

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

**Всероссийская конференция  
Звздообразование  
И  
планетообразование  
Москва, АКЦ ФИАН, онлайн  
23 - 24 ноября 2021**

**памяти  
Александра Егоровича Дудорова**

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

Москва 2021

## Александр Егорович Дудоров (1946-2021)



Родился 18.07.1946 в Катав-Ивановске Челябинской обл. В 1971 окончил Казанский гос. ун-т. С 1974 после обучения в аспирантуре Астрономического совета АН СССР работал в Башкирском гос. ун-те, с 1978 в Челябинском гос. ун-те на различных должностях.

В 1978 – 1986 и 1992 – 2021 – заведующий кафедрой теоретической физики, 2005–2008 – декан физического факультета.

Член бюро Научного Совета по астрономии Российской академии наук, член Международного астрономического союза, председатель диссертационного совета Д212.296.03.

д. ф.-м. н. (1992), профессор (1994), заслуженный работник Высшей школы РФ, почетный профессор ЧелГУ

Основные темы научных исследований А.Е. Дудорова: звездообразование в межзвездных вращающихся магнитных облаках, эволюция магнитных звезд, МГД неустойчивости, конвекция, МГД-турбулентность и механизмы генерации магнитного поля, он автор около двухсот научных и методических работ, в т. ч. соавтор монографий.

В период с 1978 по 1988 совместно с Ю.В. Сазоновым и А.В. Тутуковым были разработаны основные положения теории остаточного магнитного поля, в которой магнитное поле молодых звезд и звезд верхней части главной последовательности рассматривается как индукционно усиленное магнитное поле протозвездных облаков. В 1984–1992 годах было проведено исследование ряда приложений теории остаточного магнитного поля: взаимодействие магнитного поля с конвекцией, проблема углового момента молодых звезд, генерация интенсивных струйных течений и др.

С 1993 года совместно с А.Г. Жилкиным и О.А. Кузнецовым разработаны модификации конечно-разностного метода Годунова для решения системы уравнений магнитной газодинамики самогравитирующих течений и соответствующие им многомерные численные коды. Эти разработки позволяют в настоящее время проводить численное моделирование процесса образования и эволюции протозвезд с аккреционными и/или протопланетными дисками с учетом ионизации, диффузии и турбулентности.

А.Е. Дудоровым выявлена и проанализирована иерархическая структура межзвездных облаков, сформулирована «конвективная теорема» для молодых звезд, разработаны аналитические и численные МГД модели динамики аккреционных и протопланетных дисков молодых звезд с остаточным магнитным полем. Падение метеорита «Челябинск» в 2013 не могло остаться без внимания А.Е. Дудорова. Он являлся идейным вдохновителем и руководителем большинства работ по метеоритной тематике, выполненных в ЧелГУ. В 2016 под редакцией Н.Н. Горькавого и А.Е. Дудорова вышла книга «Челябинский суперболид».

А.Е. Дудоров с 1978 года руководил подготовкой астрофизиков в Челябинском ГУ. Более 100 выпускников университета являются его учениками. Среди них 14 кандидатов и 4 доктора физико-математических наук. Читал ряд основных и специальных курсов по теоретической физике и астрофизике.

Удостоен премии «Hooker Distinguished Visiting Professor» (университет Макмастера, Канада 1996), премии губернатора Челябинской области (2002), премии Годдарда (США, 2014, совместно с Н.Н. Горькавым, А. DaSilva, D. Rault и P. Newman). За вклад в изучение метеорита «Челябинск» Международный астрономический союз присвоил открытому в 1981 астероиду Главного пояса 8795 (1981 E09) имя Dudorov.

из справочника «Астрономы России 1917-2017», КФУ, Казань 2017

## Программа конференции

### Вторник, 23 ноября

**10-00 — 13.00, председатель: ЮА Щекинов**

10-00 **открытие**

10-05 **СА Хайбрахманов** «Александр Егорович Дудоров: жизнь и научная деятельность»

10-35 **АГ Жилкин** «Через тернии к протозвездам: об извилистом пути научной группы А.Е. Дудорова»

11-10 **чай, кофе**

11-25 **СА Хайбрахманов, СН Замоздра** «Иерархическая структура межзвездных молекулярных облаков»

11-50 **ИИ Зинченко** «Протозвездные джеты и истечения»

12-25 **ОВ Еретнова** «Частота падений метеоритов и болидов»

13-00 **обед**

**14:00 — 16:10, председатель: АВ Моисеев**

14-00 **АМ Шукуров** «МГД моделирование магнитных полей в многофазовой межзвездной среде»

14-35 **ДД Соколов** «Галактическое и мелкомасштабное динамо как возможные источники магнитного поля облаков»

15-10 **НС Каргальцева** «Численное двумерное МГД-моделирование коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков»

15-25 **ЕА Михайлов** «Галактическое динамо с потоками спиральности при интенсивном звездообразовании»

15-40 **ТТ Хасаева** «Исследование устойчивости радиальных и азимутальных инверсий галактического магнитного поля»

15-55 **ВВ Королев** «Моделирование трансзвуковой турбулентности в конвективно-неустойчивом облаке»

16-10 **чай, кофе**

**16:25 — 18:15, председатель: АИ Васюнин**

16-25 **АВ Моисеев** «Картирование ионизованной межзвездной среды на MaNGaL'e»

16-50 **СА Балашев** «Отношение CII\*/CII в среде с низкой металличностью»

17-15 **СА Хоперсков** «Образование азимутальных градиентов металличности в газе спиральных галактик»

17-30 **ИГ Коваленко** «Газопылевые структуры в окрестности рукавов спиральных галактик»

17-45 **ЕО Васильев** «Темп звездообразования для формирования галактических ветров»

18-00 **ЮА Щекинов** «О природе H-alpha эмиссии в промежуточных гало edge-on галактик»

**Среда, 24 ноября**

**10-00 — 13.00, председатель: СА Хайбрахманов**

- 10-00 **ЕВ Борщева** «Вспышки светимости в протопланетных дисках: трехфазная астрохимическая модель»
- 10-15 **ЭИ Воробьев** «Вспышки светимости у звезд до главной последовательности. Можно ли определить их спусковой механизм?»
- 10-30 **АМ Складьевский** «Эволюция пыли в протопланетных дисках вокруг вспышечных звезд»
- 10-45 **ВВ Журавлев** «Взрывная неустойчивость газопылевой смеси в протопланетных дисках с оседающей пылью»

11-00 *чай, кофе*

- 11-15 **ВП Гринин** «Наблюдение сдвига фазы периодических колебаний блеска звезды типа AA Tau V715 Per»
- 11-50 **ИС Потравнов** «BP Psc: активная звезда типа T Тельца на экстремально высокой галактической широте?»
- 12-05 **МС Кирсанова** «Наблюдения радиотелескопов молекул в направлении звезды V645 Cyg»
- 12-20 **ДЗ Вибе** Излучение молекулярного водорода в окрестности звездного скопления vdB 130»
- 12-35 **НЕ Молевич** «Газодинамические структуры формируемые в областях изоэнтропической неустойчивости тепловыделяющих сред»
- 12-50 **ЕВ Маевский** «Динамо-волны и звездные токовые слои»

13-05 *обед*

**14:00 — 16:00, председатель: ЛЕ Пирогов**

- 14-00 **АИ Васюнин** «Химическая эволюция ледяных мантий межзвездных пылевых частиц под воздействием космических лучей»
- 14-35 **МС Мурга** «Роль пыли из аморфного углерода в образовании малоатомных углеводородов»
- 14-50 **ВБ Ильин** «Поляризация излучения оболочек AGB-звезд и размер образующихся пылевых частиц»
- 15-15 **ЕЭ Сивкова** «Разрушение пыли на больших галактических высотах»
- 15-30 **СА Дроздов** «Эмиссия пыли в областях звездообразования»

15-45 *чай, кофе*

**16:00 — 18:00, председатель: МС Кирсанова**

- 16-00 **АМ Соболев** «Быстрая переменность метанольных мазеров II класса как явление»
- 16-35 **ЛЕ Пирогов** «Кинематика и структура волокон, связанных с областями массивного звездообразования»
- 17-10 **ПМ Землянуха** «Анатомия оболочки зоны S187»
- 17-25 **ОЛ Рябухина** «Химический возраст плотных сгустков волокна WB 673»
- 17-40 **обсуждение, закрытие**

## Список участников

| <b>ФИО</b>                     | <b>Организация</b>                |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Акимкин Виталий Викторович     | ИНАСАН                            |
| Алакоз Алексей Валерьевич      | АКЦ ФИАН                          |
| Ачарова Ирина Александровна    | ЮФУ                               |
| Ашимбаева Нурия Туткабаевна    | ГАИШ МГУ                          |
| Балашев Сергей Александрович   | ФТИ им. А.Ф. Иоффе                |
| Бартая Нодари Вахтангович      | ЧелГУ                             |
| Белов Сергей Александрович     | СФ ФИАН                           |
| Боли Пол Эндрю                 | МФТИ                              |
| Борщёва Екатерина Владимировна | ИНАСАН                            |
| Бочкарев Николай Геннадиевич   | ГАИШ МГУ                          |
| Васильев Евгений Олегович      | ЮФУ                               |
| Васильева Мария Алексеевна     | УрФУ                              |
| Васюнин Антон Иванович         | Уральский федеральный университет |
| Вибе Дмитрий Зигфридович       | Институт астрономии РАН           |
| Воробьев Эдуард Игоревич       | Южный федеральный университет     |
| Галазутдинов Газинур Анварович | КРАО ОАН                          |
| Гималиева Алина Дамировна      | УрФУ                              |
| Годенко Егор Алексеевич        | ИКИ РАН                           |
| Гринин Владимир Павлович       | ГАО РАН                           |
| Дроздов Сергей Александрович   | АКЦ ФИАН                          |
| Еретнова Ольга Викторовна      | ЧелГУ                             |
| Ермилов Егор Павлович          | Самарский НИУ                     |
| Жилкин Андрей Георгиевич       | ИНАСАН                            |
| Журавлев Вячеслав Вячеславович | ГАИШ МГУ                          |
| Замоздра Сергей Николаевич     | ЧелГУ                             |
| Землянуха Петр Михайлович      | ИПФ РАН                           |
| Зинченко Игорь Иванович        | ИПФ РАН                           |
| Ильин Владимир Борисович       | СПбГУ                             |
| Кайгородов Павел Вячеславович  | ИНАСАН                            |
| Каленский Сергей Владимирович  | АКЦ ФИАН                          |

| <b>ФИО</b>                        | <b>Организация</b>             |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Калинина Наталия Дмитриевна       | УрФУ                           |
| Каргальцева Наталья Сергеевна     | ЧелГУ, УрФУ                    |
| Карташова Анна Петровна           | ИНАСАН                         |
| Кирсанова Мария Сергеевна         | ИНАСАН, МФТИ                   |
| Клименко Вячеслав Витальевич      | ФТИ им. А.Ф. Иоффе             |
| Коваленко Илья Геннадьевич        | ВолГУ                          |
| Королёв Виталий Владимирович      | ВолГУ                          |
| Коротаева Марина Георгиевна       | УрФУ                           |
| Косенко Дарья Николаевна          | ФТИ им. А.Ф. Иоффе             |
| Курбатов Евгений Павлович         | ИНАСАН                         |
| Ламзин Сергей Анатольевич         | ГАИШ МГУ                       |
| Маевский Евгений Валерьевич       | НИУ ВШЭ, ИКИ РАН               |
| Максимова Ломара Аслановна        | ИНАСАН                         |
| Михайлов Евгений Александрович    | ФИАН, МГУ имени М.В.Ломоносова |
| Моисеев Алексей Валерьевич        | САО РАН                        |
| Молевич Нонна Евгеньевна          | СФ ФИАН, Самарский университет |
| Молярова Тамара Сергеевна         | ИНАСАН                         |
| Мурга Мария Сергеевна             | ИНАСАН                         |
| Муха Виктория Андреевна           | МФТИ                           |
| Нестеренок Александр Владимирович | ФТИ им. А.Ф. Иоффе             |
| Никонова Надежда Сергеевна        | МФТИ                           |
| Новиков Игорь Дмитриевич          | АКЦ ФИАН                       |
| Охандеров Иван Николаевич         | ИПФ РАН                        |
| Павлюченков Ярослав Николаевич    | ИНАСАН                         |
| Пазухин Андрей Геннадьевич        | ИПФ РАН                        |
| Пирогов Лев Евгеньевич            | ИПФ РАН                        |
| Плаkitина Каролина Владимировна   | ИНАСАН                         |
| Помельников Иван Александрович    | Самарский НИУ                  |
| Потравнов Илья Сергеевич          | ИСЗФ СО РАН                    |
| Пунанова Анна Федоровна           | УрФУ                           |
| Рябухина Ольга Леонидовна         | ИНАСАН                         |
| Рящиков Дмитрий Сергеевич         | СФ ФИАН                        |
| Салий Светлана Викторовна         | УрФУ                           |

| <b>ФИО</b>                        | <b>Организация</b>            |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Сафронов Борис Сергеевич          | ГАИШ МГУ                      |
| Семенцов Валериан Никитич         | ГАИШ МГУ                      |
| Сивкова Евгения Эдуардовна        | ИНАСАН                        |
| Скляревский Александр Михайлович  | Южный Федеральный Университет |
| Смирнова Ксения Ильдаровна        | УрФУ                          |
| Соболев Андрей Михайлович         | КАО УрФУ                      |
| Соколов Дмитрий Дмитриевич        | МГУ, ИЗМИРАН                  |
| Соколова Валерия Алексеевна       | УрФУ                          |
| Сыпкова Анастасия Михайловна      | СПбГУ                         |
| Теликова Ксения Николаевна        | ФТИ им. А.Ф. Иоффе            |
| Топчиева Анастасия Павловна       | ИНАСАН                        |
| Хайбрахманов Сергей Александрович | УрФУ, ЧелГУ                   |
| Хасаева Татьяна Тимуровна         | МГУ имени М.В. Ломоносова     |
| Хоперсков Сергей Александрович    | ИНАСАН                        |
| Цвикки Лис Николаевич             | УрФУ                          |
| Шахворостова Надежда Николаевна   | АКЦ ФИАН                      |
| Шукуров Анвар Мухаматович         | Университет Ньюкасла          |
| Щекинов Юрий Адреевич             | ФИАН                          |

# **Тезисы докладов**



СА Балашев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)  
КН Теликова (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)  
П Нотердам (Институт астрофизики Парижа)

### Отношение $CII^*/CII$ в среде с низкой металличностью

Доклад посвящен измерениям отношения  $CII^*/CII$  и темпа охлаждения в линии  $[CII]158$  мкм в демпфированных лайман-альфа (DLA) системах с большими красными смещениями. Мы показали, что наблюдаемая бимодальность темпа охлаждения в линии  $[CII]$  естественным образом объясняется разделением нейтральной среды на тёплую и холодную фазу, не привлекая идею о бимодальности темпов звездообразования, использованную ранее. Предполагая реалистичные распределения физических параметров для расчета фазовых диаграмм, мы также качественно воспроизвели зависимость от металличности наблюдаемой бимодальности. Важно заметить, что DLA с большими красными смещениями в основном ассоциированы с газом низкой металличности ( $Z \leq 0.1 Z_{\odot}$ ), в котором нагрев определяется космическими лучами (и/или турбулентностью), а не фотоэлектрическим эффектом. Следовательно, даже если газ в DLA преимущественно находится в холодной фазе (для которого охлаждение определяется  $[CII]$ ), измерения  $CII^*$  можно использовать для определения скорости ионизации космическими лучами (и/или турбулентного нагрева), а не УФ-поля, как считалось ранее.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-12-00301.

**ЕВ Борщёва (ИНАСАН)**

**ДЗ Вибе (ИНАСАН)**

**Вспышки светимости в протопланетных дисках:  
трехфазная астрохимическая модель**

Рассмотрено влияние многослойной структуры ледяных мантий космических пылинок на химические процессы, происходящие в мантиях до, во время и после вспышек светимости в протопланетных дисках. Показано, что введение многослойной структуры мантий позволяет добиться близких к наблюдаемым концентраций основных углеродсодержащих компонентов ледяных мантий (моно- и диоксида углерода, метанола) на стадии, предшествующей формированию диска, а также обуславливает более высокие содержания адсорбированных компонентов. После образования диска учет особенностей химических процессов в различных слоях мантии оказывается существенным всюду, кроме наиболее близких к звезде областей диска. В частности, в трехфазной модели (газ, поверхность ледяной мантии, толща мантии) по сравнению с двухфазной моделью (газ, ледяная мантия без различения поверхностных и глубинных слоев) увеличивается количество потенциальных индикаторов вспышки, сохраняющих нетипичные для спокойной довспышечной стадии содержания на протяжении сотен лет после окончания вспышки. Единственным соединением, которое чувствительно к вспышке в двухфазной модели и нечувствительно к ней в трехфазной модели, оказывается адсорбированный формамид.

**ЕО Васильев (ЮФУ, АКЦ, ИНАСАН)**

**СА Дроздов (АКЦ)**

**ББ Натх (RRI)**

**ЮА Щекинов (АКЦ)**

### **Темп звездообразования для образования галактических ветров**

В центральных областях галактик со звездообразованием часто наблюдаются крупномасштабные структуры подобные галактическим ветрам, простирающиеся до десятков килопарсек над плоскостью галактики. В работе численно рассматриваются условия образования и динамика этих структур. Найдено, что при темпе звездообразования порядка  $0.1 M_{\odot}/\text{год}$  в центральной области галактики вертикальные структуры достигают нескольких килопарсек. Обнаружено, что поверхностная рентгеновская яркость крупномасштабных структур не зависит от темпа звездообразования и оказывается порядка  $10^{-15}$  эрг  $\text{с}^{-1}$   $\text{см}^{-2}$   $\text{угл мин}^{-2}$  в диапазоне 0.7-1.2 кэВ. Полная светимость в рентгеновском диапазоне слабо меняется в течение 10-20 млн. лет после окончания вспышки звездообразования, составляет  $\sim 10^{36}$ - $10^{37}$  эрг/с для темпа  $0.1 M_{\odot}/\text{год}$  и возрастает с увеличением скорости звездообразования. Определено значение темпа звездообразования, необходимого для формирования рентгеновских пузырей, подобных обнаруженным телескопом SRG/eROSITA в нашей Галактике. Обсуждаются характеристики крупномасштабных рентгеновских структур в видимых с ребра галактиках в локальной Вселенной и возможности их наблюдения в других спектральных диапазонах.

**АИ Васюнин (Уральский федеральный университет)  
А Ивлев (Институт внеземной физики общества Макса Планка)  
Н Сатонкин (Уральский федеральный университет)  
П Каселли (Институт внеземной физики общества Макса Планка)**

**Химическая эволюция ледяных мантий межзвездных пылевых частиц  
под воздействием космических лучей**

В докладе будут обсуждаться химические процессы, индуцируемые в ледяных мантиях межзвездных пылевых частиц космическими лучами. Будет представлена микроскопическая модель химической эволюции вдоль траектории прохождения частицы космических лучей через ледяную мантию. Будет обсуждаться вклад нового механизма в формирование в ледяных мантиях сложных органических молекул, а также возможность обнаружения последних при помощи нового космического телескопа JWST.

**ДЗ Вибе (Институт астрономии РАН)**

**А Татарников (ГАИШ МГУ)**

**Т Ситник (ГАИШ МГУ)**

**Т Лозинская (ГАИШ МГУ)**

**АП Топчиева (ИНАСАН)**

**Излучение молекулярного водорода в окрестности  
звездного скопления vdB 130**

В докладе будут представлены результаты наблюдений окрестностей молодого звездного скопления vdB 130 в излучении молекулярного водорода и их анализ. Рассматривается связь излучения молекулярного водорода на длине волны 2.12 мкм с данными наблюдений излучения в линиях H $\alpha$  и [SII], а также в фильтре телескопа Спитцер на 8 мкм. Обсуждаются возможные механизмы возбуждения излучения H $_2$  и их связь со сценарием звездообразования для окрестностей скопления vdB 130.

**ЭИ Воробьев (Южный федеральный университет)  
А Складневский (ЮФУ)  
В Элбакян (ЮФУ)**

**Вспышки светимости у звезд до главной последовательности.  
Можно ли определить их спусковой механизм?**

Известно, что процесс звездообразования может сопровождаться всплесками светимости, известными как вспышки звезд типа FU Ориона (фуоры), во время которых светимость молодых звезд увеличивается от десятков до сотен раз. Эти энергетические события, вероятно, вызваны резким повышением темпа аккреции вещества из протозвездного диска на протозвезду. Основные физические механизмы, вызывающие вспышки аккреции и светимости можно разделить на две категории: развитие неустойчивостей различного типа в протозвездном диске или возмущение диска в результате взаимодействия со внешней средой. Однако определение точной причины вспышек по данным наблюдений остается до сих пор неразрешенной задачей. С использованием численного гидродинамического моделирования выполнено сравнение несколько механизмов вспышек звезд типа FU Ориона и показано, что кинематические и морфологические особенности диска могут в принципе быть использованы для распознавания ответственного за вспышку механизма. Будут представлены синтетические изображения дисков в рассеянном и тепловом излучении пыли, а также выполнено сравнение пиковой светимости и продолжительности модельных вспышек с наблюдаемыми характеристиками фуоров.

**ВП Гринин (ГАО РАН)  
ОЮ Барсунова  
СГ Сергеев  
СЮ Шугаров  
НВ Ефимова**

**Наблюдение сдвига фазы периодических колебаний блеска  
звезды типа AA Tau V715 Per**

Результаты многолетнего (17 лет) фотометрического (VRI) мониторинга звезды типа Т Тельца V715 Per показали, что ее блеск испытывает периодические колебания с периодом 5.23 дня, обусловленные предположительно наклоном магнитосферы звезды относительно оси ее вращения. Такой тип переменности впервые наблюдался у звезды AA Tau (Bouvier et al. 1999) и, как показали последующие исследования, присутствует у многих звезд типа Т Тельца. Причиной периодической модуляции блеска таких звезд является экранирование их излучения возмущенной внутренней областью околозвездного диска.

Наши наблюдения показали, что амплитуда колебаний блеска V715 Per медленно нарастала в течение примерно 13 лет. При этом фаза колебаний оставалась неизменной. В течение последних четырех лет мы наблюдали медленное смещение фазы колебаний и сейчас она сместилась уже примерно на 0.5 периода. Если модель переменности типа AA Tau справедлива применительно к V715 Per, то смещение фазы колебаний блеска звезды свидетельствует о медленном смещении оси магнитного диполя по азимуту относительно оси вращения звезды. Представляет интерес рассмотреть динамику такого процесса методами магнитной гидродинамики.

СА Дроздов (АКЦ ФИАН)  
ЕО Васильев (ЮФУ)  
ЮА Щекинов (АКЦ ФИАН)

#### **Эмиссия пыли в областях звездообразования**

В Галактике наблюдается большое количество областей звездообразования (ОВ-ассоциаций). В работе проведено трехмерное гидродинамическое моделирование эволюции газа в областях звездообразования. Выполнены расчёты ИК эмиссии пыли, находящейся за фронтами ударных волн и в поле излучения массивных звёзд. Обсуждается эволюционная связь между эмиссией горячей пыли и функцией масс ОВ-ассоциаций. Обсуждаются особенности эмиссии пыли за фронтами ударных волн.



**ОВ Еретнова (Челябинский государственный университет)**

### **Частота падений метеоритов и болидов**

В докладе освещаются результаты статистических исследований падений метеоритов и болидов, проведенных под руководством Дудорова А.Е. Представлено распределение по массам 938 метеоритов, падения которых зарегистрированы с 1860 по 2018 годы. Распределение метеоритов по массам аппроксимировано логнормальным законом. Средний интервал между зарегистрированными падениями метеоритов, подобных метеориту Chelyabinsk, составляет ~ 25 лет. Автокорреляционным методом обнаружена 10–11-летняя периодичность числа падений у группы Н-хондритов, железных и железокатенных метеоритов на интервале с 1860 по 1960 год, а также слабая корреляция между максимумами числа падений метеоритов и минимумами солнечной активности. Распределения числа падений метеоритов по годам, месяцам и времени суток сопоставлены с аналогичными распределениями для 836 болидов, зарегистрированных с 1995 по 2020 г. Распределение болидов по годам позволяет предположить наличие 10–11-летней цикличности.

**АГ Жилкин (ИНАСАН)**

**Через тернии к протозвездам: об извилистом пути  
научной группы А.Е. Дудорова**

Представлен небольшой обзор основных работ научной группы под руководством А.Е. Дудорова. Группа была создана в начале 1990-х годов на базе кафедры теоретической физики Челябинского государственного университета. С этого времени регулярно действует и Астрофизический семинар. Тематика работ, в основном, касалась следующих вопросов: межзвездная среда, звездообразование, молодые звезды, протопланетные диски, численное моделирование. Более подробно в обзоре обсуждаются задачи численного моделирования коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков.

**ВВ Журавлев (ГАИШ МГУ)**

**Взрывная неустойчивость газопылевой смеси в протопланетных дисках с оседающей пылью**

Оседание пыли к экваториальной плоскости молодого протопланетного диска приводит к существованию моды локальных малых газопылевых возмущений с отрицательной энергией. Спаривание простейшего варианта такой моды - волны пылевых сгущений (ВПС) - с инерционной волной (ИВ) в газе вызывает уже известную линейную неустойчивость газопылевой среды резонансного характера. В новой работе показано, что ИВ конечной амплитуды, развившиеся за счет указанной линейной неустойчивости, могут вступать в трех-волновой нелинейный резонанс с пробными ВПС малой амплитуды, имеющими длину волны, равную половине отношения локальной скорости оседания пыли к эпициклической частоте. Такой трех-волновой резонанс приводит к взрывному росту амплитуд всех трех волн, поскольку ВПС обладает отрицательной энергией. Произведена аналитическая оценка времени взрывного роста волн и показано, что оно может быть меньше кеплеровского времени в диске. Взрывная неустойчивость газопылевой смеси может способствовать сгущиванию пыли в протопланетных дисках, меняя их структуру и непрозрачность, а также приводить к образованию планетезималей. Необходимо отметить, что известный радиальный снос экваториального пылевого слоя, который подвержен газопылевой неустойчивости Юдина-Гудмана 2005 года, должен быть устойчив по отношению к возможным трех-волновым резонансам, поскольку в нем отсутствует ВПС с отрицательной энергией.

**ПМ Землянуха (ИПФ РАН)**

**Е Домбек (ИПФ РАН)**

**ИИ Зинченко (ИПФ РАН)**

**ЛЕ Пирогов (ИПФ РАН)**

**А Топчиева (ИНАСАН)**

**G Joncas (Centre de Recherche en Astrophysique du Québec),**

**D Lokesh (Physical Research Laboratory, Navrangpura)**

### **Анатомия оболочки зоны S187**

В докладе представлен анализ структуры оболочки HII зоны S187. Выявлена сильная фрагментированность атомарной оболочки. Соотношение масса-размер для фрагментов предполагает, что они являются продуктом диссоциации дозвездных молекулярных конденсаций массой до 2 солнечных. Масса оболочки оценивается в  $113 \pm 34$  масс Солнца, что значительно превосходит оценки массы атомарной фракции для классических моделей областей HII, не предполагающих такой фрагментированности газа. Рассматривается влияние HII зоны на молекулярные ядра.

**ИИ Зинченко (ИПФ РА)**

**Протозвездные джеты и истечения**

абстракта нет

**ВБ Ильин (СПбГУ)**

**ВМ Кочеткова (СПбГУ)**

**Поляризация излучения оболочек AGB-звезд и размер образующихся пылевых частиц**

Обсуждаются результаты недавних поляризационных наблюдений оболочек нескольких AGB-звезд и красных сверхгигантов, выполненных на VLT+SPHERE+ZIMPOL и показавших преимущественно трансверсальную к направлению на звезду линейную поляризацию со степенью  $\sim 10\%$ . Изучены особенности рассеяния света в таких оболочках с учетом эффектов формы и структуры околзвездных пылинок, их распределения по размерам и ориентации, а также конечной оптической толщины оболочек. Определены условия появления трансверсальной поляризации с указанной степенью, основное из которых заключается в том, что размеры пылинок должны быть менее 0.2-0.3 мкм (но более  $\sim 0.1$  мкм).

**МС Кирсанова (ИНАСАН, МФТИ)**

**АД Гималиева (УрФУ)**

**СВ Салий (УрФУ)**

**СВ Каленский (АКЦ ФИАН)**

**АП Топчиева (ИНАСАН)**

### **Наблюдения радиолиний молекул в направлении звезды V645 Cyg**

В докладе представлены результаты наблюдений радиолиний молекул в направлении звезды типа Ae/Be Хербига V645 Cyg. Получены карты распределения радио яркости в линиях молекул CO, CS, N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>, CH<sub>3</sub>OH и др., а также спектры этих и других молекул с высоким отношением сигнал/шум в направлении на саму звезду. Проведен анализ линий излучения молекул, получены физические параметры молекулярного газа.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-72-10132.

НС Каргальцева (ЧелГУ; УрФУ)  
СА Хайбрахманов (ЧелГУ; УрФУ)  
АЕ Дудоров (ЧелГУ; УрФУ)  
СН Замоздра С.Н. (ЧелГУ)  
АГ Жилкин (ИНАСАН)

**Численное двумерное МГД-моделирование коллапса магнитных  
вращающихся протозвездных облаков**

Представлены результаты численного моделирования начальных стадий коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков массой  $1 M_{\odot}$  и  $10 M_{\odot}$ . Моделирование выполняется с помощью двумерного кода Enlil, основанного на квази-монотонной TVD-схеме высокого порядка точности. Данный код разработан для моделирования двумерных магнитогидродинамических (МГД) осесимметричных астрофизических течений. Моделирование проводится для различных начальных параметров и распределений плотности облака. Проводится анализ иерархической структуры коллапсирующего облака, состоящей из уплотненной оболочки, квази-магнитостатического первичного диска и первого гидростатического ядра. Обсуждаются возможные наблюдательные проявления внутренней иерархии облака с точки зрения распределения углового момента и геометрии магнитного поля. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-72-10012).



**ИГ Коваленко (ВолГУ)**  
**ВВ Королев (ВолГУ)**  
**МА Безбородов (ВолГУ)**  
**МА Еремин (ВолГУ)**

**Газопылевые структуры в окрестности рукавов спиральных галактик**

абстракта нет

**ВВ Королёв (ВолГУ)**  
**ИГ Коваленко (ВолГУ)**  
**ЕВ Жукова (ВолГУ)**  
**МА Безбородов (ВолГУ)**  
**ИА Риль (ВолГУ)**

**Моделирование трансзвуковой турбулентности  
в конвективно-неустойчивом облаке**

Как показывают наблюдения, межзвёздная газопылевая среда сильно турбулизована. Однако в вопросе о физических механизмах, ответственных за возникновение и поддержание турбулентности, до сих пор нет полной ясности. Мы представляем результаты численного моделирования конвективно неустойчивых газопылевых облаков, поддерживаемых в стратифицированном состоянии внутренними источниками излучения (звёздами) и самогравитацией. На основе двухмерной самосогласованной оптико-газодинамической модели газопылевого облака исследовано формирование зоны конвекции в инверсном слое и дальнейшее развитие трансзвуковой турбулентности по всему объёму облака: характерные масштабы вихрей составляют  $\sim (0.05-0.1)\lambda_J$ , а скорость газа достигает значений  $\sim 600$  м/с. Однако числа Маха не превышают  $1.2$ , а объём, занимаемый сверхзвуковой частью течения, остается незначительным.

**ЕВ Маевский (НИУ ВШЭ, ИКИ РАН)**

**ХВ Малова**

**ДД Соколов**

**ВЮ Попов**

**ЕВ Юшков**

### **Динамо-волны и звездные токовые слои**

Исследуется взаимосвязь между динамо-волнами с различными направлениями распространения, установившимся периодическим магнитным полем звезды и коническими токовыми слоями во внешней области. Динамо-волны порождают на внутренней сфере периодические магнитные поля различного мультипольного состава. Далее, при прохождении магнитного поля через переходную диффузионную область, имеющую форму шарового слоя, его мультипольный состав изменяется. Во внешней области мультипольный состав магнитного поля практически не зависит от расстояния и появляются конические токовые слои аналогично тому, как это происходит для Солнца.

**ЕА Михайлов (ФИАН имени П.Н.Лебедева/МГУ имени М.В.Ломоносова)  
МГ Сердюков (МГУ имени М.В.Ломоносова)**

**Галактическое динамо с потоками спиральности  
при интенсивном звездообразовании**

Надежно установлено, что ряд галактик обладают магнитными полями, имеющими величину в несколько микрогаусс [1]. Их генерация, как правило, объясняется действием механизма динамо. Большинство моделей динамо используют усредненные параметры межзвездной среды, которые определяют возможность роста поля (или напротив, его затухание). В том случае, если в галактике присутствует интенсивное звездообразование, необходимо учитывать возмущения данных параметров. Ранее этот вопрос был исследован для простых моделей магнитного поля [2, 3]. Между тем, в подобных задачах особенно важно учитывать потоки спиральности, которые влияют на характер турбулентных движений. Мы исследовали модель с учетом потоков спиральности, в рамках которой часть из коэффициентов имеют случайные флуктуации (их величина соответствует интенсивности звездообразования), и изучили вопрос о том, как звездообразование меняет характер эволюции магнитного поля. Данные результаты в целом согласуются с результатами, полученными как в более простых моделях со случайными коэффициентами, так и с детерминированной моделью с учетом потоков спиральности [4]. Показано, что интенсивное звездообразование замедляет рост регулярной составляющей магнитного поля, а в отдельных случаях может привести к его разрушению.

**Литература**

1. Beck R., Brandenburg A., Moss D. et al. // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. - 1996. - Vol. 34. - P.155 – 206.
2. Михайлов Е. А., Пушкарев В. В. // Астрофизический бюллетень. — 2018. — Т. 73, № 4. — С. 451–456.
3. Грачев Д. А., Елистратов С. А., Михайлов Е. А. // Вычислительные методы и программирование. — 2019. — Т. 20, № 2. — С. 88–96
4. Михайлов Е. А. // Письма в Астрономический журнал. — 2014. — Т. 40, № 7. — С. 445–453.

**АВ Моисеев (САО РАН)**

**Картирование ионизованной межзвездной среды на MaNGaL'e**

Фотометр с перестраиваемым фильтром MaNGaL (MApper of Narrow GALaxy Lines) применяется на 1-м телескопе САО РАН и 2.5-м телескопе ГАИШ МГУ для построения изображений в оптических эмиссионных линиях ионизованного газа. Использование в MaNGaL сканирующего интерферометра Фабри-Перо с шириной полосы пропускания около 1.3 нм позволяет отдельно изучать близкие по длинам волн линии, важные для диагностики состояния газа (H-alpha и [NII], компоненты дублета [SII]6717,6731), а также добиваться значительно лучшего качества вычитания подстилающего континуума, сравнительно с классической фотометрией в узко- и среднеполосных фильтрах. Представлен обзор результатов по изучению межзвездной среды Млечного Пути и других галактик, полученных с помощью MaNGaL: восстановление пространственной структуры областей HII, картирование галактических истечений и конусов ионизации вблизи активных галактических ядер, исследование причин ионизации газа в дисках линзовидных и взаимодействующих галактик, поиск туманностей, связанных с массивными звездами и т.д.

**НЕ Молевич (СФ ФИАН, Самарский университет)  
ДС Рящиков (СФ ФИАН, Самарский университет)  
ДИ Завершинский (СФ ФИАН, Самарский университет)**

**Газодинамические структуры формируемые в областях изоэнтропической неустойчивости тепловыделяющих сред**

В данной работе мы аналитически и численно исследуем типы стационарных газодинамических волн, образующихся в тепловыделяющих средах с изоэнтропической (акустической) неустойчивостью. Используются уравнения газовой динамики, в которых процессы нагрева и охлаждения учитываются с помощью обобщенной функции тепловыделения. В изоэнтропически неустойчивой среде показано, что тип структур зависит от того, распространяются ли они быстрее или медленнее критической скорости  $W_{cr}$ . Если  $W > W_{cr}$ , то образуется ударная волна, в которой после сильного сжатия в ударной волне газ расширяется до стационарного значения. Характерный размер области расширения зависит от характерного времени нагрева, которое определяется конкретным видом функции тепловыделения. Если  $W < W_{cr}$ , ударная волна оказывается неустойчивой и распадается на последовательность автоволновых (самоподдерживающихся) импульсов сжатия. Амплитуда и скорость ( $W = W_{cr}$ ) этих структур найдены аналитически в статье и также определяются типом функции тепловыделения. Эти же структуры формируются из первоначально локализованного возмущения. Проведено 1D и 2D моделирование формирования структур из шумового поля. Приведен пример расчета автоволновых структур сжатия для атомарной зоны фотодиссоциационной области.

**МС Мурга (ИНАСАН)**

**АИ Васюнин (Уральский Федеральный университет им. Б. Н. Ельцина)**

**МС Кирсанова (ИНАСАН, МФТИ)**

**Роль пыли из аморфного углерода в образовании малоатомных углеводородов**

В работе изучается роль пыли из гидрогенизированного аморфного углерода (ГАУ) в образовании малоатомных углеводородов в областях фотодиссоциации. Проведено моделирование эволюции ГАУ в условиях двух ФДО, Пояс Ориона и Конская Голова, которые представляют собой типичные примеры областей с полем излучения высокой и низкой интенсивности. Мы уделяем особое внимание процессам диссоциации углеродного скелета и изменению уровня гидрогенизации пылинок. Основными фрагментами диссоциации, рассматриваемыми в работе, являются  $H_2$ ,  $CN_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_4$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_3H_8$ . Мы оценили темпы производства фрагментов в химической модели газофазных реакций и сравнили их с теми же темпами, получаемыми из модели эволюции ГАУ. Обнаружено, что темпы, полученные из модели эволюции ГАУ, могут доминировать при определенных условиях, но, вклад полученных фрагментов в химический состав среды недостаточен для увеличения содержаний малоатомных углеводородов до наблюдаемых значений. Однако, стоит отметить, что в ФДО Пояс Ориона моделируемое содержание увеличивается на несколько порядков на  $A_V=0.1$  при добавлении фрагментов, получаемых при разрушении ГАУ. По результатам наших вычислений мы делаем вывод, что ГАУ не могут быть значимым источником малоатомных углеводородов в ФДО. Более того, при определенных условиях включение процессов эволюции ГАУ в химическую модель может замедлять образование этих углеводородов из-за значительной аккреции углерода на поверхность пылинок и образовании аморфной мантии.

**ЛЕ Пирогов (Институт прикладной физики, Нижний Новгород научный)**

**Кинематика и структура волокон, связанных с областями массивного звездообразования**

Как наблюдения Herschel, так и наземные наблюдения в континууме и в молекулярных линиях показывают, что межзвездные газопылевые облака состоят из волокон и нитей, масштабы которых могут составлять десятки парсек и выше. Массивные и протяженные волокна содержат в себе плотные ядра, связанные с областями образования звезд большой массы и звездных скоплений. Исследования кинематики и структуры таких волокон необходимы для понимания причин формирования ядер и происходящих в них процессов. На протяжении последних лет с помощью телескопа OSO-20m нами проведены наблюдения нескольких протяженных волокон, в которых есть ядра, связанные с областями массивного звездообразования. Наблюдения проводились в линиях изотопов молекулы CO и в линии CS(2-1). В докладе приводятся результаты анализа этих данных, а также данных из архивов FUGIN и Herschel. Приводятся результаты исследований кинематики газа, оцениваются градиенты скорости в волокнах и, в частности, вблизи звездообразующих ядер. Рассматривается, как полученные результаты могут быть связаны с различными сценариями звездообразования в волокнах.



ИС Потравнов (ИСЗФ СО РАН)

**BP Psc: активная звезда типа Т Тельца на экстремально высокой галактической широте?**

Звезда BP Psc располагается на высокой галактической широте  $b = -57$  deg., в значительном удалении от известных областей звездообразования. Она окружена оптически толстым газо-пылевым диском, наблюдаемым почти с ребра, и демонстрирует выраженные признаки околозвездной активности. Тем не менее, ввиду неоднозначности наблюдательных характеристик BP Psc, они с оговорками могут быть интерпретированы в рамках двух существенно различных эволюционных сценариев: а) молодой звезды типа Т Тельца и б) гиганта, покинувшего Главную Последовательность и находящегося в стадии разрушения своей планетной системы. В докладе будут представлены результаты исследования фотополариметрической и спектральной переменности BP Psc, свидетельствующие в пользу “молодого” сценария.

**ОЛ Рябухина (ИНАСАН)  
МС Кирсанова (ИНАСАН, МФТИ)  
ДЗ Вибе (ИНАСАН)**

### **Химический возраст плотных сгустков волокна WB 673**

Молекулярные облака в областях звездообразования имеют форму волокон. Распределение плотности в волокнах неоднородно, в плотных сгустках происходит образование звезд. Одна из моделей образования волокон говорит о том, что их появление происходит после многократного обжатия межзвездного газа расширяющимися оболочками: областями HII и сверхновыми. Значительная часть массивных протозвезд наблюдается вблизи областей HII. В работе исследовано волокно WB 673, которое расположено в гигантском молекулярном облаке G174+2.5. В волокне есть несколько плотных сгустков (G173.57+2.43, S233-IR, WB673, WB668), в которых наблюдаются протозвезды разных масс и на разных стадиях эволюции. Цель работы -- оценить возраст этих сгустков по методу «химических часов» и оценить темп звездообразования в них. Для определения эволюционного статуса сгустков была использована модель химической эволюции PRESTA. Модель требует знания физических параметров облака. Температура и плотность газа были получены с помощью спектров аммиака в переходах (1,1) и (2,2), полученных на 100-м телескопе Эффельсберг. Для сравнения модели с наблюдательными данными были привлечены данные о содержании молекул CO, CS, HCN, HNC, N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> в сгустках. Проведено моделирование физической структуры и молекулярного состава областей звездообразования для широкого набора начальных температур и плотностей в молекулярных облаках. Проведен сравнительный анализ сгустков на периферии и внутренней части волокна. Показано, что химический возраст составляет ~ 300 000 лет для всех сгустков, что согласуется с предположением о том, что они образовались одновременно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта No 20-32-90102

**ЕЭ Сивкова (ИНАСАН)**

**ДЗ Вибе (ИНАСАН)**

**МС Мурга (ИНАСАН)**

**Разрушение пыли на больших галактических высотах**

Рассматривается возможность дробления пылевых частиц, выметаемых давлением излучения звезд в окологалактическое пространство вследствие относительного движения пылинок различных размеров и химического состава. Расширена ранее разработанная модель движения пылинок различных размеров в Галактике под действием сил давления излучения, гравитации и сопротивления газа с учетом процессов разрушения. Рассматривается возможность выметания пыли с учетом ее столкновений с газом Галактики и с другими пылинками, а также уточняется диапазон размеров частиц, которые могут попасть в межгалактическое пространство благодаря описываемому механизму.

**АМ Скляревский (Южный Федеральный Университет)  
Э Воробьёв (ЮФУ, Венский университет)**

### **Эволюция пыли в протопланетных дисках вокруг вспышечных звезд**

Одними из самых интересных объектов при изучении протопланетных дисков являются фуоры. Объекты этого типа характеризуются резким повышением светимости (вспышкой) центральной звезды в десятки и даже сотни раз на временах порядка 100 лет. Существуют наблюдения фуоров, находящихся во вспышечной стадии. Однако до сих пор остаётся открытым вопрос о том, возможно ли понять, происходили ли вспышки в регулярных дисках в прошлом. В представляемой работе численно исследована эволюция объектов типа фуор непосредственно до, во время и после вспышки центральной звезды, окружённой протопланетными дисками, находящимися во внедренной фазе и в фазе Т-Тельца. Во время вспышки диски прогреваются, что приводит к изменениям как их физических характеристик, так и их химической структуры. Рассмотрены эффекты, оказываемые вспышкой на процессы роста и фрагментации пыли, а также оптические характеристики систем. Показано, что последствия вспышки могут быть заметны на временах до тысяч лет.

**АМ Соболев (КАО УрФУ)  
СЮ Парфенов (КАО УрФУ)**

**Быстрая переменность метанольных мазеров II класса как явление**

Будут рассмотрены наблюдательные проявления и теоретические основы транзиентных событий в излучении метанольных мазеров II класса, включая быстрые события, когда возможно проявление нестационарности процессов накачки.

Работа была поддержана грантом Минобрнауки 075-15-2020-780 (договор 780-10).

**ДД Соколов (МГУ, ИЗМИРАН)**

**Галактическое и мелкомасштабное динамо как возможные источники магнитного поля облаков**

В работах по генерации магнитных полей в межзвездной среде рассматриваются две реализации механизма динамо, которые принято называть динамо средних полей и мелкомасштабным динамо. В докладе рассматривается, насколько можно выделить вклады этих механизмов в генерацию магнитных полей облаков в межзвездной среде.

**СА Хайбрахманов (УрФУ, ЧелГУ)**

**СН Замоздра (ЧелГУ)**

**ОВ Еретнова (ЧелГУ)**

### **Александр Егорович Дудоров: жизнь и научная деятельность**

Доклад посвящен памяти доктора физико-математических наук профессора Александра Егоровича Дудорова (18.07.1946 – 03.03.2021). Освещаются основные этапы жизни и научной карьеры Александра Егоровича, его деятельность по организации и управлению кафедрой теоретической физики ЧелГУ, опыт преподавания физико-математических дисциплин и популяризации науки. Излагается теория остаточного магнитного поля, разрабатываемая Александром Егоровичем и его учениками на протяжении многих лет. Описываются приложения теории остаточного магнитного поля. Обсуждаются его исследования конвекции, турбулентности и различных типов неустойчивостей в межзвездной среде. Приводятся положения МГД-модели аккреционных дисков молодых звезд с остаточным крупномасштабным магнитным полем, разработанной Дудоровым и Хайбрахмановым. Представляются основные результаты всесторонних исследований суперболида и метеорита «Челябинск», проведенных под руководством Александра Егоровича. Резюмируется вклад Александра Егоровича в развитие астрофизики и классического университетского образования в России.

**СА Хайбрахманов (УрФУ, ЧелГУ)  
СН Замоздра (ЧелГУ)**

### **Иерархическая структура межзвездных молекулярных облаков**

На основе анализа наблюдательных данных обсуждаются свойства иерархической структуры межзвездных молекулярных облаков, связанных с областями звездообразования. Особое внимание уделяется статистическим корреляциям «дисперсия скоростей – размер», «магнитное поле – плотность», «угловая скорость – размер». Показывается, что магнитное поле играет определяющую роль в формировании иерархической последовательности – сверхоблака, комплексы молекулярных облаков, молекулярные облака, ядра (протозвездные облака). Свойства крупномасштабной турбулентности также определяются действием магнитного поля на различных уровнях иерархии. Обсуждаются результаты численного МГД-моделирования некоторых иерархических структур. Описывается сценарий происхождения и эволюции структур межзвездной среды в процессе развития неустойчивостей, молекуляризации газа и амбиполярной диффузии. Доклад основан на результатах исследований А.Е. Дудорова и его группы по иерархической структуре межзвездной среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-72-10012).



**ТТ Хасаева (МГУ имени М.В. Ломоносова)**

**ЕА Михайлов (МГУ имени М.В. Ломоносова, ФИАН имени П.Н. Лебедева)**

**Исследование устойчивости радиальных и азимутальных инверсий галактического магнитного поля**

Магнитные поля ряда галактик демонстрируют так называемые инверсии: резкую смену направления поля посредством узких переходных слоев. Вопрос их возникновения представляет большой интерес как с точки зрения астрономии, так и с позиции теории динамо и математической физики. Уравнения, описывающие эволюцию поля, являются нелинейными и содержат малый коэффициент турбулентной диффузии. Теория сингулярных возмущений, описывающая подобные системы, предсказывает возникновение контрастных структур, которые могут быть ассоциированы с инверсиями. Первые работы, описывающие поля с резкой сменой знака, предполагали возможность генерации инверсий азимутального типа: например, можно предполагать, что магнитное поле разного направления соответствует различным спиральным рукавам. Между тем, для Млечного Пути надежно установлено, что в нем имеют место две инверсии поля радиального типа. В настоящей работе мы исследуем вопрос о возникновении и эволюции инверсий как с помощью асимптотических приближений, так и с помощью методов численного моделирования. Ввиду больших объемов расчетов мы использовали параллельные вычисления на видеокартах. Было показано, что инверсии азимутального типа являются неустойчивыми, и достаточно быстро «размываются». В то же время, инверсии радиального типа устойчивы, и могут существовать в течение продолжительного времени.

**СА Хоперсков (ИНАСАН)**

**Образование азимутальных градиентов металличности  
в газе спиральных галактик**

Вариации химического состава МЗС предоставляют важную информацию об истории формирования галактик, звездообразования и обогащения. Современные наблюдения показывают, что в дисковых галактиках азимутальные вариации металличности вероятно связаны со спиральными рукавами. В этой работе, используя серию химико-динамических моделей спиральных галактик типа Млечный Путь, мы количественно оцениваем влияние ранее существовавшего радиального градиента металличности и местного обогащения МЗС как на систематические, так и на мелкомасштабные вариации металличности. В моделях мы обнаруживаем заметные вариации металличности в азимутальном направлении, где средняя амплитуда разброса составляет около 0.04-0.06 dex. В глобальном масштабе в моделях мы видим наличие спиралевидных вариаций металличности, подобных звездно-газовым спиральям. Однако систематические вариации металличности сдвинуты вниз по течению от среднего положения звездных спиралей на ~3-12 градусов. Мы демонстрируем, что это смещение спирального узора металличности коррелирует со скоростью вращения спиральных рукавов относительно вещества диска.

ЮА Щекинов (ФИАН)  
ЕО Васильев (ЮФУ, ФИАН, ИНАСАН)  
СА Дроздов (ФИАН)

### **О природе H-alpha эмиссии в промежуточных гало edge-on галактик**

Наблюдения edge-on галактик демонстрируют присутствие яркой диффузной эмиссии H-alpha за пределами межзвездных дисков на килопарсековых расстояниях. Такого же типа высокоширотная диффузная эмиссия видна и в нашей Галактике. Кажущееся очевидным предположение главенствующей роли "убегающих" из галактических дисков ионизирующих квантов лаймановского континуума, не объясняет всех особенностей излучающего газа и требует дополнительных источников его нагрева и ионизации. В докладе приводятся аргументы в пользу того, что основным источником энергии поддержания "H-alpha" газа за пределами дисков таких галактик являются сверхоболочки, окружающие гигантских остатков множественных вспышек сверхновых в пределах звездных дисков.