмов формирования таких звезд. Обзор в значительной мере основан на работах с участием автора, но учитывает результаты и других исследований. Рассматриваются вопросы накопления массы, стимулированное звездообразование, роль волокон, строение и кинематика плотных ядер, диски и истечения, особенности химического состава и пр. Поддержано грантом РФФ 22-22-00809.



**МС Кирсанова (ИНАСАН)**

### **Ударная волн и связанные с ней протозвезды вблизи области HII RCW 120**

Сценарий образования звезд в молекулярных облаках под действием ударных волн (УВ) от сверхновых, звездного ветра и областей HII появился в середине XX века. Согласно этому сценарию, сжатие молекулярных облаков УВ приводит к уплотнению газа и фрагментации с последующим звездообразованием. Таким образом, многочисленные протозвезды, погруженные в родительский газ молекулярных облаков, наблюдаемые по границам областей HII, хочется отнести именно к поколениям звезд, чье рождение было стимулировано УВ. Наблюдения также показывают, что около 30% всех массивных протозвезд наблюдается в молекулярных оболочках по границам ионизированных областей. В контексте сложности теории образования массивных звезд интерес к физическим условиям в молекулярных оболочках областей HII остается высоким, ведь, возможно, в них реализуются наиболее благоприятные условия для образования массивных звезд. Вблизи области HII RCW 120 наблюдаются массивные протозвездные объекты, а почти круглая форма области HII на инфракрасных изображениях делает ее привлекательной для тестирования сценария стимулированного звездообразования и проверки теоретических моделей. В докладе обсуждаются наблюдения молекулярной оболочки RCW 120 в линиях CO(6-5) и 13CO(6-5) в субмиллиметровом (суб-мм) диапазоне на 12-м телескопе APEX. На основании теоретического моделирования мы показали, что при таких наблюдениях реализуется необходимое пространственное разрешение, которое позволяет отделить тонкий слой, сжатый УВ, от всего остального газа оболочки. Физические параметры этого слоя согласуются с результатами модели, что подтверждает наш вывод о сжатии слоя УВ. Сравнивая положения протозвезд и сжатого слоя, мы пришли к выводу, что их образование не связано с распространением УВ в молекулярной оболочке. Протозвезды образовались раньше и независимо от УВ. Мы также показали, что сжатый слой является наиболее регулярной структурой в пространстве скоростей, а истечения из протозвездных объектов, напротив, увеличивают дисперсию скоростей в молекулярной оболочке RCW 120. Критически важным в нашем исследовании оказалось то, что мы достигли необходимого пространственного разрешения на суб-мм телескопе сравнительно небольшого диаметра для сравнительно близкого объекта. Для того, чтобы сделать выводы о стимулированном звездообразовании в масштабах Галактики, необходим значительно больший суб-мм телескоп либо интерферометр.

**ВВ Королёв** (ВолГУ)  
ИГ Коваленко (ВолГУ)  
МА Ерёмин (ВолГУ)

### **Ударные волны и газопылевые структуры и в окрестности рукавов спиральных галактик**

Мы представляем результаты моделирования турбулентных течений межзвездной среды в галактических дисках в окрестностях спиральных рукавов. Рассмотрена двумерная модель вертикальной структуры галактического газопылевого диска. Исследовано формирование структур на фоне трансзвукового течения среды через спиральный рукав, на которое влияют два типа пространственно-распределенных источников турбулентности: протяженный, в диске и компактный, внутри спирального рукава. Учтены эффекты неадиабатичности в межзвездном газе, которые обеспечивают фазовые превращения и динамическое равновесие холодной и теплой фаз газа. Пылевая компонента рассматривается как пассивная полидисперсная примесь в газе, частицы которой обладают инерцией и не повторяют в точности движение несущей фазы. Полученные результаты показывают, что в турбулентном течении формируется галактическая ударная волна, которая имеет уплощенную (прижатую к плоскости симметрии) V- или Y-образную форму. В центре рукава располагается практически плоская часть фронта, а в вытекающем из рукава потоке расположена его V-образная часть. При этом наиболее плотные скопления пыли локализуются на входе в рукав в головной части ударной волны, что можно интерпретировать по аналогии с наблюдениями как темные пылевые полосы на передних краях рукавов.

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

### **Физические условия в Магеллановых Облаках**

Большое и Малое Магеллановы Облака (БМО и ММО) - одни из ближайших к Млечному Пути карликовых галактик. Их средняя металличность ниже, чем в нашей Галактике (0.5 и 0.2 для БМО и ММО, соответственно), и, благодаря близкому расстоянию, их можно изучать в направлении на различные лучи зрения. Мы использовали архивные данные космических телескопов FUSE и HST для изучения абсорбционных линий H2 и C I, а также некоторых линий металлов для оценки металличности в Магеллановых Облаках. Совместный анализ населенностей уровней тонкой структуры C I и вращательных уровней H2 позволяет оценивать объемную концентрацию ( $n$ ) и интенсивность ультрафиолетового фона ( $\chi$ ) в системе. Мы оценили  $n$  и  $\chi$  в 19 системах в ММО и в 28 системах в БМО. Мы получили средние значения  $n$  около 150 для БМО и  $70 \text{ см}^{-3}$  для ММО, что соответствует типичным значениям для холодной диффузной среды ( $10 - 10^3 \text{ см}^{-3}$ ). Интенсивность УФ фона в рассматриваемых системах оказалась систематически выше значений, измеренных в Млечном Пути (около 2 и 12 для ММО и БМО, соответственно).

Работа поддержана грантом РФФИ № 23-12-00166

**ОБ Кочина (ИНАСАН)**

**Субъядра DR21(OH): определение эволюционного статуса при помощи пакета PRESTALINE**

Субъядра хорошо изученной области образования массивных звезд DR21(OH), MM1a и MM1b, расположены в непосредственной близости друг от друга. Несмотря на принадлежность одному ядру, MM1, спектры субъядер весьма отличаются друг от друга. В частности, наблюдаются значительные различия в интенсивностях эмиссионных линий серосодержащих соединений. При помощи пакета моделирования синтетических спектров PRESTALINE, нами было проведено теоретическое исследование, позволившее проследить происхождение этих особенностей.

**ОВ Кузнецов (ФИАН)**  
ММ Евсеев (ФИАН)

**Поверхность потенциальной энергии химической реакции этилового радикала с монооксидом углерода**

В настоящей работе рассматривается поверхность потенциальной энергии системы  $C_2H_5 + CO$  и ее возможные продукты, получаемые отрывами водорода. Поверхность потенциальной энергии и геометрии молекул были получены на уровне теории CCSD(T)-F12/cc-pVTZ-f12//B3PLYP/6-311G\*\*, обеспечивающим точность по относительной энергии порядка 1 ккал/моль. Проведенные вычисления показывают, что наиболее вероятными продуктами, получаемыми отрывами водорода являются акролеин и метилкетен. Результаты работы можно использовать для моделирования химических реакций в холодных молекулярных облаках и предсказания относительных концентраций различных продуктов системы  $C_2H_5 + CO$ .

СН Лузгин (ИЗМИРАН)

**Резонансное световое давление галактического лайман-альфа фона как механизм диссипации турбулентных движений и нагрева межзвёздного газа в областях HI**

Показано, что учёт эффектов отдачи при рассеянии атомами водорода в областях межзвёздного газа HI фотонов галактического Лайман-альфа фона приводит к появлению силы вязкого трения атомов о фон. Эта сила приводит как к диссипации турбулентных движений в газе, так и к охлаждению газа; флуктуации же силы светового давления всегда нагревают газ. В результате световое давление Лайман- альфа фона нагревает газ, эффективно преобразовывая энергию его турбулентных движений в тепловую энергию его атомов. Рассматривается только межоблачный газ ( $nH = 0.2 \text{ см}^{-3}$ ,  $T = 8000 \text{ K}$ ), проблема нагрева газа в облаках сложнее и может быть предметом дальнейших исследований. Используя результаты последних измерений яркости галактического Лайман- альфа фона в окрестности Солнца  $4\pi J = 43 \text{ Рл}$  (зонд New Horizons), оценки ширины его спектра  $\Delta\lambda = 4 \text{ \AA}$  и полагая среднеквадратичную скорость турбулентных движений газа близкой к тепловой, рассчитана скорость нагрева межоблачного газа световым давлением в расчете на один атом водорода  $\Gamma_{H\text{Ly}\alpha}/nH = 0.5 \cdot 10^{-26} \text{ эрг/с}$ . Движение атомов в среде Лайман-альфа фона подобно движению броуновской частицы. Функция распределения атомов по скоростям удовлетворяет уравнению Фоккера-Планка. Механизм нагрева межоблачного газа световым давлением галактического Лайман-альфа фона может оказаться основным и полностью объяснить наблюдаемую температуру газа.

