

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

**Всероссийская конференция  
Звездообразование  
И  
планетообразование  
Москва, АКЦ ФИАН  
11 – 13 ноября 2024**

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

**Москва 2024**

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

### **11 ноября, понедельник**

09.50-13.10 (ЕО Васильев / АС Гусев)

09.50 открытие

10.00 **АС Гусев**, Звездное население в областях звездообразования галактик: особенности методики определения и анализ его параметров

10.20 **АА Марчук**, Звездообразование в спиральных галактик и между ними

10.40 **ИС Прошина**, *Исследование звездообразования в S0-галактиках изолированных пар*

11.00 кофе, чай

11.30 **АВ Засов**, Звездообразование в галактических дисках низкой яркости

12.10 **СА Балашев**, Линии поглощения молекулы CO и прямое измерение CO/H<sub>2</sub> в Магеллановых облаках

12.30 **ИС Хрыкин**, *Космические барионы, подсвеченные быстрыми радиовсплесками*

13.00-14.30 обед

14.30-18.00 (СА Балашев / СА Дроздов)

14.30 **ДД Соколов**, Новые результаты по теории фарадеевского вращения в джетах

14.50 **ТТ Хасаева**, Собственные функции в задаче о возбуждении магнитного поля во внешних областях галактики за счет магниторотационной неустойчивости

15.10 **ИГ Коваленко**, *Русловая структура дымоходов между диском и гало, обусловленная эволюцией сверхоболочек*

15.30 **АИ Перятинская**, Численная модель механизма смены транспорта галактических космических лучей

15.50 **АП Топчиева**, Моделирование влияния пылевых непрозрачностей на эволюцию протопланетного диска

16.10 кофе, чай

16.40 **СА Хайбрахманов**, Двумерное моделирование химической эволюции протозвездных облаков с магнитным полем

17.00 **ОВ Кочина**, *Химия коллапсирующих протозвездных ядер различных масс*

17.20 **ИМ Султанов**, Численное моделирование гравитационной фрагментации молекулярных волокон с магнитным полем

17.40 **ОП Воробьев**, Влияние неоднородностей элементного состава на химическую эволюцию молекулярного газа за фронтами ударных волн

18.00 **ВВ Клименко**, *Анализ физических условий в холодной фазе МЗС с помощью УФ спектроскопии молекул CO*

**18:20 обсуждение**

---

<sup>1</sup> желтым цветом выделены приглашенные доклады, курсивом — онлайн

**12 ноября, вторник**

09.30-13.00 (МС Кирсанова / ИИ Зинченко)

09.30 **АИ Васюнин**, О расчете скоростей протекания недиффузионных химических процессов на межзвездных пылевых частицах

09.50 **МГ Медведев**, Проведение астрохимических экспериментов на установке ISEAge

10.10 **МЭ Ожиганов**, Влияние молекулярного азота на инфракрасные спектры поглощения полярных межзвездных льдов

10.30 **ДЗ Вибе**, Исследование путей синтеза ароматических соединений в молекулярных облаках

10.50 **кофе, чай**

11.20 **ЕВ Борщева**, Применение недиффузионного астрохимического кода для моделирования содержаний сложных органических соединений в дозвездном ядре L1544

11.40 **ВМ Картеева**, Инфракрасные спектры закиси азота в различном молекулярном окружении

12.00 **РС Накибов**, Газообразный и твердый метан в направлении IRAS 23385+6053

12.20 **ЛЕ Пирогов**, Кинематика газа в областях образования массивных звезд

13.00-14.30 **обед**

14.30-18.00 (ЛЕ Пирогов / ДЗ Вибе)

14.30 **ИИ Зинченко**, Аккреционные вспышки в S255IR NIRS3 и других массивных МЗО

15.10 **ПМ Землянуха**, Атомарный газ в комплексе S255-S258

15.30 **ЕА Михеева**, Сложные органические молекулы в области S255IR: карты и спектры ИК источников в диапазоне 210-150 ГГц

15.50 **ПА Танатова**, Исследование молекулярного состава области образования массивных звезд S255IR

16.10 **кофе, чай**

16.30 **МС Мурга**, Влияние учета распределения пыли по размеру и температуре на результаты астрохимического моделирования

17.00 **МС Кирсанова**, Газофазная и поверхностная химия в области образования массивных звезд RCW120

17.20 **АА Фарафонтова**, Разработка программы для автоматического отождествления линий в спектрах областей образования звезд

17.40 **КВ Плакитина**, Применение методов машинного обучения для поиска областей звездообразования

18.00 **ГС Федосеев**, Эволюция углеродных цепей в Космосе. От наблюдения полиинов в молекулярных облаках до обнаружения алканов в кометарных льдах

**18:20 обсуждение**

## **ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И ПЛАНЕТООБРАЗОВАНИЕ**

---

**13 ноября, среда**

10.00-13.10 (НН Шахворостова / СА Хайбрахманов)

- 10.00 **ЕО Васильев**, Разрушение межзвездной пыли сверхновыми в скоплениях  
10.20 **ЕА Годенко**, Моделирование распределения межзвездной пыли в контексте миссии космического аппарата Улисс  
10.40 **СЮ Дедиков**, Перенос газа и пыли при взаимодействии облака с ударной волной

11.00 **кофе, чай**

- 11.30 **ЭИ Воробьев**, Формирование планет в ранней Вселенной  
11.50 **КН Гранкин**, *CI Tau*: магнитное поле, аккреция и поиск планет  
12.10 **ЕР Редкин**, Влияние магнитного дискового ветра на эволюцию протопланетного диска  
12.30 **АМ Складяревский**, Вспышки светимости во взаимодействующих протопланетных системах  
12.50 **ДА Шапиро**, Построение синтетических спектров межзвездных молекул

13.10-14.30 **обед**

14.30-18.00 (АИ Васюнин / НН Шахворостова)

- 14.30 **АВ Лапинов**, Анализ сверхтонкой структуры мазерного перехода  $J_{\{Ka, Kc\}=6_{\{1,6\}} - 5_{\{2,3\}}$  молекулы  $H_2O$   
14.50 **ЕЕ Лехт**, Мазерное излучение OH в области звездообразования G109.871+2.114 (Сер А)  
15.10 **ЕЕ Лехт**, Долговременная переменность мазерного излучения  $H_2O$  в источнике звездообразования S128  
15.30 **СА Хайбрахманов**, О возможной связи вспышек мазерного излучения с магнитным пересоединением

15.50 **кофе, чай**

- 16.20 **ТВ Демидова**, Структура протопланетного диска CQ Tau в присутствии компаньона на вытянутой орбите  
16.40 **СА Хайбрахманов**, Ионизационное состояние и «мертвые» зоны аккреционных дисков молодых звезд  
17.00 **ВА Кирюхина**, Об измерениях скорости движения газа за фронтом ударной волны у звезд типа Т Тельца по оптическим линиям гелия  
17.20 **АВ Лапинов**, Исследование характеристик РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН и поглощения атмосферы на длине волны 1.35 см

**17:40 обсуждение, закрытие**

**Список участников**

Фамилия	Имя	Отчество
1. Авдеев	Вячеслав	Юрьевич
2. Акимкин	Виталий	Викторович
3. Ачарова	Ирина	Александровна
4. Ашимбаева	Нурия	Туткабаевна
5. Бакланов	Пётр	Валерьевич
6. Балашев	Сергей	Александрович
7. Борщева	Екатерина	Владимировна
8. Васильев	Евгений	Олегович
9. Васюнин	Антон	Иванович
10. Вибе	Дмитрий	Зигфридович
11. Вольф	Александр	Владимирович
12. Воробьев	Олег	Павлович
13. Воробьев	Эдуард	Игоревич
14. Галимова	Эльвина	Камилевна
15. Годенко	Егор	Алексеевич
16. Гранкин	Константин	Николаевич
17. Гусев	Александр	Сергеевич
18. Дедиков	Святослав	Юрьевич
19. Демидова	Татьяна	Валерьевна
20. Дроздов	Сергей	Александрович
21. Засов	Анатолий	Владимирович
22. Землянуха	Петр	Михайлович
23. Зинченко	Игорь	Иванович
24. Ильин	Владимир	Борисович
25. Калдыбекова	Амина	Балгалиевна
26. Каленский	Сергей	Владимирович
27. Калинина	Наталия	Дмитриевна
28. Картеева	Варвара	Михайловна
29. Кирсанова	Мария	Сергеевна
30. Кирюхина	Валерия	Алексеевна
31. Кискин	Михаил	Юрьевич
32. Клименко	Вячеслав	Витальевич
33. Коваленко	Илья	Геннадьевич
34. Королёв	Виталий	Владимирович
35. Костюк	Валерия	Сергеевна
36. Кочина	Ольга	Валерьевна
37. Ламзин	Сергей	Анатольевич
38. Лапинов	Александр	Владимирович
39. Лехт	Евгений	Евгеньевич
40. Лойко	Анна	Андреевна
41. Лукаш	Владимир	Николаевич
42. Марчук	Александр	Александрович
43. Медведев	Михаил	Геннадьевич
44. Мелихов	Александр	Николаевич
45. Михайлов	Евгений	Александрович

---

**ЗВЕЗДОБРАЗОВАНИЕ И ПЛАНЕТОБРАЗОВАНИЕ**

---

46. Михеева	Екатерина	Андреевна
47. Михеева	Елена	Владимировна
48. Моисеев	Алексей	Валерьевич
49. Морозова	Татьяна	Игоревна
50. Мурга	Мария	Сергеевна
51. Накибов	Руслан	Субхиддинович
52. Ожиганов	Максим	Эдуардович
53. Павлова	Полина	Игоревна
54. Пазухин	Андрей	Геннадьевич
55. Перятинская	Александра	Игоревна
56. Пилипенко	Сергей	Владимирович
57. Пирогов	Лев	Евгеньевич
58. Плакитина	Каролина	Владимировна
59. Прошина	Ирина	Сергеевна
60. Редкин	Евгений	Романович
61. Русских	Ольга	Владимировна
62. Светличный	Егор	Димитриевич
63. Скляревский	Александр	Михайлович
64. Смирнова	Ксения	Ильдаровна
65. Соколов	Дмитрий	Дмитриевич
66. Соколова	Валерия	Алексеевна
67. Султанов	Ильяс	Марсович
68. Танатова	Полина	Александровна
69. Тарасенков	Александр	Николаевич
70. Топчиева	Анастасия	Павловна
71. Тутуков	Александр	Васильевич
72. Фарафонтова	Анастасия	Александровна
73. Федотов	Михаил	Игоревич
74. Хайбрахманов	Сергей	Александрович
75. Хасаева	Татьяна	Тимуровна
76. Хрыкин	Илья	Сергеевич
77. Шапиро	Дарья	Александровна
78. Шахворостова	Надежда	Николаевна
79. Ширяев	Андрей	Альбертович
80. Шустов	Борис	Михайлович
81. Щекинов	Юрий	Андреевич

# **Тезисы докладов**

**СА Балашев (ФТИ)**

ДН Косенко

П Нотердам

### **Линии поглощения молекулы CO и прямое измерение CO/H<sub>2</sub> в Магеллановых облаках**

Молекула CO является ключевой молекулой для изучения молекулярного газа в межзвёздной среде несмотря на то, что её содержание на несколько порядков меньше, чем содержание молекулярного водорода (H<sub>2</sub>). Считается, что относительное содержание этих молекул зависит как от физических (например, плотности), так и от химических (например, обогащения металлами) свойств газа, что делает прямые совместные измерения CO и H<sub>2</sub> в разных условиях чрезвычайно важными. Мы выполнили систематический поиск абсорбционных линий молекулы CO в направлении 34 звезд в Магеллановых Облаках, используя спектры, полученные с космического телескопа им. Хаббла. Мы впервые идентифицировали абсорбционные линии CO в направлении на две звезды в Большом Магеллановом Облаке (БМО) и одну в Малом Магеллановом Облаке (ММО), а также показали, что предыдущие измерения были неверные. Также мы поставили строгие верхние пределы для оставшихся 31 направления. Моделирование распространённости CO/H<sub>2</sub> в моделях с пониженной металличностью указывает на то, что верхние пределы согласуются с моделями характерного теплового давления  $P_{th} = 10^4 - 10^5 \text{ K cm}^{-3}$ , в то время как идентификации в трёх направлениях требуют более высокие давления  $P_{th} > 10^5 \text{ K cm}^{-3}$ . Примечательно, что для системы в направлении SK 143 в ММО, высокая плотность, полученная из вращательного возбуждения CO, предполагает полную молекуляризацию CO в поглощающем облаке. Это даёт прямое измерение  $\text{CO/H}_2 = 6.6^{+1.6}_{-1.3} \times 10^{-5}$  в газе с металличностью ниже Солнечной.

Работа выполнена при поддержке РФФ 23-12-0166.

**ЕВ Борщева (ИНАСАН)**

АИ Васюнин

**Применение недиффузионного астрохимического кода для моделирования содержаний сложных органических соединений в дозвёздном ядре L1544**

Представлены результаты моделирования содержаний сложных органических молекул в дозвёздном ядре L1544 — как в газовой фазе, так и в ледяных мантиях космических пылинок — с помощью обновлённого астрохимического кода MONACO, включающего в себя недиффузионные процессы. Результаты моделирования находятся в согласии с наблюдаемыми обилиями кислородсодержащих органических соединений ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ,  $\text{HCOOCH}_3$ ,  $\text{NH}_2\text{CHO}$ ) в газовой фазе, а также с наблюдаемым содержанием метанола в твёрдой фазе. Реакции между адсорбированными радикалами — например, такими, как  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{O}$  и  $\text{HCO}$  — эффективно идут в недиффузионном режиме. Сложные органические молекулы преимущественно образуются на поверхности пыли и доставляются в газ посредством реактивной десорбции.

**ЕО Васильев (АКЦ)**

**Разрушение межзвездной пыли сверхновыми в скоплениях**

Оценки темпа разрушения пыли в межзвездной среде Галактики оказываются на порядок и больше выше производства пыли. Разрушение в межзвездной среде происходит, в основном, за фронтами сильных ударных волн от сверхновых. По результатам численных моделей эволюции остатка изолированной сверхновой и сверхоболочек, образованных множественными вспышками сверхновых в звездных скоплениях, получены значения массы разрушенной межзвездной пыли в зависимости от скорости звездообразования, то есть от массы скопления. Найдено, что темп разрушения межзвездной пыли сверхоболочками, образованными множественными вспышками сверхновых в звездных скоплениях средней и высокой массы, заметно меньше (~10 раз), чем за фронтами ударных волн от ансамбля изолированных сверхновых. Обсуждаются эффективность образования молекулярного газа за фронтом ударной волны и эмиссионные свойства газа и пыли для течений, образованных множественными вспышками сверхновых.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект 23-22-00266).

**АИ Васюнин (УрФУ)**

АБ Островский

ЕВ Борщева

АВ Квашнина

**О расчете скоростей протекания недиффузионных химических процессов на межзвездных пылевых частицах**

В докладе будет представлен усовершенствованный по сравнению с опубликованными метод расчета скоростей химических реакций на поверхности межзвездных пылевых частиц, протекающих недиффузионно. Будет показано, что аккуратный расчет вероятности нахождения пары реагирующих атомов или молекул на расстоянии не больше заданного может существенно влиять на вычисляемое значение скорости поверхностной химической реакции, протекающей недиффузионно. В свою очередь, это приводит к изменению модельных значений содержаний сложных органических молекул в межзвездных льдах.

**ДЗ Вибе (ИНАСАН)**

АА Лойко

МС Мурга

**Исследование путей синтеза ароматических соединений в молекулярных облаках**

Хотя признаки наличия ароматических соединений в составе межзвёздного вещества были обнаружены ещё в 1973 году, идентификация конкретных молекул стала возможна лишь в последние годы. Сообщалось об обнаружении в молекулярных облаках бензонитрила, цианоацетилена, фенола, фенилацетилена, цианопирена. В работе мы исследуем возможные пути синтеза этих соединений в молекулярных облаках. Сделан вывод о том, что известные газофазные пути синтеза ароматических молекул не могут обеспечить их наблюдаемое содержание.

**ОП Воробьев (АКЦ)**

ЕО Васильев

**Влияние неоднородностей элементного состава на химическую эволюцию молекулярного газа за фронтами ударных волн**

Низкая эффективность перемешивания межзвездного газа приводит к тому, что в среде долгое время сохраняются неоднородности в распределении тяжелых элементов. Даже в среде, возбуждаемой частыми вспышками сверхновых, время перемешивания химических неоднородностей составляет порядка 100 млн лет. В работе изучено влияние вариаций элементного состава на химическую эволюцию молекулярного газа, остывающего за фронтами ударных волн от сверхновых. Было выполнено численное моделирование неравновесной химической кинетики для лагранжева элемента газа под действием ударных волн со скоростями 5—15 км/с для вариации распространенности углерода и кислорода в пределах  $\pm 0.3$  dex от солнечных значений. Обнаружены значительные отклонения концентраций некоторых молекул, непропорциональные вариациям распространенности соответствующих элементов. Исследована зависимость от параметров среды и внешних условий, в частности от плотности газа, потока УФ-излучения и других. Например, при уменьшении распространенности кислорода в 2 раза концентрация молекул воды может падать на более чем на порядок. Обсуждаются возможные наблюдательные проявления.

