Всероссийская астрономическая конференция

ВАК-2021

«Астрономия в эпоху многоканальных исследований»

23-28 августа 2021 года, ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова
Москва, Россия
http://www.vak2021.ru

Оглавление

Пленарные заседания 3

Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе 21

Астрометрия и небесная механика 54

Звёзды и межзвёздная среда 103

Планеты и планетные системы 209

Релятивистская астрофизика и гравитационные волны 261

Современная звёздная астрономия 306

Солнце 337

Физика галактик и космология 386

Астрономическое образование и популяризация астрономии 458

Женщины в астрономии 466

Всероссийская астрономическая конференция

Пленарные заседания

2021

Оптические телескопы и приборы: статус и перспективы

Балега Ю.Ю. | Власюк В.В. | САО РАН | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Представлено общее состояние инструментальной базы наземной оптической и инфракрасной астрономии в мире. Более детально рассмотрены новейшие проекты больших телескопов и их оборудования. Анализируется сложившееся положение с наблюдательным инструментарием в нашей стране. Даны выводы о необходимых шагах для развития исследовательских возможностей в этой области спектра. В дополнение кратко анализируется возможность развития в России астрономии миллиметрового диапазона с учетом складывающихся реалий.

Радиотелескопы России – состояние и перспективы

Ипатов А.В. | ИПА РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В докладе приведены данные об основных Российских радиотелескопах миллиметрового и сантиметрового диапазона длин волн.

Первым Российским радиотелескопом этого класса следует считать РТ-22 в Пущино. Радиотелескоп принят в эксплуатацию в 1959 г. Основное применение РТ-22 - исследование областей звездообразования и звезд поздних классов по наблюдениям атомарных и молекулярных спектральных радиолиний. Ряды наблюдений для мазеров в линии водяного пара являются максимальными в мировой радиоастрономии. В настоящее время проводятся регулярные спектральные наблюдения более 150 мазерных источников H_2O. За последние 15 лет опубликовано более сотни работ по данным наблюдений на радиотелескопе РТ-22.

Второй радиотелескоп РТ-22 в Симеизе введен в строй в 1966 г. Инструмент в течение 15–20 лет был лучшим в мире радиотелескопом миллиметрового диапазона длин волн. До сих пор остается в десятке наиболее эффективных инструментов в мире. 1969 год - первые в мире межконтинентальные РСДБ наблюдения. 1994 год - первые в СНГ геодинамические наблюдения. За полвека с помощью РТ-22 был получен целый ряд первоклассных научных результатов – от исследований Солнца, активных ядер галактик, объектов звездообразования до изучения движения континентов и Крыма, поиска «космического мусора» и создания программ для космических проектов. В 1975 году введен в строй РАТАН – 600 - многоэлементная антенна переменного профиля диаметром 600 м. Это инструмент коллективного пользования. Радиотелескоп предназначен для измерения мгновенных радиоспектров в диапазонах 1-30 ГГц. На нем проводятся массовые обзоры неба и мониторинги. В 1981году в урочище Бадары введен в число действующих инструментов сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) – специализированный инструмент для исследования активности Солнца. В этом году будет закончена глубокая модернизация этого инструмента. В 2005 году введена в строй первая очередь Комплекса «КВАЗАР-КВО» - три радиотелескопа с диаметром зеркала 32м для решения проблем координатно-временного обеспечения России. В 2019 году в радиоастрономических обсерваториях комплекса «КВАЗАР-КВО» установлены радиотелескопы диаметром 13,2 метра позволившие получить более высокую точность определения параметров вращения Земли. В докладе приведены технические характеристики инструментов радиоастрономических учреждений, приведены основные направления их деятельности, некоторые результаты и направления развития экспериментальной базы радиоастрономии.

Результаты космического телескопа Gaia

Клионер С.А. | Лормановская Обсерватория, Дрезденский технический университет

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Космический телескоп Gaia поставляет научные наблюдения с июля 2014 года. Целью проекта является каталог положений, параллаксов, собственных движений, а также фотометрической информации всех объектов ярче 21 звездной величины в оптическом диапазоне. К настоящему моменту опубликованы три версии каталога. Последняя версия получена на основе 34 месяцев наблюдений и содержит 1,8 миллиардов объектов. В настоящем докладе будут резюмированы принципы работы телескопа Gaia, а также дан обзор опубликованных результатов. Ожидается, что телескоп сможет полноценно работать до начала 2025 года и произведет в тому времени около 120 месяцев наблюдательных данных. Это позволит значительно повысить точность астрометрических параметров по сравнению с результатами опубликованными в настоящее время. Эти и другие перспективы проекта будут обсуждаться в конце доклада.

Фундаментальная радиоастрометрия

Иванов Д.В. | Гаязов И.С. | ИПА РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

В настоящее время радиоастрометрия полностью вобрала в себя традиционную проблематику фундаментальной оптической астрометрии – построение системы высокоточных координатно-временных и навигационных измерений на поверхности Земли, в мировом океане, в воздушном и космическом пространстве. Достигнуто это было, прежде всего, за счет внедрения новых технологий - высокоточных средств космической геодезии. К этим средствам относятся радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ), глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), допплеровская система DORIS, спутниковая (SLR) и лунная (LLR) дальнометрия. Данные, получаемые с помощью средств космической геодезии на несколько порядков превышают потенциал существующих наземных оптических средств и составляют: десятки микросекунд дуги при определении координат радиоисточников и параметров вращения Земли (ПВЗ), миллиметров при определении трехмерных координат точек земной поверхности и больших баз и доли миллиметров в год при определении глобальных тектонических движений. Анализ основных характеристик современных средств измерений в космической геодезии показывает, что каждое из средств обладает определенными преимуществами и недостатками. При совместном использовании средств измерений недостатки одного метода устраняются преимуществами другого, и разные методы взаимно дополняют друг друга. Комбинирование результатов различных методов позволяет получить наиболее точные данные о системах координат и параметрах вращения Земли. Объединение результатов различных методов наблюдений является наиболее эффективным при совместном размещении средств измерений на одной и той же станции. Такое размещение и использование различных средств измерений для объединения их возможностей в решении основных задач координатно-временного обеспечения, обозначается в современной космической геодезии термином «колокация» (co-location). РСДБ-комплекс «Квазар-КВО» является единственной в России сетью колоцированных обсерваторий, позволяющих проводить высокоточные наблюдения методами космической геодезии. Все обсерватории являются равноправными участниками международных организаций, таких как, IVS, IGS, ILRS, IDS, Европейская РСДБ-сеть EVN, Международная служба вращения Земли и систем отсчета (IERS), и др. В 2012 г. обсерваториям «Светлое», «Зеленчукская» и «Бадары» присвоен статус «Опорная колоцированная станция» Глобальной геодезической наблюдательной системы (GGOS) Международной ассоциации геодезии (IAG). В докладе планируется представить современное состояние работ в области фундаментальной радиоастрометрии.

Изменения периодов цефеид и звездная эволюция

Бердников Л.Н. | Самусь Н.Н. | ГАИШ МГУ | ИНАСАН, ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Классические цефеиды - важные объекты для исследований звездной эволюции и построения шкалы расстояний во Вселенной. Исследования изменений их пульсационных периодов позволяют определить порядковый номер наблюдаемого пересечения цефеидой полосы нестабильности, а следовательно, уточнить светимость объекта. В ГАИШ МГУ на протяжении многих лет ведется изучение изменений периодов цефеид на основе оценок блеска на пластинках самой богатой в мире Гарвардской фототеки, фототеки ГАИШ, фототек других обсерваторий, новых оригинальных фотоэлектрических и ПЗС-наблюдений, литературных данных. Обнаружены прогрессивные изменения периодов 202 цефеид. Реальность изменений периодов подтверждена статистическими тестами. На прогрессивные изменения периодов накладываются циклические изменения.

Молодые звезды

Ламзин С.А. | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Краткий обзор современного состояния исследований классических звезд типа Т Тельца и Ае/Ве Хербига. Будет рассказано о современном состоянии теории магнитосферной аккреции вещества протопланетного диска у этих объектов, ее успехах и нерешенных проблемах. Предполагается также рассказать о связи процессов аккреции и истечения вещества из окрестностей этих звезд в форме джетов и дискового ветра.

Современные методы исследования устойчивости звездных систем

Поляченко Е.В.* | *ИНАСАН

Секция: Современная звёздная астрономия

В докладе обсуждаются проблемы теории устойчивости дисковых и сферических звездных систем.

Современная теория устойчивости берет свое начало в попытках объяснить происхождение спиральных узоров дисковых галактик. Спиральные узоры представляются в виде волн плотности, возникающих, распространяющихся и исчезающих на фоне аксиально-симметричного диска. Основные вопросы теории связаны с источником возникновения волн и возможностью установления стационарной волновой картины.