**АН Мелихов** (ФИАН)  
ЕВ Михеева (АКЦ ФИАН)

**Ограничение на количество первичных черных дыр из-за взаимодействия с пылью**

Фотоны, излученные первичными черными дырами (ПЧД) вследствие эффекта Хокинга, являются одним из факторов нагрева межзвездной пыли. На основе данных о температуре пыли найдены ограничения на долю ПЧД в темной материи для разных распределений ПЧД с массами  $10^{15} < M < 10^{17}$  г.

**АВ Моисеев (САО РАН)**

### **Радиоджеты и конуса ионизации сейфертовских галактик**

Принято считать, что у радиотихих активных галактических ядер, к которым относятся и галактики Сейферта, радиоджеты либо почти полностью отсутствуют, либо не очень велики по размерам (в пределах нескольких кпк). Но в последнее время обнаруживается все больше объектов, где одновременно наблюдаются указания на доминирование как излучающего (конуса ионизации), так кинетического (протяженные радиоджеты) режимов активности. В докладе обсуждаются конкретные примеры таких галактик, в том числе, основанные на наблюдениях на 2.5-м и 6-м российских телескопах.



**АВ Мосенков** (ВУУ, ГАО РАН)  
ПА Усачев (СПбГУ, САО РАН)  
ГА Гончаров (ГАО РАН)  
СС Савченко (ГАО РАН, СПбГУ, САО РАН)  
ВБ Ильин (СПбГУ, ГАО РАН)  
АА Марчук (ГАО РАН, СПбГУ)  
АА Смирнов (ГАО РАН, СПбГУ)  
ДМ Поляков (ГАО РАН)

### **Тонкий и толстый пылевые диски в видимых с ребра галактиках**

Для нашей Галактики и многих других близких спиральных галактик хорошо установлено, что звездный диск разделяется на две подсистемы, именуемые тонким и толстым дисками. Они имеют разные структурные и кинематические свойства с различающимися звездными населенностями, что проявляется в разной средней металличности и возрасте их звезд. При этом их радиальное и вертикальное распределения звездной плотности следуют экспоненциальному закону. Распределение пыли в дисках спиральных галактик также следует экспоненциальному закону в радиальном и вертикальном направлениях, но с некоторыми различиями по сравнению со звездной составляющей. В данной работе мы проводим структурный анализ холодного пылевого диска, используя данные КТ Гершель на 250 мкм, для четырех близких видимых с ребра спиральных галактик, NGC0891, NGC3628, NGC4437 и NGC4631. Мы показываем, что эти хорошо разрешенные галактики имеют тонкий и толстый пылевые диски, а также третью, еще более протяженную в вертикальном направлении пылевую компоненту.

**МС Мурга (ИНАСАН)**

**Эволюция ароматических углеводородов в межзвёздной среде**

Будут освещены основные эволюционные процессы, которые могут происходить в ароматическими углеводородами в межзвёздной среде: разрушение, гидрогенизация, искривление и изомеризация. Будет показано, как при этом меняются спектральные особенности в среднем инфракрасном диапазоне. Планируется осветить лабораторные исследования, проводимые по данному направлению, а также какое влияние на химическую эволюцию среды могут оказывать ароматические углеводороды.

АГ Пазухин (ИПФ РАН)  
ИИ Зинченко (ИПФ РАН)  
ЕА Трофимова (ИПФ РАН)  
К Хенкель (MPIfR, Германия)

### Доля дейтерия в молекулах $\text{DCO}^+$ , $\text{DCN}$ , $\text{DNC}$ , $\text{NH}_2\text{D}$ и $\text{N}_2\text{D}^+$ в областях образования массивных звезд

Мы используем карты и спектры в линиях  $J=1-0$  и  $J=2-1$   $\text{DCO}^+$ ,  $\text{DCN}$ ,  $\text{DNC}$ ,  $\text{N}_2\text{D}^+$  и  $1(11)-1(01)$   $\text{NH}_2\text{D}$ , а также переходы их гидрогенизированных аналогов. Данные получены при наблюдениях пяти областей образования массивных звезд на 30-м радиотелескопе IRAM и 100-м радиотелескопе в Эффельсберге. С помощью отношений интегральных интенсивностей линий  $J=1-0$   $\text{N}_2\text{H}^+$  и  $\text{NH}_3$  и их основных изотопологов получены оценки кинетической температуры. Применяя не-ЛТР модель переноса излучения с помощью RADEX, получены оценки плотностей газа и лучевых концентраций молекул. Отношения D/H составляют 0.001–0.05 для  $\text{DCO}^+$ , 0.001–0.02 для  $\text{DCN}$ , 0.001–0.05 для  $\text{DNC}$  и 0.02–0.4 для  $\text{NH}_2\text{D}$ . Отношения D/H уменьшаются с ростом температуры от 20 до 40 K и слабо меняются при плотностях  $n(\text{H}_2) \sim 10(4)–10(6) \text{ см}^{-3}$ . Для  $\text{N}_2\text{D}^+$  доля дейтерия составляет 0.1–0.008 при температурах 20–25 K и плотности  $\sim 10(5) \text{ см}^{-3}$ . Кроме того, по данным наблюдений пыли SCUBA на 850 мкм получены оценки лучевых концентраций молекулярного водорода  $\text{H}_2$ . Содержание дейтерированных молекул относительно  $\text{H}_2$  составляет  $\sim 10(-9)–10(-11)$  для  $\text{DCO}^+$  и  $\text{DNC}$ ,  $\sim 10(-10)–10(-11)$  для  $\text{N}_2\text{D}^+$  и  $\sim 10(-8)–10(-10)$  для  $\text{NH}_2\text{D}$ . Относительное содержание уменьшается с увеличением температуры. Однако отношение  $N(\text{DCN})/N(\text{H}_2)$  практически постоянно и составляет  $\sim 10(-10)$ . Наша работа является одной из первых, включающая карты источников для исследования фракционирования дейтерия в областях образования массивных звезд.

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

**СВ Салий (УрФУ)**

**Оценка физических параметров областей образования массивных звезд по радиолиниям метанола. Преимущества и сложности**

В работе обсуждаются особенности использования радиолиний метанола для оценки физических параметров областей образования массивных звезд. Рассмотрена зависимость значений параметров от выборки линий метанола. Показана значимость определения доверительных интервалов физических параметров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2023-0019.

**АМ Скляревский (ЮФУ)**  
ЭИ Воробьёв (ЮФУ)

### **Формирование планетезималей в гравитационно-неустойчивых протопланетных дисках**

Мёртвые зоны во внутренних областях протопланетных дисков играют важную роль в моделях формирования планет. Они представляют собой естественные пылевые ловушки, в которых накапливающаяся пыль эффективно растёт, минуя различные барьеры, а физические условия в этих ловушках способствуют образованию планетезималей. При этом для появления мёртвых зон требуется, чтобы темп переноса массы по диску спадал с расстоянием. Такая картина естественным образом реализуется в модели слоистого диска, в которой турбулентность вызванная магниторотационной неустойчивостью (МРН) развита во внешнем диске, но подавлена во внутреннем, вследствие недостаточной степени ионизации среды. Однако численные исследования показывают, что МРН может быть подавлена и во внешнем диске, вследствие, например, эффектов неидеальной магнитогидродинамики. В таком случае, темп переноса массы будет низким по всей протяжённости диска, а формирование мёртвой зоны будет, соответственно, затруднено. Тем не менее, переменная эффективность МРН в различных частях диска не является единственным возможным механизмом формирования мёртвых зон. В докладе будет показано, что учёт самогравитации в долговременной эволюции протопланетных дисков с подавленной МРН может также привести к появлению мёртвых зон за счёт разной степени развития гравитационной неустойчивости по радиусу. В сформированных таким образом мёртвых зонах эффективно скапливается пыль, а условия способствуют её росту и развитию потоковой неустойчивости. В совокупности, эти обстоятельства могут приводить к формированию первого поколения планетезималей уже в первые десятки тысяч лет после формирования диска.

ДД Соколов (МГУ)  
ЕВ Юшков (МГУ)  
ПГ Фрик (ИМСС)  
И Абушзаде (Университет Баку)

### **Мелкомасштабное динамо в контексте сопоставления модели Казанцева и каскадной модели**

Кажется вероятным, что при формировании первых галактик возникает этап в их развитии, когда галактика еще небольшая, так что в ней еще не может работать динамо среднего поля, но в ней уже развиты случайные течения, так что возможна работа мелкомасштабного динамо. Это динамо генерирует мелкомасштабные магнитные поля. Для их количественного описания используют т.н. модель Казанцева. Однако у этой модели есть недостатки, которые затрудняют ее непосредственное использование для конкретных небесных тел. Мы предлагаем способ устранения этих недостатков, основанный на сравнении с другим типом моделей мелкомасштабного динамо -- каскадными моделями.

**ДА Сорокин** (ИПФ РАН)  
ЕМ Домбек (ИПФ РАН)  
ПМ Землянуха (ИПФ РАН)  
ЛЕ Пирогов (ИПФ РАН)

### **Использование метода интерполяции и модели LOC для оценки физических параметров протозвездных ядер**

Эффективным методом оценки кинематики и структуры плотных протозвездных ядер является сравнение наблюдаемых карт в молекулярных линиях с модельными расчетами с целью нахождения оптимальных значений параметров модели, используя методы машинного обучения и статистического анализа. В работе Пирогова и Землянухи (2021) был предложен алгоритм вписывания модельных спектральных карт в наблюдаемые, основанный на применении методов главных компонент к массиву результатов модельных расчетов. Однако оценки физических параметров объекта, основанные на анализе большой выборки модельных реализаций, требуют больших вычислительных мощностей, нередко выходящих за рамки доступных. В данном докладе представлен один из вариантов решения данной проблемы. Предложено дополнить модельные расчеты с помощью интерполяции спектральных карт. Показано, что такой подход позволяет ускорить генерацию выборок более чем в 1000 раз, а также использовать метод марковских цепей Монте-Карло для оценки доверительных диапазонов. Данный подход дает возможность использовать в дальнейшем более сложные физические модели. В докладе также приводятся результаты оценки физических параметров в ядре L1287 с использованием кода LOC (Juveta 2020), в котором перенос излучения рассчитывается методом трассировки лучей в трехмерном случае. Результаты, полученные с использованием LOC, хорошо воспроизводят результаты, полученные в рамках 1D моделирования. Использование LOC позволило уточнить оценки физических параметров L1287 и подтвердить вывод о том, что закон сжатия газа в ядре отличается от случая коллапса в режиме свободного падения.

**АВ Столяров (МГУ)**

**Взгляд химика на современные проблемы молекулярной астрофизики**

Обсуждаются особенности постановки и решения задач современной молекулярной астрофизики по сравнению с их «земными» аналогами, которые вызваны протеканием большинства астрохимических реакций в экстремальных физических условиях открытого космоса. Особое внимание уделено аналитическим возможностям спектроскопического анализа, а также существующим ограничениям экспериментально-теоретического моделирования в лабораторных условиях реально протекающих астрохимических процессов.



ДГ Туричина (ГАО РАН)  
ВБ Ильин (СПбГУ)  
ВГ Фарафонов (СПбГУ)

### **Моделирование оптических характеристик слоистых сфероидальных пылевых частиц**

Аппроксимация космических пылинок сфероидами широко используется при моделировании их оптических свойств. Сфероидальная модель сочетает в себе относительную простоту, позволяющую в некоторых случаях найти аналитическое решение задачи рассеяния, с достаточной гибкостью в описании оптических эффектов, в том числе поляризации. В рамках моделирования переноса поляризованного излучения через межзвездную среду, в докладе представлена программа расчета оптических свойств слоистых сфероидальных пылинок с концентрическими соосными слоями, основанная на точном решении задачи рассеяния методом расширенных граничных условий в сфероидальном базисе и ориентированная на пакет SKIRT.

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

### **Магнитные поля протопланетных дисков**

Доклад посвящен обзору современного состояния исследований аккреционных и протопланетных дисков молодых звезд с крупномасштабным магнитным полем. Систематизируются и анализируются имеющиеся наблюдательные данные о магнитных полях 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 протопланетных дисков с магнитным полем. Анализируется эффективность механизмов перераспределения углового момента в дисках посредством турбулентности, натяжений крупномасштабного магнитного поля и истечений. Рассматривается влияние омической и магнитной амбиполярной диффузии, магнитной плавучести и эффекта Холла на эволюцию магнитного потока дисков. С помощью авторской МГД-модели аккреционных дисков демонстрируется, что магнитное поле может влиять на структуру протопланетных дисков. Показывается, что имеющиеся наблюдательные данные о магнитных полях протопланетных дисков естественным образом объясняются в рамках теории остаточного магнитного поля. В заключении резюмируются проблемы современной теории аккреционных и протопланетных дисков с магнитным полем, а также отмечаются перспективы дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ (проект ФПНИ-23/7). Автор также выражает благодарность финансированию в рамках гос. задания по проекту FEUZ-2020-0038.

**ЮА Щекинов** (Raman Research Institute)

### **Центральная область Галактики нашими глазами**

Обширная область неба в направлении на центр Галактики привлекает внимание уже более 70 лет, начиная с обнаружения гигантских структур Loop I и II в синхротроне и North Polar spur в рентгене. Дискуссии об источнике энергии для них -- вспышка сверхновой вблизи Солнца или ветер из центра Галактики, продолжаются по сей день. Однако, обнаружение крупномасштабных пузырей Ферми (2012 г) в гамма диапазоне, кажется, склонило общественное мнение в пользу второй гипотезы -- мощного ветра из центра Галактики. Впрочем, не всех...

Yu Hongzhi (УрФУ)

### Galactic interstellar sulfur isotopes: a radial $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ gradient

We present observations of  $J=2 \rightarrow 1$  line of CS molecule and some of its rare isotopologues toward a large sample of massive star-forming regions by using the Arizona Radio Observatory 12-m telescope. Lines of four isotopologues were detected in 61 sources out of 95 targets. From these 61 sources, 6 sources were also observed by the IRAM 30-m. Our analysis shows a significant  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  gradient with the distance from the Galactic center up to galactocentric distance 12 kpc. A least-squares fit to our data yields  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} = (1.56 \pm 0.17) D_{\text{GC}} + (6.75 \pm 1.22)$  with a correlation coefficient 0.77, which is consistent with an inside-out formation scenario for our Galaxy. In the follow-up study, Yan et al. 2022 yield  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} = (0.75 \pm 0.13) D_{\text{GC}} + (15.52 \pm 0.78)$  implementing their double isotope method for the  $J=2 \rightarrow 1$  transition to a larger dataset of 90 sources which contains more targets in the Galactic center. 19 sources among these targets allowed direct determination of the isotope ratio from  $^{13}\text{C}^{34}\text{S}/^{13}\text{C}^{32}\text{S}$  line ratio yielding  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} = (0.73 \pm 0.36) D_{\text{GC}} + (16.50 \pm 2.07)$ . 19 sources of the sample allowed direct determination of the isotope ratio from  $^{13}\text{C}^{34}\text{S}/^{13}\text{C}^{32}\text{S}$  line brightness ratio yielding value of the gradient  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} = (0.73 \pm 0.36) D_{\text{GC}} + (16.50 \pm 2.07)$ .

# ФИЗИКА МЕЖЗВЁЗДНОЙ СРЕДЫ: ОТ ЛОКАЛЬНОГО ОБЛАКА ДО РАННИХ ГАЛАКТИК

ПАМЯТИ Н.Г. БОЧКАРЁВА

Государственный Астрономический Институт имени П.К. Штернберга МГУ  
25–26 мая 2023

Конференция посвящена памяти Николая Геннадьевича Бочкарева - д.ф.-м.н, профессора ГАИШ МГУ. Николай Геннадьевич был одним из создателей рабочей группы по физике МЗС и более 30 лет был ее бессменным руководителем. Круг его интересов был всегда очень широк, и каждый новый результат в физике межзвездной среды и в астрофизике в целом принимался им с большим энтузиазмом. Ему принадлежат результаты фундаментальной значимости в разных областях астрофизики, начиная от термодинамики МЗС, происхождения и свойств локальной межзвездной среды, гало Галактики, физики АГЯ и до работ по астробиологии в последнее время. Спектр задач планируемой конференции вполне соответствует духу исследований, приверженцем которого был Н.Г. Бочкарев.



## Приглашённые докладчики:

Акимкин В. В.	Моисеев А.В.
Балашев С. А.	Мурга М. С.
Быков А. М.	Салий С. В.
Бычков К. В.	Самусь Н. Н.
Васильев Е. О.	Соколов Д. Д.
Засов А. В.	Столяров А. В.
Зинченко И. И.	Хайбрахманов С. А.
Кирсанова М. С.	Шахворостова Н. Н.
Ладейщиков Д. А.	

## Регистрация:

Участие в конференции предполагается гибридным: очное и дистанционное, однако при составлении научной программы предпочтение будет отдаваться очным докладам.

Регистрация участников с докладами заканчивается 17 мая.

Оргвзнос для всех участников будет составлять 500 р. К сожалению, оргкомитет не может оказать финансовую поддержку участникам. Для участия заполните форму на сайте конференции:

[ism.rsu.ru/bochkarev.php](http://ism.rsu.ru/bochkarev.php)