**ЭИ Воробьев (ЮФУ)**

**Формирование планет в ранней Вселенной**

Исследование первичных планет земного типа (ППЗТ) имеет фундаментальное значение для построения хронологии возникновения жизни во Вселенной. До недавнего времени считалось, что пик формирования ППЗТ приходится на космологическое время, соответствующее приблизительно половине возраста Вселенной, когда средняя металличность достигает критической отметки для формирования планетезималей в протопланетных дисках. Однако недавнее моделирование вспышек сверхновых показало, что критическое обогащение тяжелыми элементами и формирование необходимой массы пыли в окрестности сверхновых может достигаться уже в ранней Вселенной с возрастом  $\sim 100$  млн лет. В моем докладе я представлю результаты численного гидродинамического моделирования формирования протозвезд и протопланетных дисков в обогащенных пылью остатках вспышек первичных сверхновых. С использованием моделей формирования планетезималей в результате потоковой неустойчивости, будет показано, что газопылевые диски вокруг таких объектов могут содержать несколько масс Земли в виде планетезималей. Область формирования планетезималей может находиться в пределах зоны обитаемости планет, что делает возможным зарождение жизни уже на самых ранних этапах эволюции Вселенной при условии достаточного содержания  $H_2O$  в остатках вспышек.

**ЕА Годенко (ИКИ РАН)**

**ВВ Измоденов**

### **Моделирование распределения межзвездной пыли в контексте миссии космического аппарата Улисс**

Частицы межзвездной пыли могут проникать в гелиосферу из-за относительного движения Солнца в Локальной межзвездной среде (ЛМС). Впервые в окрестности Солнца межзвездная пыль была обнаружена космическим аппаратом (КА) Улисс [1]. Траектория КА Улисс была примечательна тем, что она практически перпендикулярна плоскости солнечной эклиптики, что существенно упростило процесс определения межзвездного происхождения пойманных пылевых частиц. В результате, по разным критериям, на КА Улисс было всего зарегистрировано около 600 межзвездных пылевых частиц, по которым в работе [2] были определены потоки межзвездной пыли вдоль траектории аппарата. Данные потоки были проанализированы с помощью численного моделирования [3], однако некоторые вопросы остались открытыми после проведенного анализа. В частности, разные части данных удавалось объяснить только с помощью частиц разных размеров, что выглядит не совсем физично. Авторы соответствующей работы связывали данное несоответствие с тем фактом, что в их модели не учитывались эффекты границы гелиосферы на траектории и распределение пыли. В данной работе для моделирования мы будем использовать разработанную нами ранее кинетическую модель распределения пыли [4], которая позволяет вычислять распределение пыли в гелиосфере и ее окрестностях. В этой модели впервые одновременно учитываются эффекты гелиосферного ударного слоя и нестационарность гелиосферного магнитного поля. Путем сравнения результатов моделирования с имеющимися экспериментальными данными КА Улисс получены оценки на концентрацию пыли в ЛМС. Также с использованием различных моделей глобальной структуры гелиосферы выбрано наилучшее с точки зрения совпадения с экспериментальными данными значение угла между межзвездным магнитным полем и скоростью плазмы.

[1] Grun E., Zook H.A., Baguhl M. et al., "Discovery of Jovian dust stream and interstellar grains by the Ulysses spacecraft", *Nature*, vol. 362, pp. 428-430 (1993).

[2] Strub P., Kruger H., Sterken V., "Sixteen years of Ulysses interstellar dust measurements in the Solar system. II. Fluctuations in the dust flow from the data.", *The Astrophysical Journal*, vol. 812, article id. 140 (2015).

[3] Sterken V., Strub P., Kruger H., "Sixteen years of Ulysses interstellar dust measurements in the Solar system. III. Simulations and data unveil new insights into local interstellar dust.", *The Astrophysical Journal*, vol. 812, article id. 141 (2015).

[4] Godenko E.A., Izmodenov V.V., "The unexpected role of heliospheric boundaries in facilitating interstellar dust penetration at 1-5 AU", *Astronomy and Astrophysics*, vol. 687, L4, (2024).

**КН Гранкин (КрАО РАН)**  
научная команда SPIRou

### **CI Tau: магнитное поле, аккреция и поиск планет**

Сообщается о новых наблюдениях классической звезды Т Тельца CI Tau с помощью спектрополяриметра ближнего ик-диапазона SPIRou, выполненных на 3.6-м Канадо-Франко-Гавайском телескопе (CFHT) в 2019-2022 гг. Анализ спектров методом "деконволюции наименьших квадратов" показал, что продольные магнитные поля явно модулируются с 9-дневным периодом вращения CI Tau. Используя Зееман-Допплеровское картирование удалось реконструировать крупномасштабную магнитную топологию. Показано, что магнитное поле в основном осесимметричное и полоидальное с дипольным компонентом  $\sim 1$  кГс, и что темные пятна вблизи полюса совпадают с основаниями аккреционных колонок, связывающих звезду с внутренним диском. Результаты расчетов говорят о том, что вещество диска поступает на звезду в стабильном режиме. Подтверждается наличие сигнала RV с периодом 23.86 дня, который четко обнаруживается только в линиях CO, но не в атомных линиях. Последний факт позволяет предположить, что этот периодический сигнал RV, вероятно, прослеживает неосесимметричную структуру во внутреннем диске CI Tau, а не массивную близкую планету.

**АС Гусев (ГАИШ МГУ)**

**Звездное население в областях звездообразования галактик:  
особенности методики определения и анализ его параметров**

Представлены результаты исследования физических и химических параметров молодых звездных группировок (скоплений, ОВ-ассоциаций и их комплексов), связанных с областями HII, на основе анализа спектроскопических, фотометрических и H $\alpha$ -спектрофотометрических наблюдений областей звездообразования. Исследование основано на авторском каталоге 1667 областей звездообразования с возрастом до ~20 млн лет в 21 спиральной и иррегулярной галактике. Изучена морфология звездных группировок и их связь с ассоциированной областью эмиссии H $\alpha$ . Измерены поглощения, химический состав и размеры областей звездообразования. Используя численные модели, вычисленные для металличностей, зафиксированных из наблюдений, по исправленным за поглощение цветам изучаемых областей звездообразования оценены возраст и массы звездного населения более 400 молодых звездных группировок. Обсуждаются ключевые аспекты используемой методики оценки физических параметров и различные связи между наблюдательными и физическими параметрами молодого звездного населения в областях звездообразования.

**СЮ Дедиков (АКЦ)**  
ЕО Васильев

**Перенос газа и пыли при взаимодействии облака с ударной волной**

Исследуется динамика газа и пыли при прохождении ударной волны по диффузным запыленным облакам в условиях межзвездной среды и в скоплениях галактик. Найдено, что динамика пыли при взаимодействии облака с ударной волной существенно зависит от соотношения времен охлаждения и разрушения облака. В радиационно охлаждающихся облаках, где время охлаждения меньше времени разрушения, пылевые частицы сохраняются и переносятся с веществом облака. В слабо охлаждающихся или адиабатических облаках, где время охлаждения больше времени разрушения, происходит сегрегация пылевых частиц вдоль движения облака: мелкие частицы увлекаются облаком, крупные частицы эффективно покидают родительское облако, оставаясь далеко позади газовых фрагментов облака, и испаряются в горячем потоке за фронтом ударной волны. Обсуждаются влияние перераспределения пылевых частиц по размерам при взаимодействии облаков с ударными волнами в процессе транспорта вещества из галактик в окологалактическую среду, а также вопросы увлечения массы в галактических истечениях.

## **ТВ Демидова (КрАО)**

### **Структура протопланетного диска CQ Тау в присутствии компаньона на вытянутой орбите**

Существуют косвенные признаки присутствия компаньона вблизи звезды CQ Тау. В изменениях блеска обнаружен период 10 лет. На изображении диска наблюдается обширная полость размером около 25 а.е., окруженная пылевым кольцом с максимумом распределения вблизи 53 а.е. Было выполнено моделирование взаимодействия пыли и газа в окрестностях звезды с параметрами CQ Тау в предположении существования компаньона на орбите с периодом 10 лет. Было показано, что звезда класса M на сильно вытянутой орбите способна сформировать область пониженной плотности вокруг центра масс системы, с размером, близким к наблюдаемому. Однако пылевая кольцеобразная структура в таком случае расположена заметно ближе к звезде, чем обнаружено в наблюдениях. Были получены свидетельства того, что массивная планета, на внешней относительно двойной орбите, может сформировать кольцеобразную пылевую структуру на расстоянии, соответствующем наблюдаемому.

**ПМ Зелянуха (ИПФ РАН)**

ИИ Зинченко

ЕМ Домбек

ДА Сорокин

**Атомарный газ в комплексе S255-S258**

В докладе обсуждается структура атомарного, молекулярного и ионизированного газа связанного с областями HII S255-S258. Приводятся оценки параметров разных фракций газа, а также особенности проявлений их взаимодействия.

Работа поддержана грантом РФФ 24-12-00153.

**ИИ Зинченко (ИПФ РАН)**

**Аккреционные вспышки в S255IR NIRS3 и других массивных МЗО**

В последние годы было зарегистрировано несколько вспышек светимости у массивных МЗО, которые были интерпретированы, как результаты эпизодической дисковой аккреции. Одно из первых таких событий связано с МЗО S255IR NIRS3 массой около 20 масс Солнца. Мы детально исследовали этот объект с разрешением до ~20 а.е. В докладе приводятся обзор этих работ и последние результаты. Также описываются такие события в других объектах. Работа поддержана грантом РФФ 24-12-00153.

**ВМ Картеева (УрФУ)**

РС Накибов

МЭ Ожиганов

МГ Медведев

АИ Васюнин

### **Инфракрасные спектры закиси азота в различном молекулярном окружении**

В работе мы экспериментально исследуем влияние молекул - основных компонентов межзвездных льдов на положение и профиль инфракрасных полос поглощения молекулы N<sub>2</sub>O. Ранее при помощи космического телескопа JWST закись азота была предварительно обнаружена в пяти дозвездных объектах. При этом, для анализа астрономических спектров использовались спектры чистого N<sub>2</sub>O. Поскольку в ледяной мантии межзвездных пылевых частиц маловероятно нахождение вещества в чистом виде, нами были впервые получены спектры закиси азота в различных молекулярных окружениях. Для получения спектров использовалась установка ISEAge (Ice Spectroscopy Experimental Aggregate) научной лаборатории астрохимических исследований УрФУ.

**МС Кирсанова (ИНАСАН)**

КВ Плакитина

ДЗ Вибе

ОВ Кочина

### **Газофазная и поверхностная химия в области образования массивных звезд RCW120**

Молекулы в межзвездной среде могут образовываться в газовой фазе либо в мантиях пылевых частиц, причем на пыли, как правило, образуются более сложные молекулы. Цель этой работы – исследовать пути образования молекул в областях образования массивных звезд, находящихся на ранней стадии. Мы проанализировали широкополосные спектры излучения молекул в области звездообразования, полученные на телескопе APEX в диапазоне 200-240~ГГц. Далее мы исследовали корреляции между наблюдаемыми лучевыми концентрациями молекул, а также между модельными концентрациями тех же молекул. Для моделирования мы использовали астрохимическую модель PRESTA в двухфазном приближении: газ и мантии частиц пыли. Обнаружено превышение содержания метанола в южной части области звездообразования по сравнению с северной при сравнимых содержаниях других молекул, таких, например, как CH<sub>3</sub>CN и CH<sub>3</sub>CCH. Кроме того, содержание метанола повышено и относительно других молекул, содержащих кислород, например: OCS, SO. Моделирование показало, что фотодесорбция является возможным механизмом, ответственным за разрушение мантий частиц пыли и повышение содержания метанола в газовой фазе. Показано, что сильная линейная корреляция между концентрациями указывает на то, что молекулы образуются в одной фазе -- либо в газе либо на пыли. Корреляция отсутствует, если молекулы образуются в разных фазах: одна в газе, а вторая в пылевых мантиях. Слабая корреляция между метанолом и кислородосодержащими молекулами, которые также образуются на пыли, свидетельствуют о том, что в южной части области звездообразования разрушается только верхняя часть мантий пылевых частиц, богатая <<CO>>-льдом.

Работа была поддержана грантом РФФ 24-22-00097.

**ВА Кирюхина (ГАИШ МГУ)**

АВ Додин

**Об измерениях скорости движения газа за фронтом ударной волны у звезд типа Т Тельца по оптическим линиям гелия**

Изучена вращательная модуляция лучевых скоростей узких эмиссионных линий у четырех классических звезд типа Т Тельца. Найдено, что декларируемое ранее смещение средней скорости линий нейтрального и ионизованного гелия относительно средней лучевой скорости звезды не связано с втеканием аккрецируемого газа в пятно, поскольку кривые лучевых скоростей для линий с различными смещениями по скорости должны испытывать фазовые сдвиги друг относительно друга, в то время как наблюдаемые фазовые сдвиги отсутствуют в пределах ошибок и не соответствуют наблюдаемым сдвигам линий по скорости. Это означает, что сдвиги линий не вызваны реальным движением газа. В случае линий нейтрального гелия смещения можно объяснить большой оптической толщиной линий и эффектом Штарка при параметрах плазмы, которые соответствуют ожидаемым в основании аккреционной колонки звезд типа Т Тельца.

**ВВ Клименко (USC)**

СА Балашев

**Анализ физических условий в холодной фазе МЗС с помощью УФ спектрокопии молекул CO**

Мы представляем исследование холодной фазы МЗС в диффузных и полупрозрачных облаках нашей Галактики, а также далеких галактик, с помощью анализа возбуждения вращательных уровней молекул CO и H<sub>2</sub> наблюдаемых в абсорбции в УФ спектрах далеких звезд и квазаров. В этой работе мы применили метод, основанный на численном моделировании переноса излучения в линиях молекул, фотоионизации облака, и химии МЗС. Этот подход позволил аккуратно решить проблемы анализа возбуждения молекул CO, отмеченные в предыдущих работах по этой тематике, которые значительно ограничивали применимость молекул CO для измерения физических условий в МЗС. Анализ данных в нашей галактике позволяет измерить изменение температуры и плотности газа в облаках с изменением их прозрачности и содержания молекул CO и H<sub>2</sub>.

**ИГ Коваленко (ВолГУ)**

ВВ Королев

**Русловая структура дымоходов между диском и гало,  
обусловленная эволюцией сверхоболочек**

Представлены результаты моделирования эволюции сталкивающихся сверхоболочек, образующихся в результате вспышек в двух кластерах сверхновых в диске галактики. Расчёты проводились в рамках модели, учитывающей неадиабатические процессы в МЗС, динамику движения газовой и пылевой подсистем с параметрами, характерными для Млечного Пути. 1) Материал разрушенных облаков вначале выметается из областей вспышек и образует рыхлые стенки сверхоболочек. Последующие вспышки обеспечивают регулярную подкачку нового материала и энергии, в результате чего в толще сверхоболочки со временем появляется система каналов разной толщины, ориентированных преимущественно поперёк диска. Стенки облаков образуют русла, вдоль которых горячий газ из каверн прорывается в гало. Далее в результате слияния каналов формируется несколько крупных русел, вдоль которых в гало до высот  $\sim 800$  пк поднимаются скоростные (500-800 км/с) потоки газа. 2) Результаты демонстрируют сходство с наблюдениями, в частности, образование в диске полостей с разреженным газом диаметром около 1 кпк, плотной вертикальной перегородки в слившихся сверхоболочках, высокоскоростных газопылевых потоков, ориентированных преимущественно поперёк диска в гало. 3) Перегораживающая сливающиеся сверхоболочки плотная облачная стенка, несмотря на фрагментацию, прослеживается вплоть до финальных времён моделирования  $\sim 6.5$  млн. лет. Анализ распределения скоростей показывает, что облака в перегородке двигаются от плоскости диска со скоростями 10-80 км/с. 4) Пылевая подсистема в сверхоболочках оказывается кинематически согласованной с движением облачной подсистемы МЗС; к временам 6.5 млн. лет пыль достигает наибольшей концентрации в облачной стенке и вне стенки на высотах 200-300 пк.

**ОВ Кочина (ИНАСАН)**

ДЗ Вибе

ЯН Павлюченков

### **Химия коллапсирующих протозвездных ядер различных масс**

Мы представляем результаты теоретического сравнительного исследования эволюции двух коллапсирующих плотных молекулярных ядер. Работа проведена при помощи PRESTALINE: GORYNYCH — самосогласованного программного пакета, поддерживающего комплексные теоретические исследования областей звездообразования: от динамики коллапса до химической эволюции и спектров. Исследуемые ядра различаются начальной массой: пять и пятьдесят масс Солнца. Каждое из ядер коллапсирует, образуя в центре протозвезду. Мы исследовали, как различия в массах и начальном химическом составе, а также процесс коллапса сказываются на ходе химической эволюции. Результаты исследования приводятся в виде спектров, допускающих сравнение с наблюдениями.

**АВ Лапинов(ИПФ РАН)**

ЮА Камаева

**Анализ сверхтонкой структуры мазерного перехода  
 $J_{\{Ka,Kc\}=6_{\{1,6\}} - 5_{\{2,3\}}$  молекулы  $H_2O$**

Используя квантово-механический формализм работ [1,2] в применении к измерениям сверхтонко-расщеплённых частот перехода  $J_{\{Ka,Kc\}=6_{\{1,6\}} - 5_{\{2,3\}}$  молекулы  $H_2O$ , улучшены значения констант спин-вращательного и спин-спинового взаимодействия на основе данных, опубликованных в [2,3]. Исходя из решения уравнения переноса излучения при различных значениях оптической толщины и неоднородной ширины линий сверхтонких компонент рассчитаны возможные профили линий молекул  $H_2O$  как для мазерного, так и чисто теплового случаев. Приведены сравнения результатов выполненных расчетов с наблюдениями наиболее узких профилей мазерных линий  $H_2O$  при помощи РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00227, <https://rscf.ru/project/23-22-00227/>.

1. Д.А. Варшалович, А.И. Иванчик, Н.С. Бабковская, Письма в АЖ, т.32, No.1, с.32-41 (2006).
2. S. Kukolich, J. Chem. Phys. 50, 3751 (1969).
3. H. Bluysen, A. Dymanus, and J. Verhoeven, Phys. Lett. 24A, 482 (1967).

**АВ Лапинов (ИПФ РАН)**

АК Киселёв

НИ Лапин

ЕА Тофимова

ДА Кондратьева

ЮА Камаева

ИА Зайчикова

АМ Толмачёв

ДИ Суворин

**Исследование характеристик РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН и поглощения атмосферы на длине волны 1.35 см**

Приводятся результаты измерения характеристик РТ-22 ПРАО и поглощения атмосферы на длине волны 1.35 см, проводившиеся в 2023 - 2024 гг. Найдено, что используемое в настоящее время на РТ-22 выражение для коррекции поглощения в атмосфере приводит в летнее время к существенной недооценке оптической толщины и на низких углах места может двукратно занижать интенсивности линий. Обсуждаются методы повышения точности измерений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00227, <https://rscf.ru/project/23-22-00227/>.

**ЕЕ Лехт (ГАИШ МГУ)**

НТ Ашимбаева

**Мазерное излучение OH в области звездообразования  
G109.871+2.114 (Сер А)**

Приведены результаты исследования области звездообразования G 109.871+2.114 (Сер А) линиях OH на 18 см. Поляризационные наблюдения (мониторинг) были выполнены на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция) в 2007--2024 гг. Мазерное излучение OH является сильно переменным. Меняются структура спектра и плотность потока отдельных деталей. Однако, лучевые скорости большинства деталей изменялись незначительно. Наблюдались кратковременные вспышки излучения отдельных деталей. Многие детали имеют сильную круговую поляризация, достигающая 100%, но слабую линейную поляризацию. В линии 1667 МГц обнаружены новая деталь на -15.53 км/с и кратковременная деталь на скорости 1.58 км/с с высокой круговой и низкой линейной поляризациями. Проведено пространственное отождествление спектральных деталей нашего мониторинга с мазерными пятнами на картах Cohen, Argon и Fish. Измерена величина монотонного уменьшения расщепления, и, следовательно, продольного магнитного поля трех зеемановских пар (-16.2L/-14.25R км/с и -6.94L/-0.82R в линии 1665 МГц и -15.76L/-14.2R в линии 1667МГц). Для пары -13.95L/-11.60R в линии 1665 МГц изменение расщепления не обнаружено. В сателлитных линиях 1612 и 1720 МГц наблюдается широкополосное поглощение и излучение соответственно. В линии 1720 МГц также обнаружена зеемановская пара. Вычислена величина позиционного угла  $\chi$  для линейно поляризованного излучения большинства спектральных деталей в обеих главных линиях 1665 и 1667 МГц. Показано, что магнитное поле в областях III ориентировано либо вдоль внешнего магнитного поля, либо вдоль радио джетов.

A.L.Argon, M.J.Reid and K.M.Menten, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* v. 129, 159 (2000).

R.J.Cohen, P.R.Rowland, and M.M.Blair, *Monthly Notices. Roy. Astron. Soc.* V.210, 425 (1984).

V.L.Fish, M.J.Reid, A.L.Argon, and X.W.Zheng, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* v.160, 220 (2005).

**ЕЕ Лехт (ГАИШ МГУ)**

НТ Ашимбаева

ВР Шутенков

ВВ Краснов

### **Долговременная переменность мазерного излучения H<sub>2</sub>O в источнике звездообразования S128**

Источники мазерного излучения могут ассоциироваться с самыми разными конфигурациями областей активного звездообразования. Кроме обычных сверхкомпактных областей H II, мазеры могут располагаться на фронте ударной волны. Такие конфигурации могут возникать, например, при движении области H II в молекулярном ядре межзвездной среды. При большой скорости движения область H II принимает кометообразную форму и на границе между этой областью и межзвездной средой появляется фронт ударной волны. Вблизи этого фронта возникают благоприятные условия для мазерного излучения. Другой конфигурацией могут быть два взаимодействующих (сталкивающихся) молекулярных CO облака. На границе между ними возникают благоприятные условия для мазерного излучения. Примером такой структуры является область активного звездообразования S128. Результаты мониторинга мазера H<sub>2</sub>O в направлении источника S128 в течение 1981--2024 гг. представлены в трехмерном изображении 3D. Получено, что в интервале времени 2004—2006 гг активность излучения H<sub>2</sub>O постепенно перешла от мазера В к мазеру А. Активная фаза мазеров В и А продолжалась около 23 и 16 лет соответственно. Предполагается, что общей причиной переменности мазерного излучения обоих источников (А и В) могут быть ударные волны, возникающие вблизи ионизационного фронта. При этом вдоль такого фронта распространяется возмущение, которое стимулирует мазерное излучение. Согласно результатам нашего мониторинга распространение возмущения происходит в направлении юг--север.

**АА Марчук (ГАО РАН)**

ИБ Чугунов

### **Звездообразование в спиральных галактиках и между ними**

Нерешенным остается вопрос, усиливают ли спиральные рукава в галактиках эффективность крупномасштабного звездообразования. В докладе обсуждаются предварительные результаты исследования specific star formation rate ( $sSFR=SFR/M_{star}$ ) и других величин в спиральных рукавах и межрукавном пространстве. Исследуются три совершенно разные выборки: хорошо разрешенные близкие галактики (данные ALMA и проекта DustPedia), большая выборка галактик из MaNGA (и данных GalaxyZoo:3D), далекие галактики на  $z>1$  (JWST и HST).

**МГ Медведев (УрФУ)**

МЭ Ожиганов

ВМ Картеева

РС Накибов

АИ Васюнин

### **Проведение астрохимических экспериментов на установке ISEAge**

Ice Spectroscopy Experimental Aggregate (ISEAge) — экспериментальная установка собранная на базе Научной лаборатории астрохимических исследований УрФУ. Установка позволяет создавать аналоги ледяных мантий межзвездной пыли заданного молекулярного состава и получать их инфракрасные спектры в условиях сверхвысокого вакуума и криогенных температур. В докладе будут рассмотрены основные компоненты установки ISEAge и их устройство. Также будет уделено внимание методике проведения экспериментов по получению ИК-спектров сравнения для космических наблюдений, в том числе будет рассмотрена подготовка газовых смесей для подачи в главную камеру. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

**ЕА Михеева (АКЦ)**

СВ Каленский

АМ Соболев

Stan Kurtz

Sheng-Yuan Liu

**Сложные органические молекулы в области S255IR: карты и спектры ИК источников в диапазоне 210-150 ГГц**

В нашем докладе мы представляем результаты обзора области S255IR в диапазоне 210-250 ГГц, проведенного на интерферометрической решетке SMA. Получено 115 поканальных карт и карт интегральной интенсивности в линиях излучения молекул. Сложные органические молекулы (СОМ) наблюдаются в основном в направлении горячего ядра SMA1. Исключения составляют метанол и метилацетилен, которые видны в направлении области SMA2 и крыльев биполярных истечений вещества в области. Получены спектры в направлении ядер SMA1 и SMA2, и обнаружено 56 молекул, в том числе сложные молекулы, состоящие из 8-10 атомов.

**МС Мурга (ИНАСАН)**

АИ Васюнин

### **Влияние учета распределения пыли по размеру и температуре на результаты астрохимического моделирования**

Одним из ключевых компонентов межзвездной среды для астрохимического моделирования холодных облаков является пыль. Она обеспечивает поверхность для протекания множества реакций. В астрохимических моделях параметрами пыли и их вариативностью, как правило, пренебрегается. Данная работа посвящена исследованию того, как включение нескольких населений пыли и учет ее основных физических характеристик влияет на результаты астрохимического моделирования. Для исследования модифицирована модель MONACO. Были введены несколько населений пыли, различных по размеру и составу (углеродные и силикатные). Каждое население пыли имеет распределение по температуре, которое рассчитывается с учетом стохастического нагрева ультрафиолетовым полем излучения и космическими лучами. При расчетах используются корректные функции торможения КЛ внутри пыли, теплоемкости, оптические свойства с учетом размера, состава и толщины мантии. Были скорректированы темпы практически всех типов реакций: реакций обмена зарядов с пылью, аккреции и десорбции, диффузионной и недиффузионной химии. В результате учёта разных населений пыли с их распределением по температуре содержание всех рассматриваемых молекул меняется в разной степени, в ряде случаев отклонение от ``классической модели" с одним населением пыли достигает нескольких порядков. Наиболее ярко эффект проявляется для сложных органических молекул. Таким образом, пренебрежение точным описанием пыли в астрохимической модели может существенно сказаться на результатах.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №23-12-00315).

**РС Накибов (УрФУ)**

ВМ Картеева

МЭ Ожиганов

МГ Медведев

АИ Васюнин

### **Газообразный и твердый метан в направлении IRAS 23385+6053**

В работе приведено описание данных наблюдений JWST в области 7,7 мкм в направлении протозвезды IRAS 23385+60538. Спектр, рассмотренный ранее в рамках работы проекта JOYS демонстрирует уникальную двойную структуру пика, однако в оригинальной работе описан только пик из двух — традиционно приписываемый метану в водяном льду. Для описания были использованы бинарные смеси CH<sub>4</sub> с полярными молекулами, полученные в нашей лаборатории на установке ISEAge, а так же модельный спектр газообразного метана. В данном докладе будет представлена двухэтапная процедура определения свойств как твердой, так и газообразной фазы. Анализ показывает, что двойная структура представляет широкий ледяной пик метана в смесях с CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, разделенный тонкой полосой газофазного метана.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

**МЭ Ожиганов (УрФУ)**

УА Сапунова  
МГ Медведев  
ВМ Картеева  
РС Накибов  
АИ Васюнин

**Влияние молекулярного азота на инфракрасные спектры поглощения полярных межзвёздных льдов**

Инфракрасные спектры космических обсерваторий, а также данные радионаблюдений позволяют исследовать молекулярный состав областей звездообразования. Однако обнаруженные таким образом соединения в газовой и конденсированной фазах совокупно содержат не более 30% атомов углерода, кислорода и азота, которые должны присутствовать в межзвёздной среде в окрестностях Солнца согласно теоретическим представлениям. Согласно одной из гипотез, существенная часть недостающих атомов связана в неактивные в инфракрасном и радио диапазонах молекулы и пылевые частицы. Это предположение согласуется с астрохимическими моделями в случае азота: численные расчеты показывают, что значительная доля азота связана в ледяных мантиях пылевых частиц в виде ИК-неактивной молекулы N<sub>2</sub>. Для косвенного обнаружения молекул азота в межзвёздном льде по их влиянию на соседние молекулы мы вырастили в сверхвысоковакуумной криогенной установке серию аналогов межзвёздных льдов. При температуре 10К были выращены льды состава H<sub>2</sub>O:CO<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>OH:NH<sub>3</sub>:CH<sub>4</sub>:N<sub>2</sub>, содержащие компоненты в пропорциях 100:25:5:5:2:X, где X=0, 20, 40, 60, 80. Анализ инфракрасных спектров этих льдов показал, что наиболее сильное и специфичное влияние от молекул азота испытывают свободные О-Н колебания воды в области 2.75 мкм, что позволяет оценить количество N<sub>2</sub> в реальных межзвёздных льдах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-12-00315.

**АИ Перятинская (МГУ)**

ИА Кудряшов

ВО Юровский

### **Численная модель механизма смены транспорта галактических космических лучей**

В современных работах существует две основных гипотезы о возникновении анизотропии космических лучей. В первой гипотезе анизотропия объясняется влиянием близких источников, таких как пульсары или остатки сверхновых. Вторая гипотеза - это влияние местного магнитного межзвездного поля, которое может отклонять частицы так, что диффузия космических лучей становится анизотропной. Анализ распространения частиц, используемый в работах, является усреднением транспорта по пространству, то есть описанием его глобальных свойств. Однако при таком макроскопическом подходе не учитываются локальные особенности поля в точке наблюдения. Для того, чтобы учесть влияние особенностей магнитного поля в данной работе используется микроскопический подход. Он заключается в определении зоны перехода одномерной диффузии вдоль магнитной линии в классическую анизотропную диффузию. В этой части пространства рассматривается взаимный транспорт магнитных линий и частиц с энергиями, при которых происходит смена фаз анизотропии. Для определения минимальных масштабов, в котором режим движения частиц диффузионный, уточняются численные характеристики транспорта магнитных линий поля. Эти характеристики являются асимптотикой для диффузионного коэффициента частиц низких энергий. Метод расчета основан на численном моделировании линий турбулентного магнитного поля и расчету числовых характеристик его транспорта.

**ЛЕ Пирогов (ИПФ РАН)**

**Кинематика газа в областях образования массивных звезд**

Исследования кинематики массивных плотных ядер и окружающего их газа необходимы для понимания механизма образования в них звезд большой массы и звездных скоплений. В докладе приводится обзор результатов недавно опубликованных кинематических исследований нескольких протозвездных скоплений и связанных с ними волокон, а также результаты наших исследований массивных ядер из базы данных MALT90.

**КВ Плакитина (ИНАСАН)**

МС Кирсанова

СВ Салий

АД Гималиева

АБ Островский

### **Применение методов машинного обучения для поиска областей звездообразования**

Современная астрономия сталкивается с огромными объемами спектральных данных, полученных при наблюдениях молекулярного излучения различных источников — от тёмных инфракрасных облаков до протозвёзд и областей HII. Традиционные методы анализа данных становятся менее эффективными при обработке таких больших массивов информации. В этом докладе рассматривается применение методов машинного обучения для анализа объектов по линиям излучения молекул. За основу взят каталог объектов MALT90, основанный на обзоре галактической плоскости на длине волны 3 мм. Обсуждаются различные алгоритмы кластеризации данных и методы уменьшения размерности, позволяющие упростить процесс идентификации объектов. Показано, что методы машинного обучения успешно находят области звездообразования среди всех прочих типов объектов.

Работа была поддержана грантом РФФ 24-22-00097.

**ИС Прошина (ГАИШ МГУ)**

ОК Сильченко

АЮ Князев

ДВ Опарин

**Исследование звездообразования в S0-галактиках изолированных пар**

Для трёх линзовидных галактик с кольцами (PGC 48114, ESO 234-011 и ESO 444-076) были получены длиннощелевые спектры с помощью спектрографа RSS на 11-метровом телескопе SALT Южно-Африканской обсерватории. Анализ спектров показал наличие ионизованного газа во всех трёх S0-галактиках, в двух из них (ESO 234-011 и ESO 444-076) ионизованный газ вдоль длинной щели имеет ударное возбуждение и кинематическое рассогласование по отношению к звёздной кинематике. В галактике PGC 48114 кинематика ионизованного газа и звёзд в целом согласованна, а механизм возбуждения ионизованного газа в разных частях кольца различен. Узкополосные изображения в эмиссионных линиях H $\alpha$  и [NII] $\lambda$ 6583, полученные для этой галактики с помощью картировщика MaNGaL на 2.5-метровом телескопе КГО ГАИШ МГУ, выявили дугу звездообразования в северо-западной части кольца. Компаньонами рассматриваемых S0-галактик являются галактики поздних типов с обширным текущим звездообразованием. Рассогласованная кинематика звёзд и газа является свидетельством аккреции вещества под углом к основному диску S0-галактик, что, по всей видимости, препятствует текущему звездообразованию в них. Источником газа, предположительно, могут быть богатые газом галактики-компаньоны (наблюдаемые сейчас или уже поглощённые), либо общий резервуар газа.

**ЕР Редкин (ЮФУ)**

ЭИ Воробьёв

**Влияние магнитного дискового ветра на эволюцию протопланетного диска**

Эволюция протопланетных дисков связана с перераспределением углового момента и потерей массы. Наиболее распространённый подход состоит в том, что на ранних этапах эволюции эти процессы можно объяснить действием гравитационных моментов сил, а затем основным механизмом, определяющим эволюцию диска, становится турбулентная вязкость. Однако наблюдения и результаты моделирования предоставляют всё больше доказательств того, что из-за неидеальных магнитогидродинамических эффектов протопланетные диски могут быть менее турбулентными, чем считалось ранее. Это приводит к необходимости поиска других физических процессов, ответственных за эволюцию протопланетных дисков. Одним из возможных механизмов отвода углового момента и массы в диске может быть магнитный дисковый ветер. В работе представлены предварительные результаты численного моделирования эволюции протопланетного диска с учётом влияния магнитного дискового ветра, эффективность которого в используемой модели регулируется введением безразмерного параметра  $\alpha_{\text{wind}}$ . Будет показано, как в зависимости от величины этого параметра изменяются темпы аккреции вещества на звезду, структура и размер диска.

**АМ Скляревский (ЮФУ)**

ЭИ Воробьёв

### **Вспышки светимости во взаимодействующих протопланетных системах**

Объекты типа FU-Ориона (фуоры) характеризуются короткими (десятки или сотни лет) эпизодическими вспышками, во время которых светимость растёт на порядки величины. Возможной причиной таких вспышек могут являться тесные сближения звёзд и протопланетных дисков. По данным численных расчётов, для генерации вспышки с характеристиками, близкими к фуорам, требуется достаточно близкий пролёт, с периастром от нескольких а.е. до нескольких десятков а.е. Однако звёздные объекты в фуорах представляющих собой двойные системы (включая непосредственно FU Ориона) обычно разнесены на сотни а.е. Простые математические оценки показывают, что с такими параметрами компоненты двойной системы должны двигаться на порядок величины быстрее наблюдаемой дисперсии скоростей в молодых звёздных скоплениях. Таким образом, вспышки светимости либо инициализируются с некоторой временной задержкой, либо для инициализации вспышки такие тесные сближения не требуются и всплеск светимости происходит не за счёт первичного гравитационного возмущения в протопланетном диске. В докладе будет показано, что к вспышкам светимости могут приводить даже пролёты с большим периастром порядка 500 а.е., при этом задержка между прохождением периастра и непосредственно вспышкой может достигать нескольких тысяч лет. А одним из механизмов инициализации вспышки типа фуор может служить каскадный процесс, включающий развитие тепловой и магниторотационной неустойчивостей.

**ДД Соколов (МГУ, ИЗМИРАН)**

ЕВ Юшков

ИН Пащенко

**Новые результаты по теории фарадеевского вращения в джетах**

В прошлом году мы рассказывали о начале исследований о деполяризации и фарадеевском вращении синхротронного излучения в астрофизических джетах. Цель этого доклада -- представить новые результаты в этой области.

**ИМ Султанов (ЧелГУ)**

СА Хайбрахманов (ЧелГУ)

**Численное моделирование гравитационной фрагментации  
молекулярных волокон с магнитным полем**

В работе с помощью кода FLASH выполняется численное магнитогазодинамическое (МГД) моделирование гравитационной фрагментации цилиндрического молекулярного облака с крупномасштабным продольным магнитным полем. Исследуются условия фрагментации облака в рамках двух постановок задач: Чандраскера и Ферми (1953), Стодолкевича (1963). Эволюция облака длиной 2 пк и радиусом 0.1 пк моделируется для различных начальных значений интенсивности магнитного поля, 10 - 50 мкГс, и широкого спектра длин волн начальных малых возмущений. Разработан и реализован численный алгоритм определения гравитационной связанности уплотнений, образующихся в волокне. Алгоритм основан на анализе энергетического баланса уплотнений. С помощью расчетов исследованы свойства фрагментов, образующихся в волокнах с различными начальными характеристиками. Показано, что размер и масса фрагментов увеличивается с длиной волны возмущения. Минимальные размеры 0.0024 пк и массы 0.34 масса Солнца соответствуют возмущениям с длиной волны, равной критической. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (24-22-20041).

**ПА Танатова (УрФУ)**

СВ Салий

### **Исследование молекулярного состава области образования массивных звезд S255IR**

В работе представлены результаты обработки наблюдений области образования массивных звезд S255IR, наблюдения проводились на телескопе IRAM 30m в диапазоне частот от 326 до 350 ГГц с размером диаграммы 7.5". Мы идентифицированы 20 различных молекул и изотопологов, от простых, двухатомных, CO, SO, NS, SiO, до сложных, таких как CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>CN, CH<sub>3</sub>CHO, CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>. Среди отождествленных молекул присутствуют как молекулы — индикаторы горячих ядер, так и молекулы — индикаторы истечений и плотных ядер. Скорости молекул — индикаторов горячих ядер и плотных ядер — близки к системной скорости, ~ 5 км/с. Молекулы — индикаторы истечений наблюдаются — на больших скоростях, ~ 7.4 км/с. Для некоторых молекул удалось отождествить 3 и больше линий по которым методом вращательных диаграмм были определены температуры от 103 К до 235 К и лучевые концентрации. Для остальных молекул только лучевые концентрации. Для всех молекул оценены обилия. Объект сложной структуры, химически неоднородный, молекулы, наблюдаемые на разных скоростях, могут излучать из разных частей объекта, например системная скорость сгустков SMA1, SMA2 ~ 7.7 км/с соответствует скорости, которая наблюдается для молекул SO, SiO, SO<sub>2</sub>. Полученные нами температуры и лучевые концентрации характерны для объектов с горячими и плотными ядрами.

**АП Топчиева (ИНАСАН)**

ЭИ Воробьев

АМ Скляревский

ЯН Павлюченков

### **Моделирование влияния пылевых непрозрачностей на эволюцию протопланетного диска**

В данной работе с помощью гидродинамического кода FEOSAD была исследована эволюция протопланетного диска с учетом пылевых непрозрачностей, зависящих от размера пылинок. Созданные обновленные сетки непрозрачностей учитывают наличие или отсутствие ледяных мантий и их толщину в каждой точке диска. Размер пыли для рассчитанных коэффициентов непрозрачностей варьировался от 0,005 мкм до 1 м. Созданные сетки непрозрачностей пыли внедрены в код FEOSAD, проведены расчеты с прежними и с обновленными коэффициентами непрозрачности. В результате расчетов показано, что использование новых непрозрачностей приводит к изменению температуры в диске. Линии льдов CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в модели стали располагаться ближе к звезде. Сдвиг линии льдов воды приводит к увеличению размера пыли на расстоянии порядка 10 а.е. за счет повышения фрагментационной скорости (пыль становится менее хрупкой). Смещение линии льдов H<sub>2</sub>O способствует росту пыли в области формирования планет земной группы, а именно предположительно ледяных гигантов и ледяных планет земной массы. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда 22-72-10029

**АА Фарафонтова (ИНАСАН)**

МС Кирсанова

СВ Салий

**Разработка программы для автоматического отождествления линий в спектрах областей образования звезд**

Современные миллиметровые телескопы оснащены оборудованием с широкой полосой принимаемых частот и высоким спектральным разрешением до  $\lambda/\Delta\lambda=10^7$ . Результатом наблюдения областей образования звезд на таких инструментах является, как правило, спектр излучения молекул, богатый линиями, которые могут перекрываться между собой. Линии молекул используются в дальнейшем для изучения химического состава и физических свойств областей образования звезд. Поэтому остро встает вопрос об идентификации линий молекулы спектра, богатых линиями. Идентифицирование молекул подразумевает сравнение наблюдательных данных с переходами и частотами в спектроскопических базах данных. Нами был разработан алгоритм, предназначенный для автоматического отождествления линий, а именно, для нахождения амплитуды, ширины и интегральной интенсивности линии. С помощью алгоритма были отождествлены десятки линий излучения молекул в спектре горячего ядра из области RCW120.

Работа была поддержана грантом РФФ 24-22-00097.

**СА Хайбрахманов (СПбГУ, УрФУ)**

АМ Соболев

С Чен

**О возможной связи вспышек мазерного излучения с магнитным пересоединением**

В работе анализируются вспышки излучения мазеров вблизи молодых массивных звезд. Рассматриваются объекты G33.641-0.228 и G36.11+0.55, демонстрирующие вспышки в одной из мазерных компонент. Предполагается, что вспышки мазерного излучения связаны с повышением потока излучения молодой звезды или вещества в ее окрестностях. Наблюдательные данные о магнитных полях в областях формирования мазерного излучения применяются для оценки интенсивности магнитного поля вблизи звезды. На основе данных о магнитном поле обсуждается возможность существования магнитосфер молодых массивных звезд и анализируются сценарии их взаимодействия веществом, аккрецирующим из околозвездных дисков. Оценки характерных времен показывают, что рассматриваемые вспышки мазеров могут объясняться процессами магнитного пересоединения на границе магнитосфер молодых звезд. Полученные результаты используются для обсуждения мазерных вспышек, наблюдаемых в ряде других областей образования массивных звезд.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-12-00258).

**СА Хайбрахманов (УрФУ)**

МЮ Кискин

АИ Васюнин

### **Двумерное моделирование химической эволюции протозвездных облаков с магнитным полем**

В работе в двумерном осесимметричном приближении моделируется эволюция химического состава коллапсирующих протозвездных облаков. Рассмотрены три сценария гравитационного коллапса облака массой  $M=1M_{\text{sun}}$ : облако без вращения и магнитного поля, вращающееся облако и вращающееся облако с магнитным полем. Отдельно рассмотрен случай облака с параметрами, близкими к наблюдаемому ядру L1544. Для расчета коллапса облаков применяется численный двумерный магнитогазодинамический (МГД) код Enlil. Химическое моделирование выполняется с помощью численного трехфазного (газ – поверхность – мантия) кода MONACO, включающего недиффузионные процессы в твердой фазе. Рассматривается химическая эволюция в нескольких точках облака вдоль оси симметрии и вдоль экваториальной плоскости облака. Расчеты показывают, что сплюснутая форма, которую принимает вращающееся магнитное протозвездное облако в процессе коллапса, и соответствующие изменения в распределении плотности газа обуславливают заметные различия в содержаниях и лучевых концентрациях молекул вдоль разных осей симметрии облака. Обсуждаются возможные наблюдательные проявления асимметричной химической структуры протозвездных облаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации (договор FEUZ-2020-0038).

**СА Хайбрахманов (СПбГУ)**

ВВ Акимкин

### **Ионизационное состояние и «мертвые» зоны аккреционных дисков молодых звезд**

В работе представляется численная модель расчета ионизационного состояния аккреционных дисков молодых звезд. Рассматриваются следующие носители заряда: свободные электроны, наиболее распространенные атомарный и молекулярный ионы, (суб-)микронные пылинки с зарядами от  $-2$  до  $+2$  и более крупные, в том числе макроскопические, частицы ( $>10$  мкм) с высокими ненулевыми зарядами. В качестве источников ионизирующего излучения рассматриваются космические лучи, рентгеновское излучение, радиоактивные элементы. Учитывается испарение пылинок при повышении температуры, а также тепловая ионизация щелочных металлов и водорода. Уравнения ионизационно-рекомбинационного баланса для выбранных компонент газопылевой плазмы решаются итерационным методом Ньютона. Модель применяется для расчета и анализа ионизационного состояния аккреционного диска звезды типа Т Тельца. Структура диска рассчитывается с помощью МГД-модели, представленной в работах Дудорова и Хайбрахманова (2013-2022). Расчеты показывают, что при типичном отношении массы крупных пылинок к полной массе пыли  $f_m=0.75$ , что характерно для пылинок, чей размер ограничен фрагментацией, однократно заряженные мелкие пылинки являются основными носителями заряда внутри «мертвой» зоны. При типичных параметрах «мертвая» зона расположена в области радиальных расстояний от 0.2 до 16.5 а.е. Для областей в диске, где размер пылевых частиц ограничен радиальным дрейфом,  $f_m > 0.97$ , основными носителями заряда являются электроны и атомарные ионы. В этом случае внешний радиус «мертвой» зоны в диске сокращается до 4.1 а.е. Как следствие, во внутренних и внешних по отношению к «мертвой» зоне областях диска генерируется динамически сильное магнитное поле, которое может влиять на скорость вращения и темп переноса углового момента в диске.

Работа Хайбрахманова С.А., выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «Базис» (проект 23-1-3-57-1).

**ТТ Хасаева (МГУ, ИТПЗ РАН)**  
ЕА Михайлов

**Собственные функции в задаче о возбуждении магнитного поля во внешних областях галактики за счет магниторотационной неустойчивости**

Существуют свидетельства наличия магнитных полей на расстояниях порядка 15-20 кпк до центра галактического диска [1]. Одним из объяснений их наличия может быть явление магниторотационной неустойчивости. Возможность возбуждения магнитного поля описывается с помощью задачи на собственные значения [2], которая была рассмотрена в настоящей работе. Ее точное решение оказывается невозможным, поэтому использовались подходы теории возмущений, хорошо известные в квантовой теории, а также численные методы [3]. Собственные значения, полученные в ходе решения, отражают вертикальный масштаб действия магниторотационной неустойчивости и возможность развития малых возмущений поля. В работе представлены несколько старших собственных значений и отвечающие им собственные функции, характеризующие структуру магнитного поля во внешних областях галактики.

1. E.Mikhailov, Kasparova A., Moss D., Beck R., Sokoloff D., Zasov A. *Astron.Astrophys.* 2014, 568, A66
2. Т.Т.Хасаева, Е.А.Михайлов. *ЖТФ.* 2023, 92, 771
3. E.Mikhailov, T.Khasaeva. *Mathematics.* 2024, 12, 760

**ИС Хрыкин**

**Космические барионы, подсвеченные быстрыми радиовсплесками**

Несмотря на неизвестную природу, быстрые радиовсплески (FRB) стали уникальным инструментом исследования различных астрофизических процессов и явлений. Так, FRB сыграли первостепенную роль в решении «проблемы потерянных барионов», уверенно подтвердив предсказание  $\Lambda$ CDM космологической модели. Однако, один из важнейших вопросов касающийся относительного распределения барионов между диффузной межгалактической средой (IGM) и окологалактической средой (CGM) остается нерешенным. Информация о распределении космических барионов позволила бы уточнить модели формирования и эволюции галактик, механизма обратной связи и звездообразования, эволюции газа в IGM. Однако, точное измерение распределения барионов осложняется крупномасштабной структурой, лежащей вдоль луча зрения между наблюдателем и FRB. В докладе представлен способ решения этой проблемы путем восстановления крупномасштабного распределения плотности на основании спектроскопических измерений пространственного распределения галактик, находящимися между наблюдателем и локализованными FRB. В докладе обсуждается FLIMFLAM - продолжающийся с помощью телескопа AAT (а также Кеэк, VLT, Subaru) спектроскопический обзор галактик перед  $\sim 30$  FRB, обнаруженных радиотелескопом ASKAP (CRAFT) и локализованных коллаборацией F<sup>4</sup>. В докладе представлен первый релиз данных FLIMFLAM, включающий в себя анализ распределения барионов на основании наблюдений 8 FRB. Показаны первые прямые измерения относительного разделение космических барионов между IGM и CGM, а также измерение вклада родительских галактик в наблюдаемые меры дисперсии FRB.

**ДА Шапиро (МГУ, АКЦ)**

НН Шахворостова

### **Построение синтетических спектров межзвездных молекул**

В докладе будет обсуждаться задача о моделировании многомолекулярных спектров объектов межзвездной среды, актуальная в свете растущих возможностей современных радиотелескопов по наблюдению межзвездных молекул в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн. Будет рассмотрено построение синтетических спектров, которое может быть одним из возможных этапов решения этой задачи.

**Всероссийская конференция  
Звездообразование  
и  
планетообразование  
Москва, АКЦ ФИАН  
11 – 13 ноября 2024**

**Москва 2024**