

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
имени П.К. Штернберга
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ
«Астрономическое Общество»**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ИДЕИ С.Б. ПИКЕЛЬНЕРА И С.А. КАПЛАНА
И СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИКА»
8–12 февраля 2021 г.**

**Сборник резюме докладов
Под редакцией проф. Н.Н. Самуся и В.Л. Штаерман**

МОСКВА, 2021

Устойчивость вязкой динамики в пылевых дисках вокруг молодых звезд
Т.Р. Абдульмянов
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

Рассматриваются механизмы звездообразования и формирования экваториального газопылевого диска протозвезд. Вязкая динамика межзвездного вещества газопылевых дисков определяется, в основном, возмущениями плотности вещества при аккреции газа на равновесное ядро протозвезды. При помощи модели пульсационных возмущений плотности газопылевой оболочки протозвезды и уравнения Навье–Стокса получены формулы динамической вязкости кеплеровых и почти кеплеровых дисков. Показано, что даже при сравнительно небольшой вязкости кеплеров диск (кольцо) за сравнительно короткое время (10^4 суток) теряет признаки кеплеровости и движение становится вихревым. При помощи численного интегрирования системы уравнения Навье–Стокса и уравнения неразрывности получены профили плотности экваториальных дисков протозвезд.

Нетепловые атмосферные потери для горячих экзопланет
А.А. Автаева^{1,2}, В.И. Шематович¹
¹Институт астрономии РАН, Москва
²Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоносова

Процессы диссоциации, такие как фотодиссоциация, диссоциация электронным ударом, диссоциативная ионизация и другие, являются основными источниками тепловых и надтепловых фрагментов молекул в состояниях электронного возбуждения в верхних атмосферах горячих экзопланет (Shematovich, Marov, 2018). Из лабораторных исследований известно, что избыточные кинетические энергии атомов водорода, образующихся при фото- и ударной электронной диссоциации и диссоциативной ионизации молекулярного водорода, характеризуются двумя пиками по энергии фрагментов – в области низких энергий 0–1 эВ (медленные продукты диссоциации) и в области относительно высоких энергий 4–6 эВ (быстрые продукты диссоциации). Соответственно, если атомы водорода образуются в процессах диссоциации с избытком кинетической энергии, то их распределение в переходной $H_2 \rightarrow H$ области верхней атмосферы горячей экзопланеты определяется из решения кинетического уравнения Больцмана с фотохимическим источником (Автаева, Шематович, 2020).

При помощи численной стохастической модели горячей планетной короны на примере горячего непуна GJ 436b исследованы на молекулярном уровне кинетика и перенос надтепловых атомов водорода в протяженной верхней атмосфере и рассчитан нетепловой поток убегания. Поток убегания оценен величиной $3.0 \times 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ для умеренного уровня звездной активности в УФ излучении, что позволяет получить верхнюю оценку скорости потери массы атмосферы за счет процессов диссоциации H_2 : $7.8 \times 10^8 \text{ г/с}$. Расчетная величина входит в интервал полученных из наблюдений оценок возможной скорости потери атмосферы экзопланеты GJ 436b в диапазоне $\sim (3.7 \times 10^6 - 1.1 \times 10^9) \text{ г/с}$. Данный источник надтепловых атомов водорода рекомендуется включить в современные аэрономические модели физических и химических процессов в верхних атмосферах горячих экзопланет.

Исследование выполнено в рамках проекта «Исследование звезд с экзопланетами» по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение № 075-15-2019-1875).

Переменность параметров Стокса мазерных источников в линиях ОН на волне 18 см

Н.Т.Ашимбаева¹, П.Колом², Е.Е.Лехт¹, М.И.Пащенко¹, А.М.Толмачев³

¹Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

²Медонская обсерватория, Медон, Франция

³Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

Представлены результаты мониторинга мазерного источника ОН в W75N в главной линии 1665 МГц. Наблюдения выполнены на радиотелескопе в Нансэ (Франция) в 2007–2020 годах. В этот период мазер имел высокий уровень активности. В процессе выполнения мониторинга были обнаружены временные вариации параметров Стокса для всех спектральных деталей (мазерных пятен) в диапазоне лучевых скоростей от –1 до 14 км/с. Обнаружены изменения позиционного угла и степени линейной поляризации большинства спектральных деталей, коррелированные с переменностью плотности потока. Проведено отождествление спектральных деталей с мазерными пятнами (мазерными конденсациями) на VLBA картах. Мы также показали, что сильная вспышка в направлении W75N произошла в источнике, связанным с Кеплеровским диском (VLA2). В течение этой вспышки у деталей со скоростями 1.75, 2.1 и 3.05 км/с наблюдались небольшие изменения позиционного угла и существенные изменения степени линейной и круговой поляризации. У детали 0.65 км/с наблюдались существенные изменения всех параметров излучения ОН.

Комплексные исследования свойств переменности сейфертовской радиогалактики Персей А в радио- и оптическом диапазоне в рамках латвийско-украинского проекта

***В. Безруков¹, М.И. Рябов², А.Л. Сухарев², С. Удовиченко³, И. Кудзей⁴,
П. Дубовский⁴, А. Орбиданс¹, И. Эглитис⁵***

¹*Международный Вентспилский Радиоастрономический Центр, Латвия*

²*Институт Радиоастрономии НАН Украины*

³*НИИ «Астрономическая обсерватория ОНУ имени И.И.Мечникова», Украина*

⁴*Вигорлатская астрономическая обсерватория, Словакия*

⁵*Астрономическая обсерватория Балдоне, Латвия*

При участии радиотелескопов РТ-32 и РТ-16 Международного Вентспилского Радиоастрономического Центра (Латвия), РТ-32 (Золочев, Украина) и оптических телескопов АЗТ-3 (обсерватория Маяки, Украина), 1-м VNT (Вигорлатская обсерватория, Словакия), 1.2-м телескопа Шмидта (обсерватория Балдоне, Латвия) исследуется необычно мощная, обладающая сложной структурой джетов линзовидная сейфертовская галактика Perseus A (3C 84, тип SyII). Кроме своей высокоамплитудной долговременной радио-переменности (обнаруженной по данным долговременного мониторинга в обсерватории UMRAO, USA на частотах 4.8, 8 и 14.5 GHz), этот объект, предположительно, обладает и прецессией джета, которая обеспечивает волнообразное поведение многолетней переменности. Это довольно необычные и редкие свойства для галактик типа SyII. Кроме того, данная галактика, возможно, обладает двойным ядром, где в качестве компаньона предполагается наличие второй черной дыры. Важно также, что эта галактика является центром скопления галактик, и она активно взаимодействует со своим ближайшим окружением. В настоящее время этот объект в плане представлений о проявлении его радио- и оптической переменности всё ещё является довольно малоизученным. Особый интерес представляют свойства его быстрой радио-оптической переменности (с характерными интервалами времени от нескольких часов до нескольких недель), отражающей кратковременные процессы в системе «аккреционный диск – джет» в условиях возможного наличия системы двойной черной дыры в его центре и наличия динамического взаимодействия с другими членами скопления. Радио- и оптические телескопы располагаются на близких долготах, что обеспечивает проведение квазиодновременных исследований короткопериодической переменности активных ядер галактик. С ноября 2020 по январь 2021 г. проведены первые наблюдения в радио- и оптическом диапазоне, среди которых 19–20 декабря 2020 года были одновременные наблюдения, которые позволили отработать методику получения данных и анализа наблюдений. Первые результаты показали наличие нерегулярных межсуточных вариаций плотности потока, а в некоторые дни наблюдаются близкие к циклическим внутрисуточные вариации. Данные о характерных временах этих вариаций будут уточняться в последующих наблюдениях. Кросс-корреляции между квазиодновременными наблюдениями с двух антенн, разнесённых приблизительно на 1000 км, показали наличие корреляций в диапазоне 0.6 – 0.8 в полосе периодов 3 – 6 часов, однако это требует уточнения по более длительным рядам одновременных наблюдений. Внешний вид оптических (*BVR*) кривых блеска и статистические тесты показывают наличие значимых изменений звёздной величины на протяжении октября – декабря 2020, а также линейные тренды в изменениях блеска за отдельные ночи наблюдений, но эти данные требуют дополнительного анализа.

Динамо во внешнем гелиошисе: проверка по имеющимся данным КА Вояджер-2
Е.С. Беленькая
Московский гос. университет им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики
имени Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ)

Возможный механизм работы динамо во внешнем гелиошисе (области между возможной ударной волной в межзвездной среде и гелиопаузой) был предложен для объяснения увеличения магнитного поля на северной гелиопаузе с 0,2 до 0,4 нТл без изменения его направления, наблюдаемого космическим аппаратом Вояджер-1 (Belenkaya E.S., *Solar Phys.* 2015, V. **290**, 7, P. 2077). Судя по результатам этой работы, такого же эффекта следует ожидать и при пересечении южной гелиопаузы Вояджером-2. В настоящей работе с этой точки зрения анализируются имеющиеся данные, полученные космическим аппаратом Вояджер-2. Оказалось, что Вояджер-2 измерил резкое увеличение магнитного поля на южной гелиопаузе от $\sim 0,5$ до $\sim 0,65$ нТл. Изменение направления магнитного поля было небольшим (в пределах 3°). Эти особенности магнитного поля аналогичны тем, которые обнаружил Вояджер-1, и их можно интерпретировать с помощью того же механизма.

Рассматриваемая задача усиления магнитного поля на гелиопаузе за счет действия динамо может быть актуальной и для усиления магнитного поля на границе астросферы (магнитосферы) быстро вращающейся намагниченной звезды (экзопланеты).

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант № 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039).

Вероятность выхода фотона в условиях звёздных атмосфер

О.М. Белова, К.В. Бычков

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

В рамках модели Бибермана–Соболева–Холстейна проведены численные расчёты вероятности выхода фотона из неподвижного однородного плоско-параллельного слоя, параметры которого соответствуют звёздным атмосферам. Вычисления выполнены для профилей Доплера, Лоренца, Фойгта и свёртки доплеровского и хольцмарковского контуров. В случае контуров Доплера, Лоренца, Хольцмарка расчёты сопоставлены с известными в литературе асимптотическими приближениями [1], а для контура Доплера также сопоставлены с аналитической аппроксимацией [2]. Для профиля Фойгта уточнена известная [3] аналитическая аппроксимация численных расчётов, выполненных без усреднения вероятности по угловым переменным. Наконец, для свёртки доплеровского и хольцмарковского профилей получена аналитическая аппроксимация, ранее не опубликованная в литературе.

1. Нагирнер Д.И., Лекции по теории переноса излучения, изд-во Санкт-Петербургского университета, 2001.

2. Apruzese J.P. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 1980. V. **23**. No. 5. P. 479.

3. Apruzese J.P. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 1985. V. **34**. No. 5. P. 447.

Солнечные фотосферные магнитные поля, корональные выбросы массы и радио всплески II типа в 23 и 24 циклах

И.А. Биленко

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Большинство ДН радио всплесков II типа (РВII) формируются в результате ряда процессов на фронтах ударных волн корональных выбросов массы (КВМ). В статье С.Б. Пикельнера и М.А. Гинцбурга «О механизме всплесков II типа радиоизлучения Солнца» (1963) впервые был предложен учет магнитного поля при интерпретации генерации РВII на фронте ударной волны. В данной работе представлены результаты исследования КВМ и РВII, наблюдавшихся с 1995 по 2017 гг. с учетом влияния циклических вариаций солнечных фотосферных магнитных полей. На основе непосредственных измерений и наблюдений в оптическом и радио диапазонах на КА SOHO, WIND и STEREO, а также данных наблюдений фотосферных магнитных полей Солнца на обсерваториях Kitt Peak, WSO и SOHO/MDI проанализированы циклические изменения числа КВМ, РВII и их параметров, а также проведено сравнение их с эволюционными изменениями фотосферных магнитных полей разной напряженности в 23 и 24 циклах. Результаты показали, что разные типы КВМ ведут себя различно в течение цикла. В 24 цикле, по сравнению с 23 циклом, возросло не только число КВМ, но также изменились их параметры и характер циклических вариаций.

Выявлена зависимость изменения числа и параметров КВМ и РВII от величины и динамики фотосферных магнитных полей разной напряженности. Показано, что наблюдаемое в 24 цикле значительное снижение как полярного, так и неполярного магнитного поля Солнца привело к изменениям характеристик корональной плазмы, что повлияло на параметры КВМ и характер их распространения, а также на условия генерации РВII. Проведена оценка влияния этих изменений на частоту и параметры КВМ и РВII.

Детальный анализ сходства и различий параметров КВМ и их циклической эволюции показал, что наряду с влиянием смены режима их детектирования в 2004 и 2010 гг., рост наблюдаемого числа и изменение параметров КВМ также связаны с реальным различием в динамике сильных и слабых фотосферных магнитных полей Солнца в 23 и 24 циклах.

Результаты свидетельствуют, что различия в числе и параметрах КВМ разных типов и условий генерации РВII могут быть связаны с отличиями в динамике фотосферных магнитных полей разной напряженности в 23 и 24 циклах.

Фотосферная активность звезд солнечного типа. Поиск вспышек по фотометрическим базам данных
Н.И. Бондарь, А.А. Шляпников
Крымская астрофизическая обсерватория РАН

По многолетним рядам из фотометрической базы Kamogata Wide-field Survey мы рассмотрели поведение блеска у 14 F9–K2 карликов, которые по ряду параметров относятся к солнечно-подобным звездам. На интервале с 2010 г. по 2021 г. обнаруживаются кратковременные повышения блеска относительно его среднего значения в сезон наблюдений. У большинства звезд (86%) с вероятностью не менее 95% его возрастания составляют $0.1\text{--}0.2^m$, и лишь у двух объектов (14%) выявлены случаи повышения блеска на $0.3\text{--}0.8^m$.

Предполагается, что подобные события или их часть можно отнести к вспышкам. Вспышки у исследованных нами звезд наблюдаются редко, но среди них есть объекты, у которых за один сезон происходит несколько малоамплитудных усилений блеска. Амплитуда и частота вспышек у звезд этого типа свидетельствуют о низком уровне их вспышечной активности по сравнению с более холодными карликами, у которых при вспышке блеск возрастает на несколько звездных величин, а также обнаруживаются очень мощные вспышки с энергией до 10^{35} эрг.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-02-00191.

Крупномасштабные оболочки в межзвездной среде
Н.Г. Бочкарев

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Обсуждаются различные наблюдательные проявления крупномасштабных оболочек в межзвездной среде Галактики в различных спектральных диапазонах. Приводятся примеры возникающих путаниц вследствие наложения различных структур на картинной плоскости.

Пространственно-временная организация течений в аккреционных дисках с большим плазменным beta

М.А. Булдаков¹, Е.О. Васильев², А.С. Андрианов¹, Ю.А.Щекинов¹

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

²*Южный федеральный университет*

С помощью кода Pluto проведено численное моделирование аккреционного диска в приближении shearingbox в ограниченном объеме. На временах порядка 200 оборотов диска выделяется характерное квазипериодическое поведение меры вращения, альфа-параметра турбулентности и вертикального потока массы газа из диска. Квазипериодическое поведение также наблюдается в пространственной организации магнитного поля. Исследована зависимость квазипериодических структур от начальной конфигурации магнитного поля и плазменного beta.

Излучение гелия за фронтом ударной волны в условиях звездных атмосфер

К.В. Бычков, О.М. Белова

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Выполнены расчёты высвечивания нагретого ударной волной газа в диапазоне скорости фронта от 60 км/с до 90 км/с и плотности от 10^{13} см⁻³ до 10^{15} см⁻³, где, кроме водорода, важную роль может играть гелий. Скорость фронта V полагалась постоянной. Расчёты велись в модели двухтемпературной плазмы, когда на фронте нагреваются в основном тяжёлые частицы — ионы и атомы, в то время как температура электронов испытывает лишь слабый подъём за счёт адиабатического сжатия на вязком скачке. Она меняется немонотонно, переходя через максимум. Населённости уровней и состояния ионизации химических элементов не являются однозначными функциями мгновенного значения электронной температуры, они определяются всей предысторией процесса высвечивания. Решалась система обыкновенных дифференциальных уравнений для тепловой энергии газа, электронной температуры и населённостей дискретных уровней водорода, гелия и первых пяти состояний ионизации кислорода. Учтены связанно-связанные, связанно-свободные ударные и радиационные переходы, тормозное излучение, а также вынужденное излучение в спектральных линиях и вынужденная фоторекомбинация. Включены первые 15 дискретных уровней атома водорода и иона HeII и 38 уровней атома гелия с главным квантовым числом от 1 до 5. Для рассеяния в частотах линий применён метод Бибермана–Холстейна–Соболева. Вероятность выхода фотона для водорода и иона HeII вычислялась в модели свёртки доплеровского и хольцмарковского контуров, а для атома гелия – в модели контура Фойгта. Для атома гелия сечения возбуждения и ионизации электронным ударом и сечения фотоионизации получены с помощью программы АТОМ совместно с одним из её авторов – Л.А. Вайнштейном. (Скорости ударной деактивации и тройной рекомбинации определялись из условия детального баланса.)

Получены следующие результаты. Охлаждение практически полностью определяется водородом, если скорость фронта не превышает 65 км/с. В диапазоне $70 \text{ км/с} < V < 90 \text{ км/с}$ в районе максимума электронной температуры заметный вклад даёт атом гелия. При более высоких скоростях фронта включается ион HeII и одновременно с ним становится существенным вклад первого и второго ионов кислорода. В диапазоне $V > 100 \text{ км/с}$ водород и гелий перестают быть единственными охладителями и становится необходим учёт металлов. В оптическом диапазоне линии атома гелия в районе максимума электронной температуры достигает 5% потока от линий бальмеровской серии водорода, начиная с $V \approx 85 \text{ км/с}$.

Спектральные свойства запыленных квазаров в эпоху реионизации

Е.О. Васильев¹, Ю.А. Щекинов², В.В. Nath³

¹Южный федеральный университет

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

³Raman Research Institute, India

Отношение между массами звездного населения и центральной сверхмассивной черной дыры в галактиках на малых красных смещениях оказывается почти постоянным, что отражает тесную связь при эволюции звездного населения и росте черной дыры. Недавние наблюдения квазаров в эпоху реионизации ($z > 6$) свидетельствуют о заметно более высоком отношении между массами этих компонент. Однако отобранные для изучения квазары характеризуются малой оптической толщиной в ближнем ультрафиолетовом диапазоне. В работе рассмотрены спектральные особенности подобных слабо запыленных квазаров, свойств звездного населения и массивной черной дыры в зависимости от массы газа в родительской галактике (квазаре). Показана существенная роль излучения от черных дыр в нагреве пыли и производстве инфракрасного излучения пыли. Найдены интервалы масс черных дыр и газа, при которых свойства инфракрасных спектров близки к наблюдаемым в квазарах в эпоху реионизации. Показано, что отношение светимостей в рентгеновском диапазоне (на 1 и 10 ангстремах) и светимость в инфракрасной области (200 мкм) можно использовать для определения соотношения масс газа и центральной черной дыры в запыленных квазарах.

Анализ некруговых движений ионизованного и нейтрального газа в галактике DDO 53

К.И. Васильев¹, О.В. Егоров²

¹Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

²Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга

МГУ им. М.В. Ломоносова

Исследуется динамика газа в карликовой галактике DDO 53. В галактике присутствуют несколько областей с повышенной дисперсией скоростей ионизованного водорода, а в излучении нейтрального водорода по данным VLA выделяется некруговая компонента, ассоциированная с одной из крупнейших областей звездообразования. В работе динамика некруговой компоненты нейтрального водорода сопоставлена с расположением областей сверхзвуковых движений ионизованного газа, которые наблюдались при помощи интерферометра Фабри–Перо на 6-м телескопе БТА. Расположение выделенной области асимметрии профилей $\text{H}\alpha$ позволяет сделать вывод, что наблюдаемые некруговые движения нейтрального и ионизованного водорода в DDO 53 имеют общую природу.

Исследование сегментов спиральных рукавов Галактики, выделяемых по мазерным источникам

А.В. Веселова, И.И. Никифоров

Санкт-Петербургский государственный университет

Наличие спиральной структуры Млечного Пути известно с середины XX века, тем не менее, вопрос о морфологии спиральных ветвей до сих пор полностью не прояснен. В работе обсуждается структура сегментов спиральных рукавов Галактики, выделяемых по мазерным источникам в областях образования массивных звезд (Reid M.J., Menten K.M., Brunthaler A., et al. *ApJ* 2019, V. 885, 131). Исследуется распределение объектов в проекции на плоскость Галактики; шесть сегментов, выделенных в работе Reid et al. (2019), моделируются сегментами логарифмических спиралей. Определение пространственных параметров проводится совместно для системы сегментов в рамках метода наибольшего правдоподобия, при этом учитываются как измерительные ошибки параллаксов объектов, так и природная дисперсия поперек рукава. Углы закрутки, позиционные параметры и дисперсии поперек рукава имеют индивидуальное значение для каждого сегмента, расстояние до центра Галактики как до полюса сегментов является единым для всей структуры. Особое внимание уделяется сегментам, у которых отклонение наблюдаемых положений мазеров от средней линии сегмента может быть объяснено только неопределенностью параллаксов.

Лабораторная астрохимия

Д.З. Вибе

Институт астрономии РАН

В последнее время наблюдается значительный прогресс в исследованиях молекулярного состава различных астрономических объектов, от планетных атмосфер до галактик на больших красных смещениях. При этом сопутствующие теоретические работы сталкиваются с проблемой отсутствия необходимых лабораторных данных, в частности, о частотах переходов, о параметрах химических реакций, о самих химических реакциях, которые могут происходить в различных физических условиях. Это приводит к тому, что в мире всё больший интерес вызывают лабораторные исследования астрохимических процессов. Доклад посвящён описанию современного состояния лабораторной астрохимии, а также перспективам её развития в России.

Обнаружение мощнейшего мазера метанола и гигантских вспышек мазера воды в Галактике

А.Е. Вольвач¹, Л.Н. Вольвач¹, М.Г. Ларионов²

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН*

²*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

Обнаружен самый мощный в нашей Галактике за всю историю наблюдений мазер метанола в источнике активного звездообразования G358.93–0.03 [1]. Каждая из двух сложных вспышек представляет собой совокупное излучение от нескольких отдельных мазерных конденсаций. Впервые зарегистрирована серия последовательных вспышек мазера воды, включая очень короткую мощную вспышку [2].

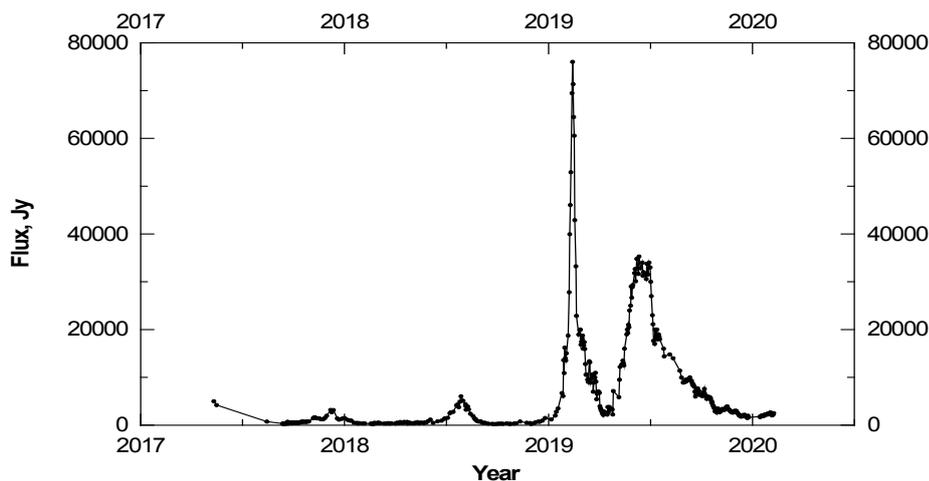


Рис. Серия вспышечных явлений в галактическом источнике активного звездообразования W49N.

[1]. A.E. Volvach, L.N. Volvach, M.G. Larionov, G.C. MacLeod, S.P. van den Heever, and K. Sugiyama Monitoring a methanol maser flare associated with the massive star-forming region G358.93-0.03 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 494, Issue 1, May 2020, Pages L59–L63.

[2]. A.E. Volvach, L.N. Volvach and M.G. Larionov Unusually powerful flare activity of the H₂O maser feature near a velocity of -60 km s^{-1} in W49N // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 496, L147–L151 (2020).

Анализ кинематики газа в областях звездообразования галактики Sextans A

И.С. Герасимов, О.В. Егоров

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Представлены результаты исследования областей звездообразования в близкой карликовой галактике Sextans A по данным наблюдений на 6-м телескопе БТАСАО. Мы провели панорамную и длиннощелевую спектроскопию областей звездообразования в галактике и получили информацию о кинематике и механизмах возбуждения ионизованного газа. Выявлены области с повышенной дисперсией скоростей в линии H α , указывающие на наличие расширяющихся оболочек ионизованного газа или наличие ударных волн в межзвездной среде. Сравнение наших результатов с архивными данными наблюдений GALEX, HST и VLA позволило сопоставить свойства звездного населения, атомарного ионизованного газа. Показано, что звездообразование в галактике будет распространяться из центра наружу и в настоящий момент происходит в основном на периферии гигантской сверхоболочки HI, окружающей оптический диск галактики.

Вариации подфотосферных зональных и меридиональных течений в 24 цикле солнечной активности

А.В. Гетлинг¹, А.Г. Косовичев², Ц. Чжао (J. Zhao)³

¹НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобелцына МГУ имени М.В. Ломоносова

²New Jersey Institute of Technology, Newark, USA

³W.W. Hansen Experimental Physics Lab., Stanford University, Stanford, CA 94304, USA

Результаты определения азимутальных и меридиональных скоростей методами пространственно-временной гелиосейсмологии по данным инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) орбитальной обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO) за период с мая 2010 по сентябрь 2020 г. для широт от -60° до $+60^\circ$ и глубин приблизительно до 19 Мм под фотосферой используются для анализа пространственно-временных вариаций солнечного дифференциального вращения и меридиональной циркуляции. Найдено, что картина крутильных колебаний, или чередующихся широтных поясов «быстрых» и «медленных» зональных течений, мигрирующих от высоких широт к экватору, на диаграммах время–широта охватывает весь рассмотренный временной интервал. Период колебаний сравним с удвоенным циклом солнечной активности и может быть квалифицирован как расширенный солнечный цикл. Вариации зональной скорости связаны с уровнем солнечной активности, а локальные возрастания скорости соответствуют возрастаниям числа солнечных пятен и локализованы на широтах, где наблюдаются самые сильные магнитные поля. Значительный рост зональных скоростей в 2018 г. выглядит как предвестник начала 25-го цикла активности. Другим предвестником можно считать существенную симметризацию поля зональных скоростей к 2020 г. Общая картина миграции меридиональных потоков, направленных к полюсам, модулируется широтными вариациями, сходными с поведением зональных течений в расширенном солнечном цикле. Вблизи минимума активности на эти вариации накладывается высшая гармоника, соответствующая меридиональным течениям, сходящимся к широтам пятнообразования. Полученные результаты показывают, что вариации зональных и меридиональных течений подчиняются расширенному солнечному циклу, что является внутренним свойством механизма солнечного динамо.

Регулярное распределение областей звездообразования вдоль спиральных ветвей и колец галактик

А.С. Гусев, Е.В. Шимановская

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Регулярность в распределении молодых звездных группировок вдоль спиральных рукавов галактик, впервые обнаруженная в 1983 году Брюсом Элмегрином и Деборой Элмегрин, считается довольно редким явлением. Роль и относительный вклад различных физических процессов в пространственное распределение молекулярных облаков и областей звездообразования в дисках галактик остаются до конца неясными. Исследование пространственной закономерности распределения молодого звездного населения в спиральных и кольцевых структурах галактик является хорошим тестом для изучения этого вклада. Мы представляем результаты поиска и анализа регулярностей в распределении молодого звездного населения вдоль спиральных ветвей grand-design галактик NGC 628 и NGC 895, асимметричной трехрукавной спирали NGC 5474, флоккулентной галактики NGC 6946, а также вдоль кольца галактики с баром NGC 6217. В большинстве исследованных галактик найдено характерное расстояние между соседними областями звездообразования (области HII, звездные комплексы и скопления), равное или кратное 350–400 пк. Примеры галактик NGC 628 и NGC 6217 показывают, что наличие или отсутствие ударных волн не влияет на образование регулярных цепочек звездообразования вдоль галактических спиралей и колец.

Механизмы энерговыделения микровспышек

М.И. Дивлекеев

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Наблюдения излучения микровспышек в рентгеновском диапазоне спутником GOES указывают на наличие двух типов вспышек: первый тип излучает только мягкое тепловое излучение, а второй – как в мягком, так и в жёстком рентгеновском диапазоне. Вспышка, излучающая в мягком рентгеновском диапазоне, вызвана всплытием в хромосфере горячего фибрилла. Температура фибрилла определяется только нагревом газа волнами, идущими снизу, и потерями энергии на излучение (Пикельнер С.Б. АЖ 48, 1212, 1971). Второй тип микровспышки вызван поступлением уже в существующий элемент факела нетепловых электронов, которые нагревают газ и дают жёсткое тормозное рентгеновское излучение.

Таким образом, в микровспышках выделяется энергия волн поступающих из-под фотосферы и энергия нетепловых электронов.

Влияние испарения пылинок на остаточное магнитное поле молодых звезд с аккреционными дисками

А.Е. Дудоров^{1,2}, С.Н. Замоздра¹

¹Челябинский государственный университет,

²Уральский федеральный университет

Для развития теории остаточного магнитного поля молодых звёзд с аккреционными дисками с помощью многомерных численных моделей необходимы экономичные, но корректные способы расчёта концентрации ионов, электронов, нейтральных и заряженных пылинок. Вклад пылинок в проводимость плазмы, поверхностные химические реакции и оптическую непрозрачность зависит от распределения пылинок по размерам.

В работе развивается полуаналитический метод расчёта эволюции функции распределения пылинок по размерам при пренебрежении коагуляцией пылинок. Метод протестирован с помощью одномерной численной модели коллапса протозвёздных облаков. Показано, что раннее испарение пыли ослабляет диффузию магнитного поля в основном за счёт уменьшения эффективности рекомбинации на пылинках. В протозвёздных облаках, у которых силикатные пылинки преобладают над графитовыми, характерная температура испарения пыли снижается, что усиливает магнитное поле аккреционных дисков на расстояниях 0.5–3 а. е. в несколько раз.

С целью оптимизации моделей образования звёзд и аккреционных дисков с остаточным магнитным полем планируется найти экономичный метод расчёта коагуляции пылинок, а также для расчёта химической кинетики с переменным шагом заменить многошаговый метод Гира на менее затратный неявный метод типа Рунге-Кутты.

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

Поиск сверхскоростных звезд в каталоге Gaia DR3 среди объектов с относительно точными фотометрическими расстояниями

С.В. Жуйко, А.К. Дамбис

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

На основе данных каталога Gaia DR3 и CatWISE2000 выполнен поиск кандидатов в объекты с экстремально большими скоростями относительно Галактического стандарта покоя среди наиболее массовых классов звезд каталога Gaia DR3 с относительно точно определяемыми фотометрическими расстояниями – переменных типа RR Лиры и Миры Кита, красных гигантов и звезд голубой горизонтальной ветви – и исследованы кинематические особенности полученной выборки.

Роль фотосферной конвекции в нагреве солнечной короны
В.В. Зайцев¹, А.В. Степанов², П.В.Кронштадтов¹
¹*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*
²*Главная (Пулковская) обсерватория РАН, Санкт-Петербург*

Показано, что важнейшую роль в нагреве солнечной короны и в генерации электрических токов в корональных магнитных петлях и открытых магнитных трубках (спикулах) играет фотосферная конвекция. Диссипация электрических токов в указанных магнитных структурах приводит к двум важным эффектам – к нагреву плазмы до температуры в несколько миллионов градусов и к возникновению больших потоков тепла и плазмы из горячих спикул в корону Солнца. Показано, что для нагрева солнечной короны достаточно около 1% горячих спикул от общего количества спикул, одновременно наблюдающихся на солнечной поверхности. При этом потоки горячей плазмы из спикул в корону оказываются достаточными для компенсации потерь корональной массы, связанных с наличием солнечного ветра.

Публикация: V.V. Zaitsev, A.V. Stepanov, P.V. Kronshtadtov, On the Possibility of Heating the Solar Corona by Heat Fluxes from Coronal Magnetic Structures, Solar Phys, 2020, Vol.295, pp.166 -181.

Содержание газа и кинематика галактических дисков
А.В.Засов, Н.А.Зайцева

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Относительная масса газа в звездно-газовых дисках спиральных галактик зависит от целого ряда факторов, действие которых для разных галактик не одинаково. Тем не менее, и масса, и радиальное распределение газа тесно коррелируют с размерами и кинематическими свойствами дисков (скоростью вращения и удельным угловым моментом). Регулирующим началом, объясняющим эту взаимосвязь, может быть условие маргинальной гравитационной устойчивости газового диска. Однако звездообразование уменьшает содержание газа, и наблюдаемые газовые диски галактик в большинстве случаев оказываются гравитационно устойчивыми (исключением являются галактики с аномально высоким содержанием газа). В работе рассматриваются возможные объяснения этого противоречия, связанные с особенностями эволюции галактик.

Образование массивных звезд
И.И. Зинченко
Институт прикладной физики РАН

Процесс образования массивных звезд вызывает пока много вопросов. Существует ряд проблем в его теоретическом описании. Было предложено несколько вариантов преодоления этих проблем. В последнее время с помощью новых инструментов были получены наблюдательные данные, которые позволяют делать выбор между этими вариантами. В частности, были зарегистрированы явления, свидетельствующие о формировании звезд с массой ~20 масс Солнца путем эпизодической дисковой аккреции. В докладе будут представлены соответствующие наблюдательные данные и краткий обзор существующих моделей образования массивных звезд.

Размеры магнитосфер астрономических объектов
Н.Р. Ихсанов
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

В докладе обсуждаются ограничения на масштабы магнитосфер различных астрономических объектов (планет, аккрецирующих молодых звезд, белых карликов и нейтронных звезд), обладающих собственным магнитным полем и взаимодействующих с потоками ионизованного газа. Магнитосферы планет формируются в результате взаимодействия их крупномасштабных магнитных полей с потоком солнечного ветра. Они имеют сложную структуру, вытянутую в направлении от Солнца, и хорошо описываются в рамках задачи об обтекании намагниченного тела потоком ионизованной плазмы. Количество вещества солнечного ветра, проникающего в единицу времени в магнитное поле планеты, не превосходит 0.001% от общего темпа обтекающего потока. Наименьшая радиальная протяженность магнитосферы при этом достигается на дневной стороне (в направлении Солнца) и, в первом приближении, определяется расстоянием от центра планеты до точки, в которой давление магнитного поля планеты сравнивается с динамическим давлением солнечного ветра. Расстояние, определяемое таким образом, в астрофизике получило название Альвеновского радиуса и широко используется для оценки размеров магнитосфер звезд, находящихся в состоянии аккреции. Вместе с тем, процесс формирования магнитосфер аккрецирующих звезд принципиально отличается от процесса формирования магнитосфер планет, поскольку аккреционный поток гравитационно связан с аккретором, и практически все вещество, захваченное звездой, в конечном счете должно достигнуть ее поверхности. Стационарный процесс аккреции в этом случае реализуется лишь при условии, что темп проникновения вещества в магнитное поле звезды на границе ее магнитосферы сопоставим с темпом притока вещества к границе магнитосферы и темпом падения вещества на поверхность звезды, т.е. общим реализуемым темпом аккреции. Контроль выполнения этого условия обеспечивается введением в рассмотрение дополнительного уравнения неразрывности, которое, вместе с уравнением баланса давления на границе магнитосферы, образует систему для поиска истинного радиуса магнитосферы аккретора. Решения этой системы с учетом различных механизмов проникновения плазмы в поле аккретора будут представлены в моем докладе. Я показываю, что истинный радиус магнитосферы аккреторов при определенных условиях может отличаться от величины Альвеновского радиуса более чем на порядок. Учет этого обстоятельства позволяет предложить простое решение ряда парадоксов, возникших в ходе исследования ротационной эволюции рентгеновских пульсаров и происхождения ряда пекулярных объектов. Полученный нами результат указывает также на сходство механизмов, определяющих процесс формирования магнитопаузы на границе магнитосфер планет и аккрецирующих звезд, в основе которого лежит перезамыкание силовых линий магнитного поля.

Исследования были поддержаны грантом РФФИ 13-02-00077.

Ikhsanov, N.R. 2012, MNRAS, 424, L39

Ikhsanov, N.R., Finger, M. 2012, ApJ, 753, 1

Ихсанов Н.Р., Лих Ю.С., Бескровная Н.Г. 2014, АЖ, т. 91, № 6, с. 449

Ikhsanov, N.R., Mereghetti, S. 2015, MNRAS, 454, 3760

Beskrovnaya, N., Ikhsanov, N. 2020, in Proc. "Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century" Conference, Eds. I. Romanyk et al., p. 207.

Итоги и уроки 24 цикла – первого цикла второй эпохи пониженной солнечной активности
В.Н. Ишков
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Троицк

Текущий 24 солнечный цикл (СЦ) реализовался в условиях, когда после переходного 23 СЦ фоновые значения общего магнитного поля Солнца уменьшились более чем в два раза, что привело к полной перестройке физических условий на Солнце и, как следствие, в гелиосфере и отразилось на состоянии околоземного космического пространства. Он развивался как цикл низкой величины, пятнообразовательная и вспышечная активность которого существенно ниже всех предыдущих СЦ космической эры, и открыл вторую эпоху пониженной солнечной активности (СА).

Исследования достоверного ряда солнечных пятен (с 1849 г.) показало, что циклы СА – 11-летние регулярные изменения СА от минимума к максимуму – подчиняются довольно жёсткому сценарию, который выражается в чередовании эпох повышенной (СЦ 6–10) и пониженной (СЦ 12–16, 24) СА, разделённых переходными периодами.

Закончившийся в XII 2020 г. СЦ24, чья длительность составила полных 11 лет, впервые в полной мере дал нам возможность детально исследовать его ход развития и характеристики как начального цикла эпохи пониженной СА, так как в первую такую эпоху (СЦ 12–16) наблюдения активных солнечных явлений сводились только к наблюдениям солнечных пятен, площадей их групп и характеристик геомагнитного поля (Аа-индекс), вариации которого (особенно внезапные возмущения) несут косвенную информацию о солнечной вспышечной активности и физических параметрах межпланетной среды в то время.

После 11 лет развития 24 СЦ представляется возможным выявить некоторые принципиальные особенности его развития с СЦ первой эпохи пониженной СА.

1. За первым пиком в XI 2011 г. после небольшого, но продолжительного (15 мес.) спада в числах Вольфа, СЦ 24 стал уверенно расти и к IV 2014 г. достиг своего максимума ($W^*=81.9$). Ни в одном СЦ во всех достоверных СЦ первый пик, не проявлялся так четко и с такой разницей в пиковых значениях ($\Delta W^*\sim 15$), а с учётом спада после первого пика промежуточный участок роста занял интервал $\Delta W^*\sim 30$.

2. Продолжительность ветви роста стала рекордной для всего достоверного ряда и составила 5.32 года.

3. Количество больших ($Sp\geq 1000$ мдп), очень больших ($Sp\geq 1500$ мдп) и гигантских ($Sp\geq 2000$ мдп) групп пятен было наименьшим не только среди всех СЦ первой эпохи, но и всех СЦ космической эры.

4. Наблюдалась наименьшая средняя продолжительность существования групп пятен, причём текущий СЦ стал лидером по количеству групп-однодневок. Среднее число пятен в группе, средний размер отдельно взятой группы, а также среднее число регистрируемых пятен и групп являются наименьшими среди всех СЦ космической эры.

5 Полное отсутствие экстремальных и очень больших геомагнитных бурь (G5, G4), в системе Аа-индекса: за весь цикл зарегистрировано только три магнитные бури класса G3 и только на ветви спада.

Так как на данной статистике внутри эпох правило Гневышева–Оля неуклонно выполнялось, наступивший текущий СЦ25 будет средней величины ($W^*=110\pm 10$ или в новой системе 130 ± 15).

The electric field in solar corona and solar wind, and its consequences

K. Jockers

Max-Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany

S.B. Pikel'ner has published many important scientific papers. In my talk I will present, how his paper "On the theory of the solar corona", *Izv. Krymskoj Astrofiz. Obs.* Vol. V, pp. 34 – 58, 1950 influenced my scientific work and, either directly or indirectly via my ph.d. thesis, the work of other scientists. In order to equalize the proton and electron fluxes from the corona into interplanetary space, Pikel'ner postulated a radial electric field that accelerates the protons and holds back the electrons. The title of my thesis was "Solar wind models based on exospheric theory". Exospheric theory assumes an abrupt transition between a collision-dominated particle regime close to the gravitating body and a collision-free regime further out. It therefore allows us to model particle velocity distributions under the assumption of absence of collisions. Using Pikel'ner's idea of the radial electric field, I was able to produce a collisionless model of the solar wind. In interplanetary space, particle collisions are rare, but not completely absent. Therefore, more recent papers have tried to take these rare collisions into account. Nevertheless, some features of my collision-free model were confirmed by observations. Most important is a detail of the electron velocity distribution, the so-called "strahl" (the German word for "beam") that is predicted by my work based on Pikel'ner's paper. The "strahl" was observed by the Helios space probes. They had perihelia of approximately 0.3 AU and were active between 1975 and 1985. The "strahl" is likely to be observed in more detail by the Parker Solar Probe that was launched in August 2018 and is will approach the Sun even closer than the Helios probes, up to 0.16 AU.

Тепловые атмосферные потери для горячих экзопланет

*Е.С. Калиничева, В.И. Шематович
Институт астрономии РАН, Москва*

Экзопланеты, расположенные на низких орбитах по отношению к родительской звезде, подвержены постоянному воздействию очень высоких потоков жесткого излучения родительской звезды и плазмы звездного ветра. Посредством ионизации атомарного водорода и гелия излучение родительской звезды нагревает верхнюю атмосферу экзопланеты. В ходе этих реакций часть энергии поглощаемого излучения переходит в кинетическую энергию продуктов, в частности, в кинетическую энергию фотоэлектронов. Если получившийся фотоэлектрон является надтепловой частицей (кинетическая энергия превышает тепловую на несколько порядков), то он может вступать во вторичные реакции ионизации или возбуждения других частиц атмосферы, расходуя свою изначальную кинетическую энергию. Таким образом, можно заключить, что при моделировании атмосфер горячих, то есть близких к родительской звезде, экзопланет необходимо учитывать описанные выше процессы, иначе получаемый темп нагрева окажется завышенным.

В данной работе представлены результаты расчетов с применением ранее созданной самосогласованной одномерной астрономической модели водород-гелиевой атмосферы, в которой учитывается вклад надтепловых фотоэлектронов. Получены высотные профили температуры, скорости и концентрации атмосфер экзопланет GJ 436 b и π Men c. У обеих планет наблюдается структура атмосферы с двумя характерными шкалами – плотная гидростатическая часть и протяженная разреженная корона. Для обеих планет даны предварительные оценки темпа потери массы.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование звезд с экзопланетами» по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение № 075-15-2019-1875). Е.С. Калиничева благодарит за поддержку грант РФФИ 20-32-90149.

Дискретное перетекание вещества в рентгеновской двойной Геркулес X-1

Е.А. Карицкая¹, Н.Г. Бочкарев²

¹Институт астрономии РАН, Москва

²Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Модель дискретного перетекания вещества в Her X-1/HZ Her, предложенная Кроса и Бойнтоном и развитая нами в конце 1980-х гг., хорошо объясняет фотометрические детали на оптических кривых блеска (т.н. пички), а также другие явления в этой рентгеновской системе. Они связываются с образованием сгустков плазмы («блобов») в результате взаимодействия дискретно перетекающего вещества с внешними частями аккреционного диска. Показано, что установленная связь между моментами появления пичков с определенными фазами орбитального и 35-дневного циклов прослеживается до сих пор.

При взаимодействии расширяющегося вещества блоба с горячей короной возникает неустойчивость типа Рэлея–Тейлора, что приводит к фрагментированию вещества на отдельные капли. Это позволяет объяснить наблюдающиеся глубокие мерцания во время рентгеновских дипов. Наблюдения на eROSITA подтвердили существование короны вокруг аккреционного диска, предсказанной нами в конце 1980-х гг.

Солнечно-звёздная физика: эволюция активности

М.М. Кацова

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Идеи общности физики явлений активности на Солнце и других звёздах нижней части главной последовательности, высказанные Р.Е. Гершбергом и С.Б. Пикельнером в 1972 г. ещё до начала систематических внеатмосферных исследований, за прошедшие полвека блестяще подтвердились последующими результатами реализации космических проектов, дополнившими данные оптических наблюдений. Так, результаты длительного мониторинга активности звёзд нижней части главной последовательности – «*HK-Project*», координированных наблюдений звёздных вспышек, программ «*The Sun in Time*» и «*Living with Red Dwarfs*», миссии «*Kepler*» и др. позволили приблизиться к пониманию природы большинства нестационарных и квазистационарных явлений на этих звёздах. Основные закономерности, выведенные из связей вращения с возрастом и активности с вращением, позволяют проследить, как меняется активность звезды солнечной массы за время пребывания на главной последовательности. Предложен сценарий эволюции активности, согласно которому время жизни Солнца на главной последовательности делится на несколько эпох. Это – эпоха раннего, очень активного Солнца, когда происходило формирование Солнечной планетной системы, и Солнце вращалось в 10–20 раз быстрее, чем сегодня. Далее следует эпоха молодого Солнца, когда устанавливается регулярный цикл; в это время Солнце вращается в 2–5 раз быстрее современного Солнца. И, наконец, современная эпоха, характеризующаяся медленным вращением Солнца и его сравнительно слабой активностью. Изучение поведения разных трассеров активности даёт возможность отличать физические характеристики активности в эпохи раннего и молодого Солнца, в том числе оценить частоту экстремальных явлений, определить начало эпохи формирования регулярной циклической активности. Эта информация проливает свет, в частности, на геологическую историю Земли и происхождение биосферы.

Магнитокавитационная модель космических радиовсплесков

С.О. Кийков

Нац. исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва

Исследуется процесс генерации быстрых космических радиовсплесков. Для объяснения этого процесса предлагается магнитокавитационная модель. Согласно этой модели, источником быстрого радиовсплеска является плазменный выброс, образующийся при коллапсе магнитосферы аккрецирующей нейтронной звезды в результате процессов звездотрясения, резонансного взаимодействия магнитосферы с аккрецируемой плазмой и ударными волнами из аккреционного диска нейтронной звезды. Оценки параметров всплеска согласуются с наблюдениями.

Нестационарные фотодиссоциационные области: численное моделирование и наблюдения в КГО ГАИШ

М.С. Кирсанова¹, А.М. Татарников², Д.З. Вибе¹, П.Э. Боли³

¹Институт астрономии РАН, Москва

²Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

³Московский физико-технический институт, Долгопрудный

Фотодиссоциационные области (ФДО) – переходные регионы между областями HII и молекулярными облаками – характеризуются сложным комплексом физических и химических процессов, что делает их полигоном для проверки предположений о составе и эволюции различных компонентов межзвездного и околозвездного вещества. Доклад посвящен наблюдательным проявлениям ФДО в ближнем ИК-диапазоне. Обсуждаются первые результаты и перспективы наблюдения ФДО на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ. Одними из ближайших к Солнцу ФДО являются объекты из области звездообразования в Орионе, а именно ФДО Барьер Ориона и Конская Голова. Для них с помощью самосогласованного химико-динамического кода MARION было проведено численное исследование физической и химической структуры, а затем выполнено моделирование переноса излучения в избранных молекулярных линиях. Это моделирование показало, что в условиях ФДО Барьер Ориона среди линий, соответствующих вращательным переходам молекулы CO, возбуждаются те, у которых энергия верхнего уровня не превышает $E_u < 2000$ К, что соответствует значениям вращательного квантового числа $J < 30$. Однако вращательно-колебательные переходы молекулы CO, которые могут наблюдаться на 2 мкм в КГО, имеют $E_u \gg 2000$ К, поэтому ни в Барьере Ориона, ни тем более в Конской Голове увидеть их в излучении невозможно. Представлены первые изображения Барьера Ориона, полученные в КГО в фильтрах H2, [FeII] и Br-gamma, которые показывают расположение фронтов ионизации и диссоциации водорода.

Работа поддержана грантом РФФИ 20-02-00643

Газодинамика солнечных вспышек и солнцетрясения

А.Г. Косовичев

Технологический Институт Нью-Джерси, США

Энерговыделение в солнечных вспышках приводит к импульсному нагреву хромосферной и корональной плазмы, мощным плазменным выбросам и быстрым газодинамическим течениям. Современная теория газодинамических явлений в импульсной фазе вспышек была основана С.Б. Пикельнером и Н.Д. Костюк в 1974 г. Впервые численными методами была решена задача о динамическом отклике солнечной атмосферы на нагрев ускоренными электронами и показано, что наблюдаемая оптическая эмиссия обусловлена сильным сжатием плазмы за фронтом ударной волны, распространяющейся в глубокие слои солнечной атмосферы. Теория таких ударных волн («ударных волн с высвечиванием»), где сжатие плазмы намного превышает адиабатическое сжатие, была впервые разработана С.Б. Пикельнером в 1954 г. применительно к межзвездному излучению и подробно описана в книге С.А. Каплана «Межзвездная газодинамика» (1958). В физике Солнца это явление получило название «хромосферной конденсации». Модель Пикельнера–Костюк позволила объяснить выбросы горячей плазмы, наблюдаемые в рентгеновском диапазоне и получившие название «хромосферное испарение». С тех пор явления хромосферного испарения и хромосферной конденсации являются предметом детального изучения и моделирования в физике солнечных и звездных вспышек. В последнее время интерес к газодинамике вспышек резко возрос в связи с высокоточными наблюдениями с космических аппаратов и больших наземных телескопов и рядом необъясненных явлений. В частности, в ряде солнечных вспышек наблюдаются аномально сильные импульсные возмущения в фотосфере, которые приводят к возбуждению сейсмических волн на Солнце («солнцетрясениям»). Это явление не удастся объяснить в рамках стандартной газодинамической модели, что делает актуальным развитие новых идей, дополняющих классическую теорию Пикельнера–Костюк.

Характерные особенности проявления солнечной активности в текущем минимуме

И.Г. Костюченко

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Москва

Исследование солнечной активности в фазе минимума интересно тем, что в этот период количество активных областей невелико, а их взаимное расположение и эволюцию можно проследить детально. Это позволяет более эффективно оценить скорость вращения возможных подфотосферных источников наиболее мощных магнитных потоков и проанализировать их связь с вариациями полного и спектрального солнечного излучения. Кроме того, есть возможность проверить, насколько структура глобального магнитного поля Солнца в фазе минимума СА соответствует осесимметричной.

Обсуждаются результаты анализа долготного распределения групп солнечных пятен и их эволюции, положения областей повышенного значения магнитных потоков, полученного из магнитографических синоптических карт обсерватории WSO, вариаций полного потока солнечного излучения и его УФ-составляющей. Проводится сравнение со столь же длительным и слабым предыдущим минимумом СА.

Правильно ли вращается Солнце? Магнитное Солнце и земной климат

В. А. Котов

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

По вариациям общего магнитного поля Солнца (1968—2020 гг.) определён синодический период вращения его экватора: 26.930(8) сут. После 1993 г., однако, когерентное вращение сменилось хаотическим с квази-периодами 26.5–27.3 сут (магнитный экватор «остановился»). Явление связывается с аномальным поведением циклов Вольфа 23 и 24, сопровождавшимся глобальным изменением земного климата при неясном механизме влияния Солнце–Земля.

МГД ударные волны и неустойчивости за фронтом в температурно-анизотропной космической плазме

В.Д. Кузнецов, А.И. Осин

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова, Троицк*

Получены новые решения для параллельных МГД ударных волн в бесстолкновительной температурно-анизотропной плазме с тепловыми потоками применительно к условиям солнечного ветра. Определены области эволюционности волн, соотношения на фронте ударной волны, области параметров плазмы перед фронтом, для которых за фронтом ударной волны имеют место приводящие к развитию турбулентности неустойчивости (шланговая, зеркальная, ионно-звуковая). Полученные решения дают возможность более детальной диагностики плазмы солнечного ветра по результатам локальных и дистанционных измерений ударных волн.

Анализ эруптивного события после вспышки 7 июня 2011 года

Ю.А. Купряков^{1,2}, Р.Котрч¹, Л.К. Кашапова³

¹*Astronomical Institute AS CR, Ondrejov, Czech Republic*

²*Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова*

³*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*

Солнечные эруптивные события (СМЕs) могут сопровождаться большими скоростями плазмы, превышающими несколько сотен км/с. Обнаружение и измерение таких скоростей ограничено узкополосными фильтрами и небольшим диапазоном длин волн в большинстве солнечных приборов. Тем не менее, доплеровские скорости, превышающие двести км/с, недавно были обнаружены солнечными оптическими спектрографами в обсерватории Ондржейов в линиях $H\alpha$, $H\beta$ и $CaIIK$, а также по изображениям, полученным SDO, LASCO C2 и LASCO C3. Мы представляем результаты анализа данных солнечной вспышки 7 июня 2011 г., выполненного по результатам многоволновых наблюдений.

Регистрируемое нами синее доплеровское смещение указывает на нисходящую скорость 200 км с^{-1} , красное смещение достигает значений 180 км с^{-1} . Но это только составляющие скорости по направлению к наблюдателю. Лучевая скорость, определенная в картинной плоскости в линии 335\AA FeXVI (SDO AIA), изменялась в диапазоне $1200 - 650 \text{ км с}^{-1}$.

Измеренные амплитуды скорости, скорректированные для геометрии, дают значения между ними, составляющие 500 км/с .

Роль истечения атмосферы в миграции горячих юпитеров

Е.П.Курбатов

Институт астрономии Российской академии наук, Москва

Многие экзопланеты класса «горячий Юпитер» обнаруживают в наблюдениях истечение атмосферы. Согласно численным расчётам, вещество, покидающее атмосферу планеты, способно накапливаться на околозвёздной орбите, близкой к орбите планеты, формируя диск или тор. С другой стороны, накоплению вещества препятствует активность звезды, которая приводит к его испарению. Мы изучили роль этого и других факторов в процессе аккумуляции массы тора. Оказывается, что за несколько сотен миллионов лет в торе может накопиться достаточная масса для того, чтобы гравитационное взаимодействие между ним и планетой привело к существенному изменению её орбиты. На примере системы HD 209458 мы показали, что за время, прошедшее с момента исчезновения протопланетного диска, планета может мигрировать с орбиты 0.3 а.е. к современному наблюдаемому положению 0.047 а.е.

Орбитальная эволюция в системах «звезда – экзопланета».

Я.А. Лазовик

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Успехи в наблюдательной астрономии стимулировали разработку методов популяционного синтеза экзопланет. Результатом стало появление в литературе разнообразных синтетических распределений экзопланет на диаграмме «радиус орбиты – масса планеты», соответствующих моменту диссипации протопланетного диска. Однако для того, чтобы соотнести такие распределения с наблюдаемым, необходимо развитие методов, описывающих орбитальную эволюцию планет уже после диссипации протопланетного диска.

Наиболее важным механизмом, влияющим на динамику экзопланетных систем, является приливное взаимодействие. Доклад посвящен моделированию орбитальной эволюции экзопланет с учетом возникновения и диссипации приливов различных видов согласно формализму из работы Barker (2020). В частности, рассматриваются квазистационарные приливы и динамические приливы, делящиеся на так называемые инерциальные и гравитационные волны (g-моды). Исследуются две модели вращения звезды: твердотельная модель и модель с раздельным вращением ядра и оболочки.

Основной целью на данном этапе работы является моделирование выпадения массивных экзопланет на звезды. Эти события можно будет детектировать при помощи будущих инструментов, таких как телескоп LSST, что в конечном счете позволит нам уточнить наши знания о физике экзопланетных систем и о физике приливов.

Тепловая фрагментация предвспышечного токового слоя в солнечной атмосфере

Л.С. Леденцов

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Рассмотрено влияние джоулева и вязкого нагрева, теплопроводности и радиационного охлаждения на структурную устойчивость предвспышечного токового слоя. Решена задача о малых возмущениях в кусочно-однородной МГД-модели токового слоя. Решение допускает образование неустойчивости теплового характера. Модель позволяет получить точные аналитические выражения для инкремента и пространственного масштаба неустойчивости, а также их простые приближения в условиях солнечной короны. В линейной фазе время нарастания неустойчивости пропорционально характерному времени радиационного охлаждения плазмы и зависит от логарифмических производных функции радиационного охлаждения по параметрам плазмы. Неустойчивость приводит к поперечной фрагментации токового слоя с пространственным периодом 1–10 ММ в широком диапазоне параметров корональной плазмы. Рассмотренная неустойчивость может быть ответственна за запуск первичного энерговыделения в солнечных вспышках.

Аналитическое описание межзвездного поглощения в высоких галактических широтах

*О.Ю. Малков, А.Д. Некрасов, К.А. Гришин, Д.А. Ковалева
Институт астрономии Российской академии наук, Москва*

В избранных площадках северного неба, с использованием данных LAMOST DR5 и GaiaDR2/EDR3, получена зависимость межзвездного поглощения от расстояния в виде барометрической функции. Параметры функции затем были аппроксимированы сферическими гармониками. Полученная аналитическая трехмерная модель межзвездного поглощения может быть использована для быстрой оценки значений поглощения для звезд с известными параллаксами, а также полного Галактического поглощения в заданном направлении.

Свойства радиогалактик FR0 в сантиметровом диапазоне

*А.Г. Михайлов
Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз*

Компактные радиоисточники класса FR0 численно доминируют среди популяции радиогромких АЯГ в ближней Вселенной. Природа FR0 остается неясной и требует исследования. В докладе представлены результаты наблюдений 34 радиогалактик FR0 на радиотелескопе РАТАН-600 в 2020 г. в диапазоне 2.25–22.3 ГГц. Впервые измерены квазиодновременные спектры радиогалактик FR0 в столь широком диапазоне. На частоте 4.7 ГГц радиосветимость объектов выборки лежит в пределах $10^{38.8-40.6}$ эрг/с со средним значением $10^{39.7}$ эрг/с. Данные РАТАН-600 подтверждают дефицит протяженного радиоизлучения: средний параметр доминирования радиоядра $\lg R \approx -0.10$ существенно превышает значения, характерные для радиогалактик FRI. Спектры с 3 и более квазиодновременными точками обладают пиком примерно в половине случаев. Рассматривается вопрос о связи радиогалактик FR0 с GPS/HFP источниками. Показано, что ряд объектов FR0 могут являться GPS/HFP источниками относительно небольшой мощности. В сантиметровом диапазоне радиогалактики FR0 обладают плоскими спектрами со сложной структурой. Это означает, что FR0 непрозрачны в радиодиапазоне, и в результирующий спектр вносят вклад несколько компонент. Отмеченное обстоятельство проявляется в среднем спектре, построенном на основе аппроксимации квазиодновременных спектров полиномами первой либо второй степени. Средний спектр можно рассматривать как суперпозицию низкочастотной и высокочастотной компонент. Высокочастотная компонента, вероятно, связана с джетами парсековых масштабов, обнаруженными зарубежными авторами в радиогалактиках FR0 в результате анализа архивных VLBI данных.

Галактики на MaNGaLe:
картирование параметров межзвездной среды на 1-м и 2.5-м телескопах
А.В. Мусеев
Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз
Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Фотометр с перестраиваемым фильтром MaNGaL (MApper of Narrow GALaxy Lines) с конца 2017 г. применяется на 1-м телескопе CAO 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 1.4 нм позволяет отдельно изучать близкие по длинам волн линии, важные для диагностики состояния газа (H α 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. В докладе 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.

Осциллятор Дуффинга и математическая модель солнечной цикличности

Ю.А. Наговицын^{1,2}, А.А. Певцов^{1,3}

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский гос. университет аэрокосмического приборостроения

³ National Solar Observatory, Boulder, USA

Предлагается интерпретация процесса солнечной цикличности как результата внешнего квази-синусоидального воздействия на осциллятор с кубической нелинейностью и линейным демпфированием. Для этого использовалась эмпирическая амплитудно-частотная зависимость в сравнении с теоретической зависимостью, полученной методами усреднения Крылова–Боголюбова. В качестве данных мы использовали новую версию 2.0 числа пятен SN [1], начиная с 1700 года, и версию числа групп пятен GN [2], шкалированную в SN , для 17 века. Полученный результат имеет лучшую внутреннюю согласованность, чем наш ранний результат [3] для версии 1.0 SN . Это подтверждает обоснованность введения новых версий SN и GN . В качестве основного результата отметим, что, хотя наша интерпретация солнечного цикла является математическим приближением, она объясняет ряд свойств изменчивости солнечного цикла.

1. Clette, F.; Svalgaard, L.; Vaquero, J.M.; Cliver, E.W.: 2014, *Space Sci. Rev.*, **186**, 35.

2. Svalgaard, L.; Schatten, K.H.: 2016, *Sol. Phys.*, **291**, 2653.

3. Nagovitsyn, Y. A. 1997, *Astr. Lett.*, **23**, 742

Незатухающие изгибные колебания как инструмент для диагностики магнитного поля в короне Солнца

В.М. Накаряков

***Санкт-Петербургский филиал Специальной Астрофизической Обсерватории РАН
Physics Department, University of Warwick, U.K.***

Петлеобразные неоднородности плотности плазмы, вытянутые вдоль магнитного поля – магнитные петли короны Солнца – являются одной из важнейших плазменных структур солнечных активных областей и, возможно, всей закрытой короны. Физические условия в петлях определяют динамические процессы в соответствующих областях короны, в частности, вероятность и масштаб импульсных энерговыделений, таких как выбросы массы и вспышки. Таким образом, диагностика параметров плазмы и магнитного поля является необходимым элементом успешного предсказания космической погоды. Изгибные колебания плазменных петель наблюдаются с помощью современных изображающих телескопов, расположенных в космосе и работающих в КУФ диапазоне. Анализ наблюдений изгибных колебаний подтверждает их интерпретацию как стоячих быстрых магнитозвуковых мод. Показано, что незатухающий режим изгибных колебаний может быть проявлением автоколебаний плазменных петель, поддерживаемых грануляционными и супергрануляционными течениями в качестве внешнего источника энергии. Моделирование изгибных колебаний демонстрирует возможность сейсмологической диагностики ключевых параметров активных областей, таких как величина магнитного поля, электрические токи и непотенциальная магнитная энергия. Наиболее перспективным является применение данного метода для диагностики активных областей перед их быстрой дестабилизацией, приводящей к выбросам массы и вспышкам.

**О возможном движении центральной сверхмассивной черной дыры в сглаженном
потенциале Галактики**

И.И. Никифоров, А.В. Веселова

Санкт-Петербургский государственный университет

Недавние успехи в моделировании орбит S-звезд в окрестности сверхмассивной черной дыры (СМЧД, Sgr A*) в центральной области Галактики позволили получить статистически точные и абсолютные (не требующие калибровок шкал расстояний) оценки расстояния от Солнца до СМЧД (GRAVITY Collaboration et al., 2019, Do et al., 2019). Обсуждается вопрос, в какой степени эти результаты решают две фундаментальные проблемы галактической астрономии – определение расстояния от Солнца до центра Галактики и однозначность локализации самого центра. Непосредственной целью работы является выяснение возможного масштаба орбитальных осцилляций СМЧД на основе современных измерений пекулярной/остаточной скорости СМЧД. Задача решается путем численного интегрирования орбиты комплекса в составе СМЧД и ядерного звездного скопления (ЯЗС) в регулярном поле Галактики. Показано, что включение в число центральных компонент модели последнего даже небольшого по массе классического балджа сильно ограничивает возможные отклонения СМЧД от центра Галактики. Однако существование такого балджа в нашей Галактике является гипотетическим. Из подтвержденных компонент потенциала Галактики сильнее всего стабилизирует осцилляции СМЧД ядерный звездный диск: для принятых номинальных величин компонент начальных скоростей возможные отклонения СМЧД от барицентра не превышают 7.5 пк, при величинах скоростей в пределах уровня значимости 2σ – 16 пк. Найденный размах орбитальных осцилляций комплекса СМЧД + ЯЗС (~10–15 пк) и определяет масштаб возможного различия между расстоянием до СМЧД и расстоянием до центра Галактики по современным данным. Точность текущих измерений расстояния до СМЧД приближается к уровню, когда возможность осцилляций СМЧД нужно будет принимать во внимание. Обсуждается возможный размах осцилляций СМЧД + ЯЗС в вертикальном направлении.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 18-02-00552.

1. Do T., Hees A., Ghez A., et al. // Sci. 2019. V. 365. P. 664.

2. GRAVITY Collaboration (Abuter R. et al.) // Astron. Astrophys. 2019. V. 625. P. L10.

Моделирование нагрева электронов бесстолкновительными ударными волнами
И.Д. Опарин, Ю.А. Кропотина
Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого

Бесстолкновительные ударные волны в астрофизической плазме встречаются в широком диапазоне объектов: в Солнечной системе, остатках сверхновых и скоплениях галактик. Для адекватной интерпретации спектроскопических данных по этим объектам представляет интерес исследование процессов нагрева электронов и определение отношения температур электронов к температуре ионов T_e/T_i , устанавливающегося в области за фронтом ударной волны. В бесстолкновительной плазме обмен энергии между частицами происходит через взаимодействие с электромагнитным полем и плазменными волнами, что существенно усложняет изучение этих процессов.

Аналитические оценки отношения температур [1] дают два предела для величины T_e/T_i : в случае низких звуковых чисел Маха ($M_s < 2$), в то время как для высоких значений чисел Маха ($M_s > 60$) T_e/T_i стремится к отношению масс m_e/m_i . Однако при получении этих оценок делается ряд допущений.

В то же время, наиболее точным методом изучения бесстолкновительных ударных волн является кинетическое particle-in-cell моделирование, из первых принципов учитывающее коллективные эффекты в плазме. В данной работе с помощью PIC-моделирования кодом *SMILEI* [2] была проведена диагностика плазмы в области за фронтом ударной волны и получены значения отношения температур T_e/T_i в зависимости от параметров ударной волны: магнитозвукового числа Маха (M_{ms}), плазменного параметра β и угла наклона фронта ударной волны θ по отношению к направлению внешнего магнитного поля.

Полученные результаты могут быть также применены для феноменологического задания уравнения состояния электронов в гибридных кинетических кодах.

[1] Vink, J., Broersen, S., Bykov, A., & Gabici, S. 2015, *A&A*, **579**, A13

[2] Derouillat J. et al., 2018, *Comput. Phys. Commun.*, **222**, 351

Структура и кинематика волокна Mon R1

Л.Е. Пурогов¹, N.K. Bhadari², L.K. Dewangan²

¹*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

²*Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India*

Исследованы свойства протяженного волокна в комплексе Monoceros R1 по архивным данным наблюдений в линиях CO (FUGIN) и в континууме (Herschel). На противоположных концах волокна расположены области массивного звездообразования. Волокно неоднородно, в центральной и западной его частях наблюдаются пылевые фрагменты. Сделаны оценки масс и линейных масс различных частей волокна. По данным 13CO(1-0) исследована кинематика и определены градиенты скорости в центральной и западной частях волокна. Проведено сравнение свойств волокна Mon R1 со свойствами некоторых других молекулярных облаков.

Космические лучи в Галактике: ускорение в остатках сверхновых и перенос в межзвездных магнитных полях

В.С. Птускин

***Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк***

Наша Галактика заполнена космическими лучами – релятивистским газом протонов, ядер, антипротонов, электронов и позитронов. Непосредственно наблюдаемый энергетический спектр космических лучей простирается от 1 МэВ до 10^{20} эВ. Основная доля частиц ускоряется ударными волнами в галактических остатках сверхновых. Позитроны и часть электронов, по-видимому, ускоряются пульсарами и пульсарными туманностями. Ускорение космических лучей с энергиями выше примерно 10^{18} эВ ассоциируется с внегалактическими источниками. Изучение космических лучей непосредственно связано с результатами радио-, оптических, рентгеновских и гамма-астрономических наблюдений нетеплового электромагнитного излучения. В последнее время в это перечисление входит и астрономия нейтрино высоких энергий.

Настоящий краткий обзор включает обсуждение новейших экспериментальных данных, которые во многом изменили традиционные представления о космических лучах, а также результаты последних теоретических исследований процессов ускорения частиц на ударных волнах и их последующего распространения в Галактике.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 19-02-00043

Открытые вопросы магнитоплазменного подхода к физике солнечных и звездных вспышек

Л. Пустильник

Израильский Центр космической погоды и космических лучей, Тель-Авивский университет и Университет Ариэля, Израильское космическое агентство и Институт Шамира

Магнитоплазменная парадигма вспышечного энерговыделения имеет драматическую историю с момента своего происхождения и по настоящий момент. В начальный период (1939 г.) причиной драматического противостояния было жесткое противоречие прямых наблюдений факта причинно-следственной связи вспышек и магнитных полей с невозможностью их объяснить и описать на языке тогдашней физики из-за огромной проводимости в солнечной атмосфере, исключая быструю диссипацию магнитных полей в рамках стандартного МГД подхода.

В начале 1970-х годов С.Б. Пикельнер, С.А. Каплан и В.Н. Цытович совершили ключевой прорыв, включив в рассмотрение турбулентность космической плазмы, ее раскачку и такие ее аномальные свойства, как турбулентная проводимость, теплопроводность и самоорганизация в турбулентном плазменном котле.

Однако сейчас, по прошествии почти 80 лет с пионерской работы Джованелли (1939), великолепные наблюдения Солнца с высочайшим пространственным и временным разрешением привели к формированию очевидных противоречий между этими наблюдениями и господствующими теориями и моделями (аналогично ситуации в конце 1930-х годов) запаса и высвобождения магнитной энергии в ходе вспышек. Открытие тонкой структуры магнитных полей над активными областями Солнца резко обострили проблему предвспышечного равновесия многочисленных (десятки–сотни) магнитоплазменных изолированных и экранированных токомагнитных жгутов постоянного сечения, пронизывающих солнечную атмосферу от фотосферы до короны и наблюдаемых в многочисленных экспериментах. Такие изолированные и экранированные жгуты не могут быть чисто бессиловыми, но должны находиться в сильном взаимодействии с окружающими их токомагнитными структурами. Другой проблемой вспышечного энерговыделения является крайняя нестабильность турбулентного тонкого токового слоя, где, согласно современным воззрениям, и происходит собственно процесс вспышечной диссипации.

Возможным выходом из имеющегося противоречия может быть радикальный переход от принятого на сегодня описания как статического равновесия квазиоднородных магнитных структур к динамическому равновесию ансамбля сильно взаимодействующих токомагнитных элементов, в котором происходит постоянная двухуровневая перколяция токов и магнитных напряжений с самоорганизацией распределения токов и полей, включая и многочисленные токовые слои. Мы описываем возможную картину накопления и разрядки магнитной энергии в такой динамической системе и показываем, что в таком подходе находит естественное объяснение наблюдаемое в солнечных и звездных вспышках степенное распределение частоты вспышек по амплитуде и степенное же распределение ускоряемых во вспышках частиц (космических лучей) по энергиям.

Наблюдательные проявления возможного влияния экзопланет на химический состав атмосфер родительских звезд

*Т.А. Рябчикова, Л.И. Машонкина, Ю.В. Пахомов, Т.М. Ситнова, М.Д. Неретина,
С. Звягинцев, В.В. Цымбал*

Институт астрономии Российской академии наук, Москва

Одной из важнейших проблем является исследование формирования планет вокруг звезд и влияние этого процесса на химический состав родительской звезды. Эти исследования проводятся по спектральным наблюдениям и их интерпретации многими группами астроспектроскопистов. В настоящее время в литературе существует множество исследований проблемы, основанных на анализе высокоточных спектров, дающих часто противоречивые результаты. Наиболее точные данные о влиянии формирования планет на химический состав атмосфер родительских звезд можно получить из сравнения химического состава компонентов широких двойных систем с экзопланетой вокруг одного из компонентов и сопоставления этих результатов с химическим составом подобных систем без экзопланет.

Представлены результаты сравнительного анализа двух двойных систем без экзопланет – спектрально-двойной системы HD 60803 и широкой двойной пары HD 219452 A/B, а также широкой двойной пары 16 Лебеда A/B с планетой-гигантом вокруг компонента В. Наши результаты показывают, что в пределах ошибок содержание элементов от С до Ва одинаково в атмосферах компонентов двойных систем без планет и с планетами, и нет корреляции относительных содержаний с атомным номером элемента или с температурой конденсации, что свидетельствует об отсутствии заметного влияния формирования планет-гигантов на атмосферу родительской звезды.

Образование нейтронного вещества и гипертяжелых ядер. Нейтронное вещество как возможная составляющая первичной космогенной и современной темной материи

Г. Б. Рязанцев¹, В.И. Высоцкий²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия

²Киевский национальный университет имени Т.Г. Шевченко, Украина

Обсуждаются возможные механизмы создания гипертяжелых ядер путем электронно-ядерного коллапса и нейтронной материи путем конденсации ультрахолодных нейтронов (УХН). Принципиальная возможность создания таких объектов была ранее обоснована А.Б. Мигдалом, который предположил, что известный набор протон-нейтронных ядер с массовыми числами от 0 до 300 и удельной энергией связи около 8 МэВ / нуклон при $A \approx 60$ (в области железа) соответствует первой области, за которой (начиная примерно с заряда $Z \approx 1700$) находится еще одна область возможного состояния ядерной материи, стабилизированного пионным конденсатом. В этой области удельная энергия связи соответствует 20 МэВ / нуклон при $A \approx 200000$. В докладе также анализируются условия образования нейтронного вещества и показано, что его систематизация может быть оформлена как дополнение к Периодической системе. При решении таких задач становится вполне реальным изучение не только физических, но и химических, а возможно, и инженерно-технических свойств таких систем. Анализ показывает, что нейтронная материя уже достаточно устойчива на микроуровне благодаря взаимодействию Гамма, бета-равновесию Хунда, и может быть устойчивой не только на мегауровне (нейтронные звезды) за счет гравитационного взаимодействия, как априори предполагалось ранее, но также в масштабе «обычной» макроматерии. Анализ показывает, что процесс нейтронизации возможен не только при критическом гравитационном взаимодействии, но и через другие механизмы (сверхкритическое увеличение атомного номера элементов за счет электронно-ядерного коллапса и конденсации ультрахолодных нейтронов), что открывает путь к фундаментальной возможности получения как нейтронного вещества в лабораторных условиях, так и гипертяжелых ядер. Возможность существования (и получения в лабораторных условиях) стабильной нейтронной материи (при $Z \gg 175$, $N \gg Z$, $A > 10^3 - 10^5$ с размером 200–300 фемтометров и более) на микроуровне, а не только на мегауровне, как сейчас считается в астрофизике, основывается на работах Мигдала, Тамма и Хунда. Нейтронная материя также рассматривается как потенциальный космологический кандидат на темную материю. Следует учитывать возможность образования фрагментов нейтронной материи как темной материи (нейтральность, фемто-, пико- и наноразмеры, реликтовое охлаждение затрудняет их обнаружение к настоящему времени) уже при первоначальном зарождении Вселенной, которое является доминирующим процессом, а не слиянием первоначального меньшего числа протонов. Наблюдаемая часть Вселенной сформирована из остаточной части протонов и впоследствии распавшихся одиночных нейтронов и нестабильных фрагментов нейтронной материи (с $Z > 175$, $N \gg Z$, но $A < 10^3 - 10^5$).

Активность двух звезд с планетными системами из молодых ассоциаций Octans и Columba

И.С. Саванов

Институт астрономии Российской академии наук, Москва

При анализе наблюдательного материала из архива наблюдений космической миссий Кеплер и TESS стали возможны высокоточные фотометрические исследования активности звезд с планетными системами в молодых скоплениях (с возрастом до 1 млрд лет). В таких молодых системах на физические и химические свойства формирующихся планет в значительной мере могут влиять как продолжающийся процесс выпадения планетоземалей, так и магнитная активность центральной молодой звезды (выражающаяся в ее избыточном УФ, рентгеновском излучении, а также в корональных выбросах), которая может изменять физические свойства атмосфер близких планет. Кроме того, космическая миссия TESS предоставляет уникальную возможность для исследования фотометрической переменности блеска звезд с планетными системами в молодых движущихся группах (YMG). Нами представлены результаты анализа кривой блеска HD 33512 – яркой ($T=8,8$ зв.вел.) звезды спектрального класса F5/6V в ассоциации Octans, возраст которой оценивается равным 35 Муг, и TIC 77951245 – карлика спектрального класса M4 ($T = 12,375$ зв.вел.) в ассоциации Columba с возрастом 42 Муг. Полученные результаты сопоставлены с данными об исследуемой нами ранее звезде DS Tuc, члене молодой Tuc–Nor YMG с близкой экзопланетой с радиусом между радиусами Нептуна и Сатурна.

Исследование выполнено в рамках проекта «Исследование звезд с экзопланетами», по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение N 075-15-2019-1875).

Формирование и особенности первичных пылевых кольцевых структур в протопланетных дисках.

А.М. Складневский

НИИ физики Южного Федерального Университета (Ростов-на-Дону)

Формирование планет является одной из самых горячих тем в современной астрофизике. В ходе данного процесса пыль растёт от (суб-микронных) частиц до тел планетарной массы. Современные наблюдения даже достаточно молодых протопланетных дисков показывают присутствие неоднородных структур, которые объясняются наличием полностью сформированных массивных планет. Однако для их формирования требуется существование в диске особых зон, препятствующих быстрой миграции сантиметровых или даже метровых пылевых частиц в сторону звезд и тем самым обеспечивающих условия для дальнейшего роста пыли. С помощью численного глобального гидродинамического моделирования эволюции протопланетных систем, учитывающего процесс роста частиц, нами были обнаружены мощные кольцевые структуры, аккумулирующие значительный запас пыли. Изучены механизмы, ведущие к формированию колец. Показано, как образование колец оказывает влияние на глобальную эволюцию околозвёздной среды. В дисках и кольцевых структурах рассмотрены возможности развития различных неустойчивостей, потенциально ведущих к образованию планетезималей. Оценены темпы образования планетезималей в рассмотренных протопланетных системах.

Динамо и дискретный и непрерывный спектры солнечной и звездной активности

Д.Д. Соколов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Наблюдательные данные о солнечной и звездной магнитной активности обычно описываются как набор циклов активности. Однако анализ наблюдательных данных о солнечной активности, поддержанный аналогичным анализом данных о магнитной активности звезды V833 Tau, для которой имеются данные фотометрических наблюдений более чем за столетие, показывают, что под названием циклов активности скрываются два хотя и родственных, но различных физических явления. Одно из них представляет собой хорошо известный 11-летний (с учетом полярности являющийся 22-летним) цикл солнечной активности. При накоплении наблюдательных данных о солнечной активности и построении интегрального спектра вариаций этой активности методами вейвлет-анализа часть спектра, соответствующая этому временному масштабу, становится все более выраженной и формирует максимум спектра, который можно сравнить со спектральной линией в оптическом спектре излучения какой-либо звезды.

Другой тип вариаций активности представлен в результатах вейвлет-анализа в виде спектральных деталей, которые от цикла активности к циклу существенно меняют свою интенсивность и положение в спектре. По мере накопления наблюдательных данных эти спектральные детали заполняют непрерывный спектр, в котором формируется участок со степенным наклоном спектра. Такие степенные участки характерны для флуктуаций в различных турбулентных и конвективных системах. Эти участки спектра можно сравнить, конечно, принимая во внимание огромное различие во временных масштабах, с континуумом в излучении различных небесных тел.

Статистика времен вариации солнечной активности
С.В. Старченко, С.В. Яковлева
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН, Троицк

Мы определяем мгновенное время вариации T как отношение исследуемой величины к ее временной производной. Предлагается оригинальное для физики Солнца статистическое исследование времен вариации среднегодовых чисел Вольфа посредством модификации “Stem and Leaf Plot” методик, которые часто используются для анализа экспериментальных данных в различных областях знаний. Аргументируется высокая детальность и полезность таких процедур при интерпретации «статистически необычных» массивов данных. Необычно для T большое и бимодальное отклонение от нормального распределения, когда наиболее вероятное значение $T = -1.6$ лет (чисто положительное 0.9), а медианное и среднее: -1.23 и -2.57 . При этом среднеквадратичное $T = 37.0$, что обусловлено «тяжелыми» и чрезвычайно протяженными «хвостами» с максимумом 398 и минимумом -353 года. Соответствующие МГД динамо оценки выдают максимальную генерирующую радиальную скорость порядка нескольких м/сек и глобальный альфа эффект порядка десятых долей м/сек, что свидетельствует о глубинном залегании источников наблюдаемых солнечных пятен. Одиннадцатилетний цикл активности и его вековые вариации проявляются в том, что вышеназванные времена вариации относятся к участку монотонности, а для оценки циклических периодов они должны быть увеличены в несколько раз в зависимости от формы цикла. Для зависимости чисел Вольфа от времени по квадрату синуса нами было показано, что этот множитель в среднем около 4, но такая аппроксимация достаточно достоверна лишь на нескольких циклах подряд. Аппроксимация кардинально улучшается, если дополнительно нашим оригинальным методом наименьших квадратов учесть еще и фоновое *тороидальное* поле, которое особенно хорошо проявляется в минимумах активности и, по-видимому, мало зависит от фазы цикла. При этом множитель в среднем возрастает до величины около 4.5, а для чисто гармонической зависимости он достигает величины 2π .

Наипростейшая модель МГД динамо Земли, ей подобных экзопланет и быстро вращающихся звезд

С.В. Старченко

***Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН, Троицк***

В этой работе, возможно впервые, показано, что предпочтительной нелинейностью для вращающихся МГД динамо систем, скорее всего, является не общепринятая кубическая или ей подобная нелинейность, а нелинейность, обратно пропорциональная величине усредненного магнитного поля или электрического тока. Соответствующие и ранее не исследованные простейшие модели подобны геодинамо, планетам и экзопланетам Земной группы, а также быстро вращающимся звездам. Формальное описание всех этих моделей состоит всего из одного нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения. Это описание определяет параллельная току компонента векторного произведения скорости течения на магнитное поле, которая оценивается из усредненного силового уравнения Навье–Стокса и соответствующей подстановки в уравнение магнитной индукции. Полученные при этом простейшие модели успешно как воспроизводят, так и проясняют физическую природу основных проявлений МГД геодинамо и многих других вращающихся динамо-систем. Представляется перспективным применение полученных моделей и к другим динамо-объектам, а еще интересней, думается, последовательное комбинирование подобных простейших нелинейных и соответствующих линейных моделей с целью их усложнения и детализации. При этом возможно решение актуальных динамо-проблем, связанных с сингулярностью и недостаточно объяснимой огромной вариативностью магнитных полей в других известных динамо.

Мощные вспышки в отдельных мазерных источниках в линии водяного пара, общие черты и различия.

А.М. Толмачёв¹, Е.Е. Лехт², Н.Т. Ашимбаева²

¹Пушинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

²Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга

МГУ им. М.В. Ломоносова

В течение последних трёх-четырёх лет в ряде связанных с областями звездообразования мазерных источников в линии H_2O на волне 1.35 см произошли мощные вспышки. Нами исследованы основные характеристики этих вспышек: их амплитуда, длительность, количество вспыхивающих компонент и их доплеровские ширины, повторяемость вспышек, дрейф лучевых скоростей вспыхивающих деталей. Осуществлён поиск как закономерностей в эволюции излучения в указанной мазерной линии, так и особенностей, характерных для каждого отдельного источника.

Солнечные супер-вспышки: что мы знаем, а о чем догадываемся?

И.Г. Усоскин

Университет г. Оулу (Финляндия)

Санкт-Петербургский государственный университет

На Солнце иногда происходят взрывные процессы, такие как вспышки и корональные выбросы массы. Такие процессы могут приводить к солнечным «штормам», когда интенсивные потоки энергичных заряженных частиц обрушиваются на Землю, составляя серьезную опасность для современной высокотехнологической цивилизации и даже для жизни людей за пределами земной магнитосферы и атмосферы. Интенсивность таких штормов может меняться на много порядков величины, от едва заметных до экстремально опасных. Насколько сильные события могут происходить на Солнце, и есть ли предел? Как часто такие события могут происходить? Хотя современные наблюдательные данные не позволяют ответить на эти вопросы, экстремальные солнечные штормы в прошлом могут быть косвенно изучены с помощью прокси-данных, таких как космогенные изотопы (^{14}C , ^{10}Be , ^{36}Cl) в земных архивах и лунных породах, а также статистика по супер-вспышкам, наблюдаемых на солнцеподобных звездах. Будет представлен краткий обзор современного состояния дел в этой области и приведены наиболее точные на сегодняшний день оценки экстремальных солнечных штормов и вероятности их возникновения.

Динамика замагниченных аккреционных дисков молодых звезд

С.А. Хайбрахманов, А.Е. Дудоров

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Челябинский государственный университет

В работе в рамках теории остаточного магнитного поля исследуется динамика замагниченных аккреционных дисков молодых звезд. Кинематическая МГД-модель аккреционных дисков Дудорова и Хайбрахманова обобщается для учета динамического влияния магнитного поля на скорость вращения и вертикальную структуру диска.

С помощью динамической МГД-модели рассчитывается структура аккреционных дисков звезд типа Т Тельца. Расчеты показывают, что в областях динамически сильного магнитного поля диск вращается с субкеплеровской скоростью. Степень отклонения от кеплеровского вращения составляет порядка 5% в областях с плазменным параметром ~ 1 . Вертикальный градиент тороидального магнитного поля приводит к изменению толщины аккреционных дисков. В зависимости от граничных условий на поверхности диска, возможно как утолщение, так и поджатие диска. Отклонение толщины диска от гидростатической составляет 10–15 % вне «мертвой» зоны (области низкой степени ионизации и эффективной диффузии магнитного поля), которая при типичных параметрах для звезды типа Т Тельца солнечной массы простирается от $r=0.3$ а.е. до (10–20) а.е. Обсуждаются возможные наблюдаемые проявления замагниченных аккреционных дисков молодых звезд.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-42-740013).

Сверхбыстрая переменность профилей линий в спектрах звезд ранних спектральных классов: вызов для физики звезд

*А.Ф. Холтыгин¹, А.А. Батраков², А.Ф. Валеев³, А.В. Моисеева³, И.А. Якунин³,
С.Н. Фабрика³, М.А. Бурлак⁴, Н.П. Иконникова⁴, А.В. Додин⁴, А.Е. Костенков^{1,3},
О.А. Циона⁵, М.С. Курдюкова¹*

¹*Санкт-Петербургский Государственный университет*

²*Университет Лидса, Великобритания*

³*Специальная астрофизическая обсерватория РАН*

⁴*Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова*

⁵*Главная (Пулковская) обсерватория РАН*

Доклад посвящен программе исследования сверхбыстрой переменности профилей линий в спектрах ярких ОВА звезд на минутных и секундных шкалах времени. Наблюдения были выполнены в 2015–2017 гг. на 6-м телескопе БТА со спектрографом низкого разрешения SCORPIO, в 2019–2020 гг. со спектрографом ОЗСП, на 1.25-м телескопе Крымской станции ГАИШ МГУ и на 1-м телескопе CAO со спектрографом UAGS. Первичная редукция ПЗС-изображений спектров выполнена в средах Midas и IRAF. Получено ~8000 спектров 14 ОВА звезд. В спектрах программных звезд были обнаружены регулярные вариации профилей линий H, HeI, FeII, NII, OII, SiII с периодами от 2 до ~120 минут и амплитудами 1–2% от уровня континуума. Для поиска компонентов вариаций профилей с периодами меньше 10 минут было использовано оконное Фурье-преобразование. Были найдены транзиентные квазирегулярные компоненты вариаций профилей линий в спектрах HD 93521 (O9.5III_{nn}), ρ Leo (B1Iab), α² CVn (A0VpSiEu) и γ UMi (A2III) с временами жизни 20–100 минут. Периоды таких компонент могут изменяться за время жизни на 10–20%. Возможно, что природа таких вариаций близка к природе пятиминутных солнечных колебаний. Кроме регулярных компонентов вариаций профилей в спектрах звезд зарегистрированы нерегулярные вариации на секундных шкалах времени. Такие стохастические вариации могут быть результатом оптического послесвечения микровспышек, связанных с локальными магнитными полями на этих звездах.

Химический состав и кинематика звезд Млечного Пути: спиральные рукава, резонансы бара и структуры в фазовом пространстве.

С.А. Хоперсков

Институт астрономии Российской академии наук, Москва

В докладе будет представлено детальное исследование спиральной структуры Млечного пути по данным космического телескопа Gaia (ESA). Нами было показано, что трансформация координат звезд Млечного Пути в пространство углового момента позволяет надежно установить положения спиральных рукавов, которые хорошо согласуются с данными мазерных источников. Оценка положения резонансов бара ограничивает скорость углового вращения бара в узком диапазоне 38–41 км/с/кпк. Кроме того, нами показано, что спиральные рукава (и резонансы бара) являются радиально протяженными структурами, что обеспечивает и связь с известными кинематическими особенностями звезд в окрестности Солнца. Кроме того, объединение каталога Gaia EDR3 с данными наземных спектроскопических обзоров (Galah DR3, APOGEE DR16, LAMOST DR5) позволяет утверждать, что Галактический спиральный узор выделяется по химическому составу звездных населений. В частности, средняя металличность звезд в рукавах на 0.05 dex превышает межрукавные значения. В свою очередь, резонансы бара также обладают особенностями, в частности, внешний линбладовский резонанс, ограничивая миграцию звезд из центра Галактики, способствует резкому падению средней металличности звезд на расстояниях больше 9 кпк от центра Галактики.

О формировании солнечных спикул в атмосфере Солнца

Ю.Т. Цан, Ю.Г. Копылова

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт Научный

В 1969 г. С.Б. Пикельнер [1] разработал модель формирования солнечных хромосферных спикул, основанную на представлениях о пересоединении магнитных силовых линий в токовом слое с развитой ионно-звуковой турбулентностью. В свете этой гипотезы, предполагающей, что толщина токового слоя должна составлять порядка одного метра, и современных представлений рассматриваются процессы магнитной диффузии в частично ионизованной плазме. Обсуждается влияние диссипации токов различной природы на «вмороженность» в плазму и изменение топологии магнитных силовых линий. Проведен анализ зависимости коэффициента магнитной диффузии в атмосфере Солнца от высоты. Показано, что вследствие столкновений ионов с нейтральными атомами наиболее эффективно пересоединение происходит в верхней хромосфере. При этом обращено внимание на необходимость учета как нестационарности, так и неоднородности плазмы. Толщина токового слоя в случае эффективной эвакуации из него хромосферного вещества и рекомбинации ионов и электронов может превышать десятки километров. Это приводит к формированию солнечных выбросов, что хорошо согласуется с идеей С.Б. Пикельнера и современными наблюдениями.

1. Pikel'ner S.B. Sov. Astron. 1969. Vol. 13. P.259–266.

Атмосферные потери для горячих экзопланет
В.И. Шематович
Институт астрономии Российской академии наук, Москва

В протяженных водородных атмосферах горячих экзопланет, таких как суб-нептуны, планеты-океаны, супер- и экзо-земли на близких к родительской звезде орбитах, протекают как тепловые так и нетепловые процессы, приводящие к потере атмосферы (Massol и др., 2016; Owen, 2019). В частности, фотолиз богатой водородом атмосферы горячей экзопланеты жестким излучением родительской звезды приводит к образованию надтепловых частиц (т.е. частиц с избытком кинетической энергии) – первичных фотоэлектронов при фотоионизации основных компонент $H_2/H/He$ и надтепловых атомов водорода в процессах диссоциации и диссоциативной ионизации H_2 , а также надтепловых атомов C и O в процессах диссоциации малых примесей H_2O и CO_2 (Shematovich et al., 2015). Эти частицы с избыточной кинетической энергией являются важными драйверами нетепловых процессов потери атмосферы горячими экзопланетами.

Для исследования данной проблемы был разработан комплекс кинетических моделей Монте-Карло для изучения детальной кинетики образования, переноса и релаксации надтепловых частиц в атмосферах горячих экзопланет (Shematovich et al., 2015), который, в частности, позволяет рассчитать скорости потери атмосферы для экзопланет на близких к родительской звезде орбитах и, соответственно, оценить, какая доля исходных H_2 - He оболочек может сохраниться на ранних стадиях эволюции остаточного диска. В докладе представлен обзор оригинальных результатов исследований автора и коллег по проблеме потери атмосферы горячими экзопланетами. На примере горячей экзопланеты – нептуна GJ436b представлены теоретические оценки скорости потери атмосферы за счет тепловых и нетепловых процессов и приведено сравнение с результатами других авторов и с данными последних наземных и космических наблюдений. Эти оценки обеспечивают важные знания о физических состояниях соответствующих планетных атмосфер, скоростях потери атмосферы и эволюции планеты и могут быть использованы при планировании программы наблюдений космического телескопа «Спектр-УФ».

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование звезд с экзопланетами» по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение № 075-15-2019-1875). **Observations of the OH excited**

rotational states masers with Ventspils radio telescopes

I. Shmeld, A. Aberfelds, V. Bezrukovs

Ventspils University of Applied Sciences, Ventspils International Radio Astronomy Centre

Molecular masers including methanol and hydroxyl masers, in particular the ones in excited rotational states (ex-OH masers) are one of the most informative tools for studying star-forming regions. So, the discovery of new maser sources in these regions is of great importance. Most of studies and surveys of ex-OH maser sources have been carried out in the Southern celestial hemisphere, not in the Northern hemisphere. With the aim particularly to close this gap, 272 star-forming regions in the Northern hemisphere with known active methanol masers were observed by the 32 m and 16 m radio telescopes of the Ventspils International Radio Astronomy Center (VIRAC). Some new ex-OH maser sources were discovered.

The preliminary results of this effort are reported. The brief introduction to the characteristics of the Ventspils radio telescopes also is given.

This work was supported by the Latvian Council of Science Project “Research of Galactic Masers” Nr.: lzp-2018/1-0291.

Формирование бара и балджа в моделях Галактики
Л.В. Шпигель, Е.В. Поляченко
Институт астрономии Российской академии наук, Москва

Численно исследуются две модели дисковой галактики, характеризующиеся наличием классического балджа и отсутствием спиральной структуры в начале моделирования. При сходных кривых вращения и балджах, одна из моделей оказывается значительно более неустойчивой к формированию бара, так что заметный бар формируется в течение 100 млн лет. Во второй модели соответствующее время почти на порядок больше – 700 млн лет. На фоне быстро сформировавшегося бара в первой модели протекает вторичная (изгибная) неустойчивость, приводящая к резкому увеличению толщины бара. Такой бар можно ассоциировать с псевдобалджем. Во второй модели утолщение бара происходит постепенно.

История звездообразования в галактике GN-z11
Ю.А. Шекинов¹, В.В. Nath², Е.О. Васильев³, С.А. Дроздов¹
¹Физический институт РАН (ФИАН)
²Raman Research Institute, Индия
³Южный федеральный университет

Рассматривается возможный сценарий звездообразования в самой далекой галактике Вселенной (спектроскопическое красное смещение $z=11.09$, возраст Вселенной около 400 млн лет). Обнаружение галактики GN-z11 недавно подтверждено наблюдениями на Keck I. Возраст звездного населения около 40 млн лет. Оценка металличности оказалась необычно высокой для таких красных смещений, $[Z/H] \sim -0.65$. При этом покраснение практически отсутствует, $\sim 0.01 \pm 0.01$. Мы предлагаем модель эволюции галактики в предшествующие ~ 40 млн лет, которая могла бы объяснить ее наблюдаемые свойства.

Исследование области звёздообразования L379 по радиолиниям метанола и других молекул
М.А. Щуров, С.В. Каленский
Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева, Москва

Представлены результаты спектральных наблюдений области образования звезд большой массы L379IRS1 (IRAS18265–1517), проведенных на 30-м радиотелескопе IRAM на горе Пико-Велета (Испания) в диапазонах длин волн 1 мм, 2 мм и 3 мм.

По результатам обработки в программе CLASS (Continuum and Line Analysis Single-dish Software) и при помощи самостоятельно написанной на языке C++ программы RCP были рассчитаны лучевые концентрации всех обнаруженных соединений (24 молекулы). Для нескольких из них (CH_3OH – метанол, CH_3CN – метилцианид, CH_3OCH_3 – диметилэфир) дополнительно были построены вращательные диаграммы, которые позволили точнее определить температуру спокойного «тёплого» газа и значение лучевых концентраций этих молекул и уточнить физические параметры в исследуемом источнике.

Наиболее богатый молекулярный состав зафиксирован в направлении $-4''$, $+20''$ относительно координат IRAS18265–1517 (RA(2000) = 18:29:24.8, DEC(2000) = $-15:15:49.0$). Здесь обнаружены линии 21 молекулы. Данное направление соответствует пику излучения на длине волны 800 мкм. Излучение 19 молекул найдено в направлениях $10''$, $+15''$ и $-8''$, $-15''$. Согласно более ранним работам, именно в этих трёх направлениях находится наиболее горячий газ.

Для метанола вращательные диаграммы строились для трёх серий линий на частотах 145, 157 и 241 ГГц в двенадцати направлениях. Анализируя полученные при помощи вращательных диаграмм данные, для этих направлений мы определили вращательную температуру метанола, кинетическую температуру газа, его плотность, а также обилие метанола.

Мы пытались оценить величину содержания метанола $[E]/[A]$ в L379IRS1 при помощи программы RADEX (часть Лейденской атомной и молекулярной базы данных LAMDA) методом большого градиента скорости. Согласно нашим наблюдениям, в направлении $20''$, $+38''$ эта величина составила $[E]/[A] \sim 1$ для переходов $5_K - 4_K$ и $3_K - 2_K$ на частотах 241 ГГц и 145 ГГц, соответственно.

Вращательные диаграммы, построенные по линиям метилцианида, показали, что вращательная температура спокойного газа меняется в пределах 43–55 К, что соответствует температуре, определённой по линиям метанола. Это значение совпадает с результатами более ранних работ. Очевидно, что узкие линии метилцианида отслеживают тот же газ, что и линии метанола. Компонент, ответственный за широкие линии, которые наблюдались в переходах 8_6-7_6 и 8_7-7_7 , должен иметь более высокую температуру, чтобы возбуждать такие уровни. Нами обнаружено излучение для одной из этих линий в направлениях $0''$, $+30''$ и $-4''$, $+20''$ и для обеих линий в направлениях $0''$, $-15''$ и $-8''$, $-15''$. Это является свидетельством того, что в данных направлениях могут присутствовать компактные горячие ядра.

Существование горячего газа подтверждает наличие в спектрах линий молекул, возникающих в горячих областях (например, CH_3OCH_3 – диметилэфир), мазерного излучения на молекулах воды (Пащенко и др. 1994, Пащенко и др. 2005) и метанольных мазеров II класса на частоте 6.7 ГГц (Walshetal. 1998).

В спектрах обнаружены бленды линий излучения диметилэфира по направлениям $-8''$, $-15''$ и $-4''$, $+20''$. Для каждого из этих направлений была построена вращательная диаграмма, по которым была определена температура газа 44 К и 33 К, соответственно. Такая низкая вращательная температура может объясняться как вкладом в излучение от

спокойного газа, так и тем, что кинетическая температура газа может быть значительно выше вращательной.

Анализ химического состава, лучевых концентраций $C^{18}O$ и обнаруженных в L379IRS1 молекул показывает хорошее совпадение со значениями, полученными при более раннем исследовании другой области – DR21(OH), за исключением молекулы двуокиси серы. В L379IRS1 её концентрация значительно (в ~ 20 раз) ниже, чем в DR21(OH). В то же время концентрация других серосодержащих молекул (напр. CS, OCS и т.д.) отличается всего вдвое, то есть источник L379IRS1 может быть химически моложе, чем DR21(OH) и его возраст составляет $<10^5$ лет.

Walsh et al. 1998 – A.J. Walsh, M.G. Burton, A.R. Hyland, G. Robinson, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. **301**, 640 (1998).

Пащенко и др. 1994 – М.И. Пащенко, А. М. Ле Скерен, Письма в АЖ, **20**, 85 (1994).

Пащенко и др. 2005 – М.И. Пащенко, Е.Е. Лехт, Астрон.Журн. **82**, 699, (2005)

Астрофизические исследования на Майданакской обсерватории: современное состояние и перспективы

Ш.А. Эгамбердиев

Астрономический институт АН Республики Узбекистан

В докладе будут представлены международные программы исследований (блазаров, послесвечений гамма-всплесков, сверхновых и т.д.) на Майданакской обсерватории в разработке теоретических основ имеющих место физических явлений, в которой большую роль сыграли идеи С.Б Пикельнера и С.А.Каплана.

Вспышки в комплексах активности на Солнце

С.А. Язев, В.М. Томозов

Иркутский гос. университет, Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

Выполнен анализ вклада активных областей в составе комплексов активности (КА) в 24 цикле в общую статистику вспышечной деятельности Солнца. Всего с 1 января 2009 по 31 декабря 2018 наблюдалось 1700 активных областей (АО). Они были разбиты на три типа: АО в составе ядер КА (области постоянной пятенной активности в течение трех оборотов), АО в составе ветвей КА (АО, связанные с АО в ядрах КА корональными петлями), и АО вне КА (соответственно 382, 148 и 1157, т.е. 30% имели отношение к КА). Показано, что 78% вспышек указанных классов происходят в группах пятен, расположенных в ядрах и в ветвях КА. Удельное число вспышек в ядрах КА в 2,5 раза превышает соответствующий параметр в ветвях КА и за пределами КА. С КА связаны 87% LDE-вспышек указанных классов, 82% всех сильных протонных вспышек, генерирующих потоки энергичных протонов на орбите Земли, а также 74% всех гамма-вспышек в 24 цикле. Проанализированы АО, отличающиеся высокими значениями вспышечного индекса и в то же время развивавшиеся вне КА. Таких объектов в 24 цикле выделено 13. Показано, что эти АО относятся к разряду сравнительно долгоживущих крупных групп пятен, отличающихся повышенной скоростью роста площади. Эти АО входят в состав комплексов АО, соединяются с другими АО системами высоких корональных систем, включая трансэкваториальные. Часть таких АО ассоциируется авторами с короткоживущими (менее 3 кэррингтоновских оборотов) комплексами активности, часть является компонентами комплексов АО. Все 13 рассмотренные АО находились рядом с корональными дырами. Сделан вывод о том, что практически все сильные вспышки в цикле происходили в КА.

Хромосферные спикулы II типа

Г.В. Якунина

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Хромосфера является одним из наименее изученных слоев солнечной атмосферы. Недавние наблюдения с хорошим временным и пространственным разрешением (Hinode) позволили обнаружить так называемые спикулы II типа (DePontieu et al., 2007), более подходящие для установления связи холодная хромосфера – горячая корона (Hara et al., 2008). Спикулы II типа имеют скорости более 100 км/сек, более короткое время жизни, чем традиционные спикулы. В течение последнего десятилетия был достигнут значительный прогресс в более глубоком понимании спикул II типа и их влиянии на солнечную атмосферу. Представлен краткий обзор результатов наблюдений хромосферных спикул II типа и их возможной роли в переносе энергии и нагреве короны. Оценка энергии, поставляемой спикулами, показывает, что спикулы могут играть большую роль в динамике и нагреве короны. Использовались данные, полученные наземными и космическими телескопами.

В работе Делоне и Макаровой (1969) получено, что профили зеленой корональной линии имеют более широкие крылья, чем доплеровские профили (затмение 1965 г.). Наблюдения были выполнены на установке с интерферометром Fabry–Perot, созданной в ГАИШ. Позже (1982 г.) были рассмотрены данные наблюдений нескольких солнечных затмений, подтверждающие существование многокомпонентных профилей эмиссионных линий Fe X 6374 Å и FeXIV 5303 Å. Результаты интерпретировались как свидетельство существования в короне множества мелких движущихся объектов. Некоторые наблюдатели подтвердили эту точку зрения (Desai et al., 1982). С другой стороны, около 15 интерферометрических и многоцелевых исследований корональных линий не показали признаков движущихся элементов. Возможно, это было связано с недостаточным пространственным разрешением.

**Моделирование туманности с пекулярным эмиссионным спектром в
низкометаллической галактике NGC 4068**

А.Д. Яровова¹, О.В. Егоров¹, А.В. Моисеев^{2,1}, О.В. Марьева²

¹Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз

Доклад посвящен изучению туманности, обнаруженной в галактике NGC 4068 и характеризующейся высокой светимостью и повышенной дисперсией скоростей в линии H α . Спектры туманности, полученные на 6-метровом телескопе БТА САО РАН и 2,5-метровом телескопе КГО, отличаются высокой интенсивностью в линиях [NII], H α , [OIII] при низком отношении [SII]/[NII]. Мы проверяем несколько предположений о природе звезды, ионизирующей изучаемую туманность (звезда Вольфа–Райе, голубой сверхгигант). В результате проведенной работы мы убедились, что исследуемый объект не является планетарной туманностью. Вместе с этим мы показали, что гипотеза о наличии голубого сверхгиганта (BSG), находящегося в короткоживущей эволюционной стадии, позволяет воспроизвести наблюдаемые свойства объекта. Фотоионизационные модели туманности были построены с помощью программы CLOUDY и моделей спектров BSG звезд, полученных при помощи кода CMFGEN. Построенные модели дают хорошее согласие с наблюдаемым спектром в оптическом диапазоне, позволяя объяснить низкие потоки в линиях серы при высоком содержании азота.