Неустойчивости в сферических звездных системах могут приводить к изменению их формы или к образованию малозаметных мелкомасштабных уплотнений. Последние вызывают ускоренную релаксацию и увеличивают поток звезд на центр скопления. С этим эффектом может быть связана, в частности, повышенная активность ядер галактик.

Применение мощных компьютеров дает возможность сравнить известные теоретические результаты с численным моделированием. Часто это приводит к появлению новых подходов для объяснения наблюдаемых в экспериментах явлений и меняет наши представления о свойствах звездных систем.

«Венера-Д»: миссия для комплексного исследования атмосферы, поверхности, внутреннего строения и окружающей плазмы Венеры

Засова Л.В. | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

«Венера-Д» - Российская миссия с участием НАСА при лидирующей роли ГК Роскосмос. Концепция проекта сформирована в результате работы Объединенной научной рабочей группы ИКИ/Роскосмос - НАСА (Joint Science Definition Team, JSDT), которая была организована в 2015 году под руководством в качестве Председателя Совета по космосу РАН Л. М. Зеленого и в качестве Директора Планетного Отделения НАСА Дж. Грина.

В СССР был создан посадочный аппарат Венера-ВЕГА, совершивший 10 посадок, причем научные приборы работали во время спуска в атмосфере и на поверхности (до 2 часов). Однако, возможности научных приборов почти 40 лет назад были ограничены.

Проект «Венера-Д» включает так называемую «базовую миссию», состоящую из основных элементов: орбитального (ОА) и большого посадочного (ПА типа ВЕГА) - 2 часа работы на поверхности (ГК Роскосмос), а также дополнительных высокотехнологичных аппаратов НАСА. Две малых метеорологичесих станции LLISSE (Long Lived In-situ Solar System Explorer, NASA) будут присоединены к ПА и проработают не менее 60 суток (1/2 суток Венеры) на поверхности, другие две долгоживущие сейсмические и метеорологические станции SAEVe (Seismic and Atmospleric Explorer of Venus, NASA) отделяются от космического комплекса до выхода на орбиту вокруг Венеры, самостоятельно совершают посадку и проработают не менее 120 суток на поверхности. Предлагается также запуск атмосферного зонда NASA с переменной высотой плавания в облачном слое, среди его научных задач – обнаружение возможной жизни в облаках Венеры.

Миссия «Венера -Д», концепция которой разработана JSDT, предполагается как первая миссия амбициозной программы изучения Венеры ГК Роскосмос, конечной целью которой является доставка грунта с Венеры.

Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет

Зеленый Л.М. | Бисикало Д.В, | Кораблев О.И. | Тавров А.В. | Ананьева В.И, | ИКИ РАН | ИНАСАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Изучение внесолнечных планет и планетных систем, сравнительная планетология – относительно новые и бурно развивающиеся направления астрофизики. За четверть века, прошедшие с момента открытия первой экзопланеты у звезды главной последовательности обнаружено почти 5 тысяч экзопланет, еще свыше 6 тыс. кандидатов ожидают подтверждения. Внесолнечные планетные системы демонстрируют исключительное разнообразие, многие планеты, найденные у других звезд, не имеют аналогов в Солнечной системе. Изучение внесолнечных планет играет важнейшую роль не только в понимании происхождения планет Солнечной системы и процессов возникновения жизни на Земле, но дают возможность увидеть и будущее Солнечной системы.

К сожалению, по ряду причин российские ученые включились в полномасштабные исследования внесолнечных планетных систем с существенным отставанием. Однако в последние годы ситуация начала меняться в лучшую сторону. С конца 2020 года ведутся работы по Гранту 075-15-2020-780 Министерства высшего образования и науки РФ, объединившего усилия 19 российских академических институтов, университетов и Вузов. Среди основных направлений исследований, поддержанных грантом: поиск новых кандидатов в экзопланеты методами фотометрических транзитов, TTV- и спектроскопическими методами, исследования околозвездных дисков и диффузного компонента планетных систем методами спектроскопии, фотометрии и фотополяриметрии, исследование физических характеристик подтвержденных экзопланет методами фотометрии, спектроскопии и спекл-интерферометрии, разработка методов прямого наблюдения экзопланет, систематизация каталогов экзопланет и создание виртуальной обсерватории – базы данных экзопланет как инструмента статистических исследований, поддержка наблюдательной программы по экзопланетам внеатмосферной обсерватории «Спектр-УФ», исследования по космогонии, моделирование процессов формирования планетных систем, орбитальной динамики и устойчивости планетных систем, детальные исследования динамической и химической эволюции, а также физических свойств

протопланетных дисков, исследования родительских звезд имеющих экзопланеты или в системах с экзопланетами, исследование образования и эволюции первичных и вторичных атмосфер и потенциальной обитаемости экзопланет, создание и развитие аэрономических моделей физических и химических процессов в верхних атмосферах экзопланет, исследование и моделирование газовых, плазменных и пылевых оболочек экзопланет, исследования возможных магнитосфер экзопланет и их электромагнитных излучений, развитие моделей магнитосфер с учетом взаимодействия звездного ветра с магнитным полем и/или ионосферой экзопланеты, исследование планет и малых тел в Солнечной системе с точки зрения наук об экзопланетах, детальное изучение архитектуры Солнечной системы, планет и малых тел и их физических, химических свойств, а также эволюционных характеристик. Ряд интересных результатов, уже полученных по многим из перечисленных тем, будут представлены в докладе. Также в докладе будут обсуждаться пути дальнейших исследований экзопланет в РФ.

Планеты: современный взгляд

Маров М.Я. | Шевченко И.И. | ГЕОХИ РАН | ГАО РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Современный взгляд на планеты далеко выходит за рамки привычных представлений о планетах как телах Солнечной системы. Открытие экзопланет, неизмеримо расширило представления об архитектуре и свойствах планетных систем. В изучении планет и малых тел Солнечной системы достигнуты крупных успехи. Однако не получены ответы на принципиальные вопросы о причинах различных путей эволюции и формирования планетных природных комплексов. Дать ответы на эти вопросы призваны исследования экзопланет, которых к настоящему времени открыто свыше 5000, из которых 800 входят в планетные системы. Исследования экзопланет дают подход к решению ключевых проблем звездно-планетной космогонии – генезиса и эволюции планет. Наиболее актуальны проблемы образования планетных систем у звезд разных спектральных классов; природы горячих юпитеров; причин преобладания сверхземель и субнептунов, отсутствующих в Солнечной системе; устойчивости систем двойных звезд, включая циркумбинарные системы. Особый интерес представляют планеты земного типа с орбитами в зонах «потенциальной обитаемости», открывающие новую страницу в астробиологии.

Нейтринная астрофизика высоких энергий

Домогацкий Г.В. | ИЯИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Исследование природного потока нейтрино высоких энергий на нейтринном телескопе IceCube (Антарктида) позволило выделить в 2013 году первые события от нейтрино с энергией свыше 60 ТэВ астрофизического происхождения, что можно считать началом экспериментальной нейтринной астрофизики высоких энергий. Полученные результаты показали, что большая часть (примерно две трети) событий от астрофизических. нейтрино представляют собой события, сопровождаемые появлением ливня заряженных частиц. При этом точность углового разрешения таких событий оказывается на уровне 10 градусов, что определяется оптическими характеристиками антарктического льда, и значительно хуже, чем в воде, где она ожидается на уровне 2-4 градуса. Поэтому создание в Северном полушарии глубоководных детекторов кубокилометрового масштаба решает не только задачу распространения поиска источников нейтринного излучения на всю небесную сферу, но и значительно повышает эффективность этого поиска.

В настоящее время в мире реализуются два таких проекта - Baikal-GVD, где эффективный объем детектора достиг 0.4 куб.км в задаче регистрации ливневых событий от нейтрино, и KM3NeT (Средиземное море), в рамках которого установлены первые 12 гирлянд оптических модулей из 345 предусмотренных проектом. В докладе будут представлены основные результаты IceCube, а также первые результаты, полученные на создающемся байкальском детекторе в конфигурациях 2018, 2019 и 2020 годов, приведены первые кандидаты на события, инициированные нейтрино высоких энергий астрофизической природы.

Нагрев короны и современные проблемы физики солнечного ветра

Зайцев В.В. | Степанов А.В. | Чашей И.В. | ИПФ РАН | ГАО РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе | АКЦ ФИАН

Секция: Солнце

Определены потоки тепла из горячих магнитных петель и магнитных трубок в окружающую корону как возможный источник нагрева короны. Показано, что спикулы II типа являются более эффективным источником нагрева короны по сравнению с горячими магнитными петлями, так как тепловые потоки в корону из петель существенно ограничены замкнутой структурой магнитного поля. Для компенсации радиационных потерь и потерь на теплопроводность из короны требуется около 10^4 горячих спикул, что составляет около 1% от количества спикул, одновременно наблюдающихся на солнечной поверхности. Основным источником энергии для нагрева корональной плазмы является фотосферная конвекция, генерирующая в магнитных петлях и магнитных трубках электрические токи, величина которых достигает 10^{11} – 10^{12} *А*. Диссипация электрических токов существенно возрастает при учете неполной ионизации плазмы (т.е при учете ионно-атомных столкновений и связанной с ними проводимости Каулинга) и приводит к двум важным эффектам – к нагреву плазмы в магнитных структурах до температуры в несколько миллионов градусов и к возникновению потоков горячей плазмы из открытых магнитных трубок в корону. Инжекция горячей плазмы вызвана нагревом электрическими токами фотосферных оснований трубок, возрастающим при спорадическом увеличении скорости фотосферной конвекции, например, в результате 5-минутных колебаний или при развитии неустойчивости Релея -Тэйлора. В результате скорость нагрева фотосферных оснований трубок кольцевыми токами начинает превышать радиационные потери, что приводит к скачку градиента давления и возникновению инжекции горячей плазмы из открытого конца магнитной трубки в корону. Найдено, что скорость восполнения корональной массы спикулами II типа составляет (2-7)x10^{11} г/с. Это по порядку величины совпадает с потоком массы солнечного ветра (5-10)x10^{11} г/с через сферу радиусом 1 а.е. при плотности плазмы порядка (5-10) см$^{-3}$ и скорости 300-400 км/с.Оценена возможность нагрева атмосфер красных (AD Leo, UV Ceti) и коричневых (TVLM 513-46546) карликов предложенным механизмом. Обсуждается современное состояние теоретических и экспериментальных исследований солнечного ветра. Основное внимание уделено следующим нерешенным проблемам: формирование квазистационарных потоков плазмы солнечного ветра, их корональные источники и эволюция в цикле солнечной активности; турбулентность плазмы солнечного ветра;

крупномасштабные, в том числе геоэффективные, возмущения. Использованы данные локальных измерений и экспериментов радиопросвечивания.

Современные наблюдения электрических токов в активных областях Солнца и их связь со вспышками

Зимовец И.В. | Шарыкин И.Н. | ИКИ РАН

Секция: Солнце

Наиболее мощные процессы энерговыделения в Солнечной системе - вспышки и корональные выбросы массы (КВМ) - происходят в активных областях (АО), представляющих собой очаги выхода сконцентрированных магнитных потоков на поверхность Солнца. В магнитных структурах АО текут электрические токи. Их присутствие в АО обнаруживается посредством анализа геометрии наблюдаемых магнитных структур, из решения уравнений Максвелла для вектора магнитного поля, измеряемого на нижних слоях солнечной атмосферы, а также решения граничных задач магнитостатики. Свободная магнитная энергия, реализуемая во время вспышек и КВМ, связана с электрическими токами. По этой причине их важно определять и исследовать. В последние годы в этом направлении имеется значительный прогресс, благодаря новым многоволновым наблюдениям различных космических и наземных солнечных обсерваторий, а также благодаря развитию методов экстраполяции магнитного поля в корону и численного решения уравнений магнитной гидродинамики. В этом докладе мы обсудим основные методы определения электрических токов в АО, а также представим обзор современных наблюдений различных токовых систем. Особое внимание будет уделено связи токов с солнечными вспышками.

Солнечное и звездное динамо

Кичатинов Л. Л.* | *ИСЗФ СО РАН

Секция: Солнце

Достижения последнего десятилетия в теории солнечного цикла связаны в основном с двумя обстоятельствами: 1) важнейшие параметры динамо удалось оценить по данным о солнечных пятнах, и 2) данные о вращении звезд показали насколько скорость вращения Солнца превышает необходимую для действия динамо величину. Это привело к появлению количественных моделей солнечного динамо, близко воспроизводящих не только «типичный» солнечный цикл, но и наблюдаемую изменчивость продолжительностей и амплитуд циклов активности, включая эпохи грандиозных минимумов. Распространение этих моделей на звезды, однако, легко проходит лишь для подобных Солнцу немолодых звезд с низкой магнитной активностью. Наиболее интересные свойства высокоактивных звезд доступны лишь для интерпретации на качественном уровне. Тем не менее, предложены объяснения относительно высокой активности звезд малой массы, насыщения уровня активности с увеличением скорости вращения, а также зависимости звездных циклов от скорости вращения. Сформулированы перспективные задачи звездного динамо.

Участие в ВАК поддержано грантом РФФИ 19-52-45002_Инд

Аккреция газа на галактики

Моисеев А.В. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Наблюдения показывают, что для поддержки текущего звездообразования галактикам необходим дополнительный приток газа извне. Термин "аккреция газа галактиками" сейчас включает в себя приливной захват карликовых спутников, выпадение холодного газа из гало, а также из космологических газовых филаментов. Последний механизм особенно важен для объяснения формирования галактических дисков в ходе эволюции Вселенной. В докладе рассматриваются различные наблюдательные проявления захвата газа галактиками, включая и результаты, полученные на на 6-м телескопе САО РАН и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ. Большое внимание уделяется проблеме различия режимов аккреции в галактиках ранних о поздних морфологических типов.

Всероссийская астрономическая конференция

Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

2021

Перспективы ультрафиолетовой астрономии: проект "Спектр-УФ"

Шустов Б. М. и команда проекта Спектр-УФ | ИНАСАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В России реализуется серия космических обсерваторий «Спектр». После успешных проектов «Спектр-Р» и «Спектр-РГ» на очереди проект крупной ультрафиолетовой обсерватории «Спектр-УФ» (международное название World Space Observatory - Ultraviolet). В Федеральной космической программе на 2016-2025 гг. ее запуск запланирован на 2025 г. Российское и международное научное сообщество готовится к тому, что во второй половине 20-х годов многоцелевая обсерватория «Спектр-УФ» станет главным «ультрафиолетовым окном» во Вселенную. В докладе кратко описаны основные технические характеристики, статус проекта, и принципы организации наблюдений. Главное внимание уделено научным задачам ультрафиолетовой астрономии, для решения которых обсерватория "Спектр-УФ" имеет хорошие перспективы.

Статистика и особенности корреляционной обработки мазерных источников в проекте «Радиоастрон»

Авдеев В.Ю. | АКЦ ФИАН им. П.Н.Лебедева

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Международный проект «Радиоастрон», в рамках которого проводились наблюдения на наземных обсерваториях совместно с космическим радиотелескопом (КРТ) в режиме радиоинтерферометра со сверхдлинными базами (РСДБ), осуществлялся в период с 2011 по 2019 год. Научная программа миссии предполагала наблюдения трёх основных типов космических радиоисточников: активные ядра галактик, пульсары и космические мазеры. За время проекта проведено 174 сеанса наблюдения космических мазерных источников в линиях гидроксила (1.6 ГГц) и воды (22.235 ГГц). В докладе представлены результаты обработки данных наблюдений мазерных источников, полученные по программе исследований интерферометром Космос-Земля, описаны процедуры корреляционной обработки данных в режиме спектральных линий, а также рассмотрены особенности обработки конкретных типов мазерных источников.

Система адаптации главного зеркала космической обсерватории «Миллиметрон»

Архипов М. Ю. | Голубев Е. С. | Ляховец А. О. | Смирнов А. В. | Федорчук С. Д. | Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В докладе дается описание конструкции главного зеркала космической обсерватории "Миллиметрон" и системы его адаптации. Демонстрируются результаты моделирования компенсации отклонений как отдельной панели, так и всего зеркала от различных факторов (температуры, ошибки раскрытия и т.д.). Приводятся результаты экспериментальных работ по адаптации отдельной панели и созданию прецизионного криогенного актюатора для системы адаптации.

Опытный образец инфракрасного спекл-интерферометра 6-м телескопа

Бескакотов А. С. | Максимов А. Ф. | Дьяченко В. В. | Митрофанова А. А. | Балега Ю. Ю. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Представлены результаты разработки опытного образца инфракрасного спекл-интерферометра на базе серийной SWIR-камеры с охлаждаемой матрицей на фотодиодной InGaAs-структуре.

Лабораторные исследования камеры показали, что средний темновой ток достаточно стабилен в течение времени, занимаемого записью серии спекл-изображений средней длительности (2-5 минут), однако одностадийное охлаждение сенсора на основе элемента Пельтье с жидкостным отводом тепла является недостаточным для уменьшения темнового тока до приемлемых значений. Также обнаружены наличие “горячих” и “холодных” пикселей и волнистая форма среднего темнового сигнала на малых экспозициях (до 50 мс).

Тестовые наблюдения проводились в первичном фокусе 6-м телескопа САО РАН. В результате анализа наблюдательного материала были установлены предельная звёздная величина для наблюдаемых объектов ($m(J) \leq 8m$) и предельная разность блеска компонентов кратных систем ($\Delta m(J)<4.5m$). Описанные выше недостатки камеры приводят к незначительному снижению точности измерений.

Модернизация спекл-интерферометра позволит повысить предел яркости доступных для наблюдений объектов на 1-2 звездные величины и значительно увеличить их количество.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-70120

Исследование астроклимата: современные возможности и задачи

Больбасова Л. А. | ИОА СО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Исследования астроклимата, как совокупности атмосферных условий влияющих на качество астрономических наблюдений, начались с поиска мест для установки телескопов. Затем добавились задачи исследования атмосферы, в основном ее турбулентных характеристик, для создания адаптивных оптических систем, предназначенных для устранения искажений в реальном масштабе времени. В это время был введен параметр для оценки применимости адаптивной оптики V200 – скорость ветра на уровне 200гПа, его корреляция с качеством изображения была установлена для ряда крупных обсерваторий, в том числе в нашей работе для Байкальской астрофизической обсерватории. Статистические данные о V200, облачности, влагосодержании, количестве осадков и других метеовеличинах можно получить из баз данных атмосферных реанализов. Этим методом распределение V200 и других атмосферных параметров изучалось во всех крупных зарубежных обсерваториях. Реанализ это ассимиляция в узлах регулярной сетки большого количества метеорологических данных, со спутников, наземных, радиозондовых наблюдений. Использование реанализов является общепризнанным современным методом климатических исследований, позволяет оценить изменения атмосферы за последние десятилетия, определить тренды, аномалии. Нужно подчеркнуть, что реанализы не отменяют необходимости атмосферных измерений, а лишь являются дополнительным методом при поиске мест установки телескопов, оценке атмосферных условий и их изменений в действующих обсерваториях. Измерения в обсерваториях необходимы для разработки систем адаптивной оптики, их эффективной работы. Кроме этого прогноз оптической турбулентности, влагосодержания, других параметров как на короткие временные интервалы от десятков минут, так и на следующую ночь, не могут быть построены без натурных измерений. При этом именно прогноз атмосферных условий для планирования наблюдений на телескопах, эффективной эксплуатации адаптивной оптики и других приборов становиться современной задачей исследования астроклимата. В докладе будет рассмотрено изменение атмосферных параметров за последние несколько лет по данным атмосферных реанализов для САО РАН, сезонный вариации V200 для астрономических обсерваторий РФ. Приведен краткий анализ подходов к измерению оптической турбулентности в обсерваториях для создания адаптивной оптики, прогноза атмосферных условий. Представлены результаты измерения и прогноза турбулентности приземного слоя Байкальской астрофизической обсерватории, с помощью развиваемого нами метода на основе машинного обучения.

Оптоволоконный спектрограф высокого спектрального разрешения для БТА

Валявин Г.Г. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Будет представлена первая рабочая версия планетного, оптоволоконного спектрографа-поляриметра высокого спектрального разрешения. Инструмент создан в Специальной астрофизической обсерватории (САО РАН) для работы в связке с 6-м телескопом БТА. Спектральное разрешение R от 35000 до 100000. Стабильность позиционных измерений спектров звезд, полученных со спектрографом, позволяет проводить доплеровские измерения лучевых скоростей звезд солнечного типа вплоть до 1-3 м/сек. Будут представлены результаты первых таких наблюдений. Наблюдения ряда звезд с характерными звездными величинам от 8 до 11 зв. величин проводились в режиме спектральных разрешений от R = 50000 до R = 70000 с одновременной регистрацией калибровочного спектра торий-аргоновой лампы с полым катодом. Характерные точности измерений составили от нескольких единиц до нескольких десятков м/с. В перспективе торий-аргоновая лампа будет дополнена эталоном Фабри–Перо для достижения предельно возможных точностей измерений лучевых скоростей звезд вплоть до 30-50 см/сек.

Системы компенсации наклонов и кривизны волнового фронта

Верич Ю.Б. | Якопов Г.В. | Панчук В.Е. | Емельянов Э.В. | Юшкин М.В. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Сообщается о работах по низкочастотной (менее 1 Гц) коррекции изображения звезды на входе спектрографа высокого разрешения. С 2000 года в фокусе Нэсмита 6-метрового телескопа БТА работает локальный корректор наклонов фронта (ЛКН), облегчающий работу спектроскописта и обеспечивающий (на спектрографах НЭС и ОЗСП) выигрыш в светосиле по потоку на одну звездную величину. В 2006 году был испытан локальный корректор наклонов фронта для эшелле-спектрографа первичного фокуса БТА (ЛКПФ). В 2017 году разработан локальный корректор для оптоволоконного входа эшелле-спектрографа телескопа метрового класса (ЛК1). В 2020 году схема ЛК1 дополнена корректором кривизны волнового фронта. Перечисленные системы работают при относительных отверстиях 1:30, 1:4, и 1:13, соответственно. Схема НЭС БТА допускает увеличение диаметра коллимированного пучка d, (сейчас d=235мм), что позволило разработать систему перефокусировки (низкочастотный корректор кривизны волнового фронта) на входе спектрографа.

Система управления комплексом 500-мм оптических телескопов САО РАН

Емельянов Э.В. | Фатхуллин Т.А. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

С 2019 года в САО РАН постепенно вводится в строй роботизированный комплекс из трех 500-мм телескопов. Рассматриваются основные проблемы, с которыми мы столкнулись при разработке программного обеспечения комплекса, а также его особенности.

Точность измерения спектров широкополосного радиоизлучения спектрально-селективным радиометром радиотелескопа РТ-32

Ипатов А.В. | Рахимов И.А. | Гренков С.А. | Кольцов Н.Е. | Андреева Т.С. | ИПА РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

На радиотелескопах РТ-32 обсерватории «Светлое» проводятся регулярные измерения плотностей потоков широкополосного радиоизлучения (ППР) с целью исследования переменностей излучения и уточнения шкалы потоков, формируемой по методу «искусственная луна». Исследования ППР в диапазонах волн L и S, прекращённые в 2009 г. из-за увеличения радиопомех, были возобновлены в 2012 г. после замены традиционных радиометров с квадратичными детекторами широкополосных шумовых сигналов спектрально-селективными радиометрами, которые обеспечивают высокую точность радиометрических измерений в условиях воздействия радиопомех. В настоящее время радиотелескоп РТ-32 с помехозащищённым спектрально-селективным радиометром используется при мониторинге шкалы потоков «искусственная луна» и при исследованиях небольших переменностей широкополосного радиоизлучения космических источников.

Исследования переменностей излучения и мониторинг шкал потоков требуют измерений ППР с точностью не хуже 2÷3%. Реальную точность оценить сложно, так как измеренные значения (отсчёты) ППР содержат, наряду со случайной (шумовой) ошибкой измерения мощности принимаемого сигнала, значительные систематические ошибки. Систематические ошибки зависят от точности стандарта шкалы потоков, используемого при калибровке ППР, и от углов места наблюдаемых источников. Полученные при наблюдениях отсчёты ППР взаимно коррелированы из-за наличия систематических ошибок, что усложняет оценку точности. Случайная (шумовая) ошибка, определяемая отношением сигнал/шум на входе спектрально-селективного радиометра, оценена обычными для радиометрии и измерительной техники методами. Систематические ошибки измерений ППР определены на основе опубликованных данных о точностях шкалы потоков и о параметрах радиотелескопа РТ-32.

В результате анализа определено, что случайная (шумовая) ошибка измерения ППР при времени накопления 1 с составляет (4÷15)% в зависимости от уровня сигнала. В спектрально-селективном радиометре её можно уменьшить в 1,3-1,4 раза, применив режим несимметричного накопления сигнала и шумов. При усреднении серии отсчётов ППР шумовая погрешность достаточно быстро уменьшается до требуемого уровня (<2%). Значительную долю в общей ошибке измерения ППР составляют систематические ошибки, которые смещают по уровню измеряемые потоки и не уменьшаются при усреднении отсчётов ППР. Систематическая ошибка, связанная с калибровкой измеряемого потока по спектру стандарта шкалы потоков зависит только от точности этого стандарта и находится в пределах 6%. Кроме того, имеет место систематическая ошибка в пределах 5′ обусловленная изменениями эффективной площади антенны при изменениях угла подъёма антенны радиотелескопа РТ-32.

Проект "РадиоАстрон". Калибровка космического радиотелескопа в полете в 2011—2019 гг.

Ковалев Ю.А | Васильков В.И. | Ермаков А.Н. и группа РадиоАстрон | АКЦ ФИАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Суммируются и обсуждаются результаты, полученные и частично опубликованные ранее по калибровке телескопа в диапазонах 1.35, 6.2, 18 и 92 см — за все время его полета в период с 2011 по 2019 гг. Калибровка выполнена в шкалах спектральной плотности потока и антенной температуры. Откалиброванные параметры — собственные шумы космического радиотелескопа в полете и амплитуды основных и резервных генераторов шумового сигнала (ГШ) — могут выполнять функции вторичных калибровочных эталонов. Эталоны "привязаны" к первичной астрономической шкале потока излучения по наблюдениям Кассиопеи-А и Крабовидной туманности. Использование новой автоматизированной системы обработки юстировочных сеансов в диапазонах 6.2, 18 и 92 см позволило получить результаты 4-летнего мониторинга калибровок этих эталонов по измерениям в 2015—2018 годах в двух первичных шкалах потока: прежней 1977 (Baars et al., шкала 1) и новой 2017 года (Perley&Butler, шкала 2). Анализ отношений калиброванных ГШ относительно указанных объектов в этих шкалах позволил выделить и рекомендовать для калибровок КРТ как космического элемента РСДБ шкалу 2 как наиболее точную и согласованную по потоку для этих объектов в исследованных диапазонах.

Методика обработки обзоров на РАТАН-600 при неподвижной антенне

Кудряшова А. А. | Бурсов Н. Н. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

При проведении обзоров с неподвижной антенной на западном секторе РАТАН-600 разработана методика позволяющая учитывать угловое прохождение источников с различными склонениями через диаграмму направленности радиотелескопа в азимуте 270 градусов. Рассчитана скорость движения фокального пятна, полуширина и амплитуда источника в зависимости от его склонения. Учтено изменение координат источников вследствие прецессии и нутации. На основе расчетной диаграммы проведено моделирование обзоров по источникам известного NVSS-каталога. Разработан алгоритм обнаружения радиоисточников.

Сибирский радиогелиограф: новые возможности исследования солнечной короны

Лесовой С.В. | Алтынцев А.Т. | Губин А.В. | Глоба М.В. | Уралов А.М. | Гречнев В.В. | Кочанов А.А. | ИСЗФ СО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Сибирский Радиогелиограф — один из крупнейших инструментов, сооружаемых в рамках создания Национального гелиогеофизического комплекса РАН, состоит из трех крупных антенных решеток, расположенных на территории 1 кв. км и работающих в диапазонах частот 3-6, 6-12, 12-24 ГГц. Сибирский Радиогелиограф предназначен для исследования солнечной короны и свойств и динамики активных образований в ней на высотах от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч км на фотосферой. Главная наблюдательная задача Сибирский Радиогелиограф — микроволновая 2D спектроскопия активных областей как во время вспышек, так и в спокойном состоянии. Высокая чувствительность Сибирский Радиогелиограф, обусловленная большим количеством антенн, позволяет проводить исследования микровспышек с интенсивностями ранее недоступными на микроволнах в целях решения проблемы нагрева короны. Измерения микроволновых спектров в различных частях активных областей обеспечивает возможность оценки корональных магнитных полей и определения мест первичного энерговыделения во время вспышек.

Приводится детальное описание аппаратуры и методов построения изображений Сибирского Радиогелиографа. Обсуждаются результаты наблюдений на решетке диапазона 3-6 ГГц, запущенной в тестовом режиме.

AstroMagick — программы для контроля и адаптации поверхности главного зеркала космической обсерватории "Миллиметрон"

Ляховец А.О. | Андрианов А.С. | Архипов М.Ю. | Голубев Е.С. | АКЦ ФИАН им. П.Н.Лебедева

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В докладе представлен обзор возможностей и алгоритмов комплекса программ AstroMagick, разработанного в АКЦ ФИАН. AstroMagick предназначен для контроля поверхности и отработки алгоритмов адаптации главного зеркала космической обсерватории "Миллиметрон".

AstroMagick используется:

- при обработке измерений матриц и панелей главного зеркала "Миллиметрон" для определения их геометрических параметров и точности поверхности, для сопровождения процесса их изготовления;
- при моделировании деформаций панелей и всего зеркала — большая скорость расчёта позволила интегрировать компоненты AstroMagick в систему Ansys;
- для нахождения оптимальных воздействий при деформации каждой панели и при корректировке положений панелей в составе всего зеркала;
- для отработки алгоритмов и элементов системы адаптации главного зеркала "Миллиметрон";
- для создания реалистичных моделей отражающей поверхности для оптического моделирования "Миллиметрон".

В докладе также приведены результаты работы AstroMagick.

Машинное обучение в задачах рентгеновской астрономии

Мещеряков А.В. | ИКИ РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В своем докладе я планирую, с одной стороны, дать общую картину, как современные технологии интеллектуального анализа данных (машинного обучения) могут применятся для установления деталей физической природы астрономических объектов в современных обзорах неба. С другой стороны на примере обсерватории СРГ/еРОЗИТА будут показаны практические трудности, которые несет с собой применение эмпирических моделей на всех основных этапах автоматического анализа информации о рентгеновских источниках: многоволновое кросс-отождествление, классификация и оценка расстояния/красного смещения до объекта.

Кросс-отождествление рентгеновских источников в многоволновых фотометрических данных позволяет собрать информацию о широкополосном распределении энергии в спектре, которой в большинстве случаев оказывается достаточно для точной классификации и определения красного смещения рентгеновских квазаров и скоплений галактик . Точность моделей машинного обучения зависит от многих факторов, главным из которых является качество и разнообразие доступных фотометрических данных. По данным о рентгеновских источниках из обзора СРГ/еРОЗИТА с оптическими спектрами нами построены уникальные модели машинного обучения для детального прогнозирования физических свойств рентгеновских источников.

Коррекция рабочей орбиты КА "Спектр-РГ" с целью обеспечения заданных условий радиовидимости с российских наземных станций

Михайлов Е.А. | АО НПО Лавочкина

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Старт космической обсерватории "Спектр-РГ" на перелётную траекторию к точке Лагранжа L2 системы Солнце-Земля был запланирован на 22.06.2019. Однако по техническим причинам он был перенесён на 13.07.2019. Изменение даты старта привело к ухудшению условий радиовидимости КА с российских наземных станций из состава наземного комплекса управления - в 2021-2023 гг. длительность ежесуточных зон радиовидимости становится меньше заданного значения в течение, примерно, 30 суток в год, весной. В результате возникла необходимость коррекции рабочей орбиты с целью обеспечения задач управления аппаратом и передачи на Землю результатов научных наблюдений. В рамках этой задачи была разработана схема проведения десяти коррекций траектории на интервале около 2.5 лет и принято решение о её реализации. При этом предварительно была проведена тестовая коррекция для оценки возможности влияния работы двигательной установки на научную аппаратуру. На данный момент проведено 3 манёвра из 10 запланированных, что уже позволило частично решить эту задачу.

Быстродействующее фотоприемное устройство с широкоформатным малошумящим КМОП-фотоприемником

Мурзин В. А. | Афанасьева И. В. | Иващенко Н. Г. | Притыченко М. А. | Додонов С. Н. | Ардиланов В. И. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В работе представлен опытный образец быстродействующего фотоприемного устройства (ФПУ) на основе широкоформатного малошумящего КМОП-фотоприемника форматом 4096*4096 пикселей и размером фоточувствительной области 36,9x36,9 мм^2. Максимальная кадровая частота ФПУ — 24 кадр/с, шум считывания — 4,4e$^-$. Охлаждение фотоприемника до рабочей температуры осуществляется термоэлектрическим модулем. Соединение с управляющим компьютером выполняется по волоконно-оптической линии связи на расстоянии до 300 м. Программное обеспечение позволяет управлять охлаждением камеры и режимами работы фотоприемника, считывать и сохранять видеоданные, выполнять телеметрию рабочих параметров ФПУ, автоматизировать процесс наблюдений. Конструктивы электроники контроллера и блока питания выполнены с герметизацией по классу IP66, что позволяет эксплуатировать ФПУ на открытом воздухе. В данной работе представлены результаты исследований фотометрических характеристик ФПУ, а также приведено их сравнение с характеристиками, заявленными производителем КМОП-фотоприемника. Низкий шум считывания, высокая производительность и компактные габариты камеры позволяют применять такие ФПУ для поиска переменных объектов, в быстрых обзорах неба и для решения задач адаптивной оптики.

Новые спектральные приборы ИНАСАН

Наливкин М.А. | ИНАСАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В докладе представлен краткий обзор новых спектральных приборов ИНАСАН – спектрографов низкого, среднего и высокого разрешения.

В 2019 в ИНАСАН изготовлен спектрограф низкого разрешения UVEX, предназначенный для одновременной регистрации излучения объекта в диапазоне 300-900 нм с разрешением R >> 1000 в режиме с длинной щелью. Научная ценность наблюдений со спектрографом UVEX дополнена возможностью получать спектры низкого разрешения в широком интервале длин волн, при этом содержащие недоступны для большинства обсерваторий ближний ультрафиолетовый диапазон от 300 нм, и восполнить пробел между наземными и космическими наблюдениями, осуществлять наземную поддержку космических проектов. В 2021 году спектрограф будет штатно установлен на отдельном 0,5м телескопе высокогорной обсерватории на пике Терскол. Для телескопа Цейсс-1000 Симеизской обсерватории приобретёны 2 новых прибора – спектрограф среднего разрешения Baader Baches и волоконный спектрограф высокого разрешения.

Подвесной спектрограф Baader Baches со скрещенной дисперсией и спектральным разрешением R ≈ 18000 в диапазоне длин волн 392 – 800 нм мы дополнительно оснастили фокальным редуктором и модулем активной оптики, позволяющем удерживать изображение звезды на входной щели и, в некоторой степени, компенсировать влияние атмосферных возмущений. Спектрограф прошёл этап испытаний и уже используется в наблюдательных программах.

В настоящее время проходит тестирование новый, изготовленный в САО РАН оптоволоконный спектрограф высокого разрешения со скрещенной дисперсией, предназначенный для получения спектров высокого разрешения R ≈ 40000 звездообразных объектов ярче 13m в диапазоне длин волн 390 – 1000 нм. Спектрограф оснащён оригинальным модулем активной оптики и стокс-поляриметром для последовательного определения 4-х параметров Стокса (I,Q,U,V) в спектрах звездообразных объектов с автоматической компенсацией инструментальных эффектов путем смены знака поляризованных компонент излучения в каждом оптическом волокне.

Центр коллективного пользования "Терскольская обсерватория" ИНАСАН: новые возможности и инструменты

Нароенков С.А. | Наливкин М.А. | ИНАСАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В докладе будут представлены возможности Центра коллективного пользования «Терскольская обсерватория» ИНАСАН по проведению научных исследований и наблюдений космических объектов. В 2020-2021 годах в рамках нескольких грантовых соглашений с Минобрнауки РФ была проведена значительная работа по обновлению научного оборудования обсерваторий ИНАСАН. Для телескопа «Цейсс-1000» созданы либо приобретены несколько новых научных приборов: волоконный спектрограф высокого разрешения (R=40000), подвесной эшельный спектрограф Baches от Baader Planetarium, приемник изображения – FLI PL16803 с фильтрами системы Jonson-Cousins (UBVRI) и SDSS (u’g’r’i’z’). Также для телескопа «Цейсс-1000» изготовлен редуктор фокуса, позволивший увеличить поле зрения телескопа до 48 угловых минут.

На телескопе «Цейсс-2000» проведены работы по замене старых приемников излучения на основных научных приборах. Для фотометрических и астрометрических исследований телескоп оснащен новыми камерами FLI Cobalt 4320, FLI Kepler 400 и FLI Kelper4040 с колесом фильтров UBVRI. Для многоканального поляриметра приобретены новые приемники излучения – фотоэлектронные умножители Hamamatsu.

На новом оборудовании получены первые наблюдения, позволившие сделать выводы о возможностях обновленных научных приборов.

Программа улучшения характеристик нэсмитовского эшелле спектрографа (НЭС) БТА

Панчук В.Е. | Юшкин М.В. | Верич Ю.Б. | Якопов Г.В. | Ларионов С.В. | Власюк В.В. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Нэсмитовский эшелле спектрограф (НЭС) является основным средством высокого разрешения (R=60000), эксплуатируемым на 6-метровом телескопе БТА с 1998 года. Характеристики прибора улучшались, как за счет внедрения новых ПЗС-приемников, так и за счет разработки новых предщелевых и щелевых устройств (автогид, анализаторы поляризации, абсорбционная ячейка, интерферометр Фабри-Перо, резатели изображения, компенсатор вращения поля). С 2019 года выполняется программа модернизации спектрографа [Astronomy Reports, 2017, V. 61, Iss. 9, pp.820-831], где запланирована и реконструкция основных оптико-механических узлов (коллиматора, мозаичной эшелле, блока решеток скрещенной дисперсии). Реконструкция предщелевой части предусматривает использование средств адаптивной оптики [Astrophysical Bulletin, 2020, V. 75, Iss. 4, p.468-481]. В итоге предполагается достичь R=100000, с одновременным выигрышем в светосиле по потоку и повышением точности доплеровских измерений.

Двухкомпонентный инструментальный комплекс шестиметрового телескопа для наблюдений с высоким временным разрешением

Плохотниченко В.Л. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Инструментальный комплекс предназначен для фотоспектрополяриметрических исследований астрофизических объектов с минимальными экспозициями от 1 мкс до 0.1 с. Он состоит из двух приборов — фотополяриметра высокого временного разрешения (ФПВВР), стационарно размещенного в фокусе Нэсмит-1 БТА, и многомодового панорамного фотополяриметра (МРРР), устанавливаемого в первичном фокусе БТА на время выполнения плановых программ. Их сочетание позволяет решать одновременно обширную совокупность задач, а именно - обнаруживать оптические компаньоны неожиданно появляющихся транзиентных источников излучения любой природы (гамма и радиовсплесков, гравитационно-волновых и нейтринных событий, вспышек объектов различного происхождения) с плохо определенным положением (по данным наземного и космического мониторинга), определять их фотометрические, спектральные и поляризационные характеристики, а также вариации последних в диапазоне времен от микросекунд до часов. В полной конфигурации комплекса (оба фокуса) наблюдения на начальном этапе проводятся с ФПВВР при временном разрешении 0.1 с по данным о регистрации и локализации транзиента, полученными космическими и наземными инструментами разных типов, в ходе которых определяются координаты и яркость обнаруженного (если это произошло) источника. После чего его исследование продолжается в первичном фокусе БТА (используется МРРР) с микросекундным временным разрешением для получения максимума информации о свойствах объекта. Активация комплекса, накопление первичных данных, выбор и смена режимов наблюдений происходят автоматически на шкале 10-15 минут.

Проект "Лира" не на МКС

Прохоров М.Е. | Захаров А.И. | Стекольщиков О.Ю. | Тучин М.С. | ГАИШ

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Целью проекта "Лира-Б" было проведение высокоточного многоцветного многократного фотометрического обзора звезд всего неба высокого и умеренного блеска. Каждое слово в этой формулировке важно: высокоточный означает погрешности $0{,}001^m$-$0{,}003^m$ для непеременных звезд, многоцветность — фотометрию в видимом, ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном диапазонах примерно в 10 полосах, многократность (от 10 до 100 наблюдений каждой звезды) — позволяет выделить переменные звезды. В обзоре будут наблюдаться звезды от самых ярких (1^m-3^m) до 16^m-17^m — те самые звезды для которых Gaia получает наиболее точные 5-параметрические решения.

Следует заметить, что задача проведения подобного обзора была поставлена давно, но до сих пор не теряет актуальности. Сравнимым по фотометрический точности, но меньшим по числу фотометрических полос, был Тянь-Шаньский WBVR обзор ярких звезд северного неба, проведенный ГАИШ с 1984 по 1988 гг. С тех пор многоцветные обзоры звезд высокой точности не проводились: при проведении 4-цветнного инфракрасного обзора 2MASS и 5-цветного обзора в видимой области SDSS не были приняты меры для корректного выноса наблюдений за атмосферу, поэтому при малой случайной погрешности систематические ошибки этих каталогов велики. Среди планируемых космических экспериментов подобных обзоров также нет. Таким образом **сохраняется актуальность** проведения такого обзора.

Подготовка эксперимента "Лира-Б" медленно, но продвигалась вперед, в 2019 г. была завершена разработка конструкторской документации научной аппаратуры. Однако теперь, когда определен срок завершения эксплуатации МКС — 2024 г. — стало ясно, что мы не укладываемся в этот срок.

Поскольку проведение обзора остается актуальным мы рассматриваем возможности "переформатирования" этого эксперимента. Одной из возможностей является выполнение обзора на **автономном космическом аппарате**. При этом появляются две возможности проведения обзора: с солнечно-синхронной орбиты или с геостационарной (геосинхронной). При этом конструкции аппаратов для проведения наблюдений для разных орбит будут существенно отличаться.

Другой возможностью является выполнение обзора с борта новой Российской космической станции. В этом случае научная аппаратура для проведения обзора будет существенно более похода на разработанную для МКС, но заметные переделки все равно потребуются.

Универсальный редуктор для малых телескопов

Уклеин Р.И. | Малыгин Е.А. | Шабловинская Е.С. | Перепелицын А.Е. | Амирханян В.Р. | Афанасьев В.Л. | САО РАН | САО РАН | САО РАН | САО РАН | САО РАН, ГАИШ МГУ | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

В докладе освещаются возможности двух приборов нового поколения, апробированных на 1-метровом телескопе Цейсс-1000 САО РАН: Стокс-Поляриметра (СтоП) и редуктора МАГИЯ (Мониторинг Активных Галактик по Исследованию их Ядер). Хотя они оптимизированы для изучения активных ядер галактик (AGN), методически эти инструменты подходят для широкого круга задач малых телескопов. Конструкции приборов основаны на схеме универсального редуктора SCORPIO, используемого более 20 лет в наблюдениях в различных режимах на 6-метровом телескопе БТА САО РАН. Рабочее поле зрения СтоП и МАГИЯ составляется 6' и 13' соответственно. Для СтоП предусмотрены режимы фотометрии и поляриметрии с двойной призмой Волластона; в МАГИЯ был добавлен также спектральный режим. Для объектов до 16 зв.в. точность фотометрии в узких полосах – 0.01 зв.в., точность поляриметрии достигает 0.1%. Рабочий спектральный диапазон, получаемый с помощью объемной фазовой голографической решетки, в МАГИЯ составляет 4000-7400АА с дисперсией 2А/пиксель. СтоП и МАГИЯ получили первый свет в 2020 году и используются в тестовом режиме в расписании на Цейсс-1000. В докладе рассматриваются первые результаты на новых приборах, полученные авторами, а также дальнейшие перспективы.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-12-00030 “Исследование геометрии и кинематики ионизированного газа в ядрах активных галактик методами поляриметрии”.

Проектирование криогенной сверхвысоковакуумной установки для симуляции химических процессов, протекающих в областях образования звезд и планет

Федосеев Г. С. | Крушинский В. В. | Васюнин А. И | УрФУ

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Современные астрохимические исследования, проводимые как с помощью наблюдений в радио- и ИК-диапазонах, так и в специализированных лабораториях показывают, что сложные органические молекулы (COM) образуются в регионах звёздообразования задолго до того, как в них формируются звёзды и планеты. COM, определяемые в контексте астрономических наблюдений, как молекулы, состоящие из 6-и и более атомов, существуют в газовой фазе в диффузных и полупрозрачных облаках, плотных облаках и темных ядрах (Herbst & van Dishoeck 2009; McGuire 2018). Особый интерес здесь представляют наблюдения различных пребиотиков, химических соединений, которые могут учувствовать в образовании аминокислот, сахаров и других молекул, необходимых для появления жизни. Математическое астрохимическое моделирование показывает, что химия газовой фазы в холодных разряженных условиях космоса испытывает серьезные трудности при объяснении наблюдаемого содержания COM (Charnley et al. 1992; Garrod et al. 2006; Vasyunin et al. 2017). Удовлетворительные результаты могут быть получены только с привлечением к моделированию твёрдофазной химии происходящей на поверхности силикатной и углеродной пыли присутствующей повсеместно в межзвёздных облаках разной плотности. Атомы и молекулы в газовой фазе адсорбируются на поверхности пылинок, охлажденных до температур <10K, и имеют достаточно времени, чтобы прореагировать и передать поверхности пыли избыточную энергию реакции. Образующиеся в твёрдой фазе химические соединения затем частично переносятся в газовую фазу путем термической и нетермической десорбции, где становятся доступны для более чувствительных наблюдений в радиодиапазоне.

В контексте повышенного интереса к COM было принято решение создать на базе Лаборатории астрохимических исследовании УрФУ экспериментальную установку симулирующую физико-химические процессы протекающие в регионах звездообразования на поверхности пыли. Полученные химические константы будут использоваться для точного численного астрохимического моделирования, в том числе

на базе Лаборатории астрохимии и внеземной физики УрФУ с помощью кода MONACO. В состав установки включен Фурье-спектрометр, который позволяет получать абсорбционные спектры льда с продуктами химических реакций. Разрешение и спектральный диапазон получаемых спектров соответствуют параметрам спектрографов космического телескопа им. Джеймса Уэбба, что позволит проводить прямое сравнение наблюдений и эксперимента.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Мультиобъектная спектроскопия в наблюдательном комплексе РТТ150

Хамитов И.М. | Бикмаев И.Ф. | Буренин Р.А. | Национальная обсерватория ТЮБИТАК | КФУ | ИКИ РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Основной научной задачей Российско-Турецкого 1.5-м оптического телескопа РТТ150 является наземная поддержка Российской рентгеновской космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ) с участием Германии. Одним из направлений исследований является оптическое отождествление высокоэнергичных источников из обзора всего неба российского рентгеновского телескопа ART-XC имени М.Н.Павлинского (PART-XC). Точность локализации источников PART-XC составляет 53” (Sunyaev et., 2021, Pavlinsky et al., 2021) и на низких Галактических широтах число оптических источников, доступных спектроскопически для РТТ150, может составлять до нескольких десятков. Кроме того, в обзоре всего неба телескопа СРГ eРозита уже обнаружено более 10000 не исследованных ранее скоплений галактик, ожидаемое полное число которых порядка ста тысяч. Значительное число скоплений галактик eРозита доступно для наблюдений на РТТ150. Как известно большинство ярчайших членов скоплений заключены в пределах нескольких угловых минут. Таким образом, для увеличения эффективности телескопного времени при спектроскопии полей, среднезаполненных источниками и размером до нескольких угловых минут, нами были разработаны и реализованы средства для многообъектной спектроскопии (MOC) на РТТ150. Для этого было модифицировано колесо щелей многофунционального прибора ТФОСК. В докладе будет представлено техническое описание и управление данной системой. Также представлена методология обработки MOS-данных и первые результаты наблюдений с помощью ТФОСК-MOC.

Результаты наземной отработки фотоприемного устройства УФ диапазона на основе ПЗС для проекта «Спектр-УФ»

Шугаров А.С. | Вишняков Е.А. | Кириченко А.С. | Кузин С.В. | Николенко А.Д. | ИНАСАН | ФИАН | ФИАН | ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН | ИЯФ СО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Проект «Спектр-УФ» — крупный международный проект при ведущей роли РФ по разработке космического УФ телескопа с апертурой главного зеркала 1,7 м для изучения Вселенной в ультрафиолетовой области спектра. Основные научные приборы проекта — трехканальный Блок Спектрографов (БС), и двухканальный Блока Камер Поля (БКП). Два канала БС имеют разрешение R=50000 и спектральный диапазон 115-176 нм и 174-310 нм, третий канал с длинной щелью имеет разрешение R=1000 и спектральный диапазон 115-305 нм. БКП предназначен для получения прямых изображений в диапазонах 115-176 нм и 174-310 нм с использованием светофильтров. Все каналы БС и канал ближнего УФ БКП оснащены фотоприемными устройствами (ФПУ) на основе ПЗС. ФПУ должны обладать высокой квантовой эффективностью в диапазонах вакуумного УФ и ближнего УФ, обеспечивать низкий уровень шума считывания (≤3 e^-) и темнового тока (≤ 12 e^-/пиксель/час), работать с интегральной экспозицией до 10 часов, иметь хорошую фотометрическую точность. Спроектированный на заказ радиационно-стойкий ПЗС-детектор CCD272-64 был разработан компанией Teledyne e2v. Рабочий спектральный диапазон ПЗС составляет 115-310 нм. Архитектура чипа, пикселей и выходные псевдо дифференциальные усилители оптимизированы для работы с сигналом низкого уровня в условиях космической радиации и электромагнитных помех. Изготовлено три варианта CCD272-64 с различными градиентными антиотражающими покрытиями, согласованными с дисперсионной кривой каналов БС. Изготовленный на заказ вакуумный криостат космического исполнения, также разработанный Teledyne e2v, предотвращает загрязнение и обеспечивает рабочую температуру ПЗС -100°C при температуре посадочных мест +20°C. STFC RAL Space разработала блоки электроники ФПУ. Технология цифровой коррелированной двойной дискретизации обеспечивает чрезвычайно низкий уровень шума считывания, а также позволяет гибко оптимизировать скорости считывания, области считывания, аналоговое бинирование, достигая минимальных шумов в каждом режиме.

В 2019 году в ИЯФ СО РАН были проведены независимые испытания системы

охлаждения ФПУ и измерения квантовой эффективности ПЗС в диапазоне 115-320 нм на метрологической станции «Космос» с использованием синхротронного излучения накопительного кольца ВЭПП-4. В докладе представлены основные характеристики ФПУ и результаты наземных испытаний в Великобритании и в РФ.

Космическая система обнаружения декаметровых астероидов, летящих со стороны Солнца (проект СОДА)

Шугаров А.С. | Шустов Б.М. | Шмагин В.Е. | Буслаева А.И. | ИНАСАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Падение челябинского тела в 2013 г. наглядно показало, что проблема массового обнаружения малых тел (от 5-10 м), в т.ч. приходящих со стороны Солнца, в настоящий момент не решена. Задача обнаружения таких декаметровых тел имеет как научный, так и практический смысл.

Для обнаружения декаметровых тел в ближней зоне, приходящих с ночного неба, могут быть использованы наземные широкоугольные телескопы умеренных апертур, аналогичные применяемым в СККП. Примерно половина всех опасных тел приходит со стороны дневного неба, задача их массового обнаружения не может быть решена наземными средствами и требует размещения телескопов в космосе на достаточном удалении от Земли. В Институте астрономии РАН предложена концепция проекта СОДА (Система Обнаружения Дневных Астероидов). Один или два КА будут размещены в окрестности точки L1 (в системе Земля–Солнце) на расстоянии около 1.5 млн.км от Земли.

Для массового обнаружения тел, летящих со стороны Солнца, будет использоваться метод обнаружения на оптическом барьере вокруг Земли, после чего наиболее опасные тела будут наблюдаться индивидуально вплоть до подлета к Земле. Для столкновительных тел время упреждения составит около 10 часов, точность предсказания области входа в атмосферу - до нескольких десятков км.

Критическая технология проекта СОДА - космический широкоугольный телескоп с апертурой 30 см, способный каждые несколько минут осматривать конусный барьер вокруг Земли с проницанием до 17^m и обеспечивать точность угловых измерений лучше 0.5" в режиме сопровождения объекта. В работе представлена оптическая схема телескопа с полем зрения 3.75° с предапертурным поворотным зеркалом, обеспечивающим область наведения 50°×120°. Время перенаведения составит не более 3 с, время однократного обзора оптического барьера вокруг Земли 3-мя телескопами составит 3.5 минуты. Представлены основные характеристики проекта СОДА при использовании данного телескопа. Показано, что совместная работа космической системы СОДА и сети наземных телескопов с проницанием до 19^m позволит обнаруживать практически все декаметровые тела, приходящие как с дневного, так и с ночного неба, с временем упреждения около 10 часов.

Эшелле-спектроскопия. I. Геометрия изображения эшелле-спектра, выбор оптимальных параметров спектрографа высокого разрешения

Юшкин М.В. | Панчук В.Е. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Главной проблемой при проектировании спектрографа высокого разрешения является согласование масштаба изображения на входе спектрографа с размером элемента светоприемника. Увеличение спектрального разрешения требует уменьшение ширины входной щели, что снижает квантовую эффективность прибора. Таким образом определенные комбинации параметров спектрографа являются инвариантами, не зависящими ни от схемы прибора, ни от способа засветки входа в спектрограф. Эти инварианты являются следствием законов сохранения и определяются как диаметром телескопа, так и астроклиматом места установки телескопа. Создание специализированных приборов позволяет максимально эффективно использовать один параметр спектрографа за счет ухудшения других характеристик. Универсальные инструменты, как правило, работают одинаково плохо во всех наблюдательных программах. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при проектировании новой спектральной аппаратуры.

В докладе представлено описание основных схем спектрографов скрещенной дисперсии с эшелле-решеткой в качестве основного диспергирующего элемента. Приводятся соотношения для расчетов параметров спектрографа высокого разрешения в зависимости от варианта установки эшелле-решетки и типа элемента скрещенной дисперсии. Показаны особенности использования эшелле-решеток с различным углом блеска ($2 \leq \mathrm{tg}\Theta_b \leq 4$) на примере действующих и строящихся спектрографов 6-метрового телескопа (БТА) и телескопов 1-метрового класса. В спектрографах **НЭС** [*Astronomy Reports, 2017, V. 61, Iss. 9, pp.820-831*] и **ESPriF** [*INASAN Sci. Rep., 2020, V. 5(6), pp. 361-367*] 6-метрового телескопа БТА установлены эшелле R2 ($\mathrm{tg}\Theta_b=2$), и R3 ($\mathrm{tg}\Theta_b=3$), соответственно. В схеме белого зрачка оптоволоконного спектрографа 1-метрового телескопа [*Astrophysical Bulletin, 2015, V. 70, Iss. 2, pp.226-231*] используется эшелле R4 ($\mathrm{tg}\Theta_b=4$). Во всех случаях эшелле работает вне главной плоскости (случай «С» по [*Appl. Opt. 1980, V.19, p.2833*]). Обсуждаются возникающие при этом дополнительные аберрации. Для телескопов метрового класса рассмотрены некоторые технические решения, направленные на повышение информативности как избранных участков спектра, так и всего эшелле-изображения. Обсуждается необходимость использования

алгоритмов численного моделирования тракта «астрономический объект – атмосфера Земли – телескоп – спектрограф – приемник – система обработки» [*Astrophysical Bulletin, 2016, V. 71, Iss. 3, pp.343-356*] при создании спектрографов со скрещенной дисперсией, как для космических, так и для наземных телескопов.

Эшелле-спектроскопия. II. Эффективность, позиционная точность и методы стабилизации изображения

Юшкин М.В. | Панчук В.Е. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Спектроскопия высокого разрешения является наиболее информативным методом наблюдений в современной астрофизике. Химический состав и кинематика вещества звездных атмосфер, околозвездных оболочек, межзвездной среды и атмосфер планет (в том числе и экзопланет), высокоточные доплеровские измерения, исследование поляризационных эффектов внутри профилей отдельных спектральных линий, молекулярная спектроскопия, анализ изотопного состава, исследование межгалактического газа на больших красных смещениях – все эти задачи требуют создания спектральной аппаратуры с предельными характеристиками как по спектральному разрешению, так и по проницающей способности. Особое внимание при проектировании современных спектрографов высокого разрешения уделяется их эффективности и стабильности. Квантовая эффективность новых наиболее дорогостоящих приборов данного класса с учетом потерь света в земной атмосфере, в оптическом тракте телескопа, потерь на входе в спектрограф варьируется в пределах 10–15%, а в спектрографах предыдущих поколений эта величина не превышала 5%. Требования по точности доплеровских измерений, предъявляемые наиболее актуальными на сегодняшний день астрофизическими задачами, приводят к необходимости измерять сдвиги спектральных линий с ошибкой, не превышающей 10нм (0.01мкм) в плоскости приемника.

В данной работе описываются проблемы эффективности приборов с высоким спектральным разрешением на телескопах различного класса. Делаются оценки физических пределов точности позиционных измерений в классической спектроскопии. Рассматриваются проблемы засветки спектрографов посредством многомодовых оптических волокон. Обсуждаются перспективы развития методов спектроскопии высокого разрешения в целом, и увеличения позиционной точности спектральных измерений.

О геометрии изображений эшелле-спектров. Выбор оптимальных параметров спектрографа высокого разрешения

Юшкин М.В. | Панчук В.Е. | САО РАН

Секция: Аппаратура и методы астрономии на Земле и в космосе

Алгоритм моделирования тракта «астрономический объект – атмосфера Земли – телескоп – спектрограф – приемник – система обработки» [Astrophysical Bulletin, 2016, V. 71, Iss. 3, pp.343-356] используется при создании спектрографов со скрещенной дисперсией, как для космических, так и для наземных телескопов. В спектрографах НЭС [Astronomy Reports, 2017, V. 61, Iss. 9, pp.820-831] и ESPriF [INASAN Sci. Rep., 2020, V. 5(6), pp. 361-367] 6-метрового телескопа БТА установлены эшелле R2 и R3, соответственно. В схеме белого зрачка оптоволоконного спектрографа 1-метрового телескопа [Astrophysical Bulletin, 2015, V. 70, Iss. 2, pp.226-231] используется эшелле R4 (тангенс угла блеска = 4). Во всех случаях эшелле работает вне главной плоскости (случай «C» по [Appl. Opt. 1980, V.19, p.2833]), обсуждаются возникающие при этом дополнительные аберрации. Для телескопов метрового класса рассмотрены некоторые технические решения, направленные на повышение информативности как избранных участков спектра, так и всего эшелле-изображения.

Всероссийская астрономическая конференция

Астрометрия и небесная механика

2021

Сравнение динамики коорбитальных астероидов Юпитера и динамики тел в "дебрис" дисках формирующихся планетных систем

Абдульмянов Т.Р. | КГЭУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Рассматриваются механизмы фрагментации экваториального пылевого диска вокруг молодых звезд и формирования планетных систем. При помощи модели либрационных движений коорбитальных астероидов Юпитера построена модель вязкого движения газа, пылевых частиц и малых тел в пылевых дисках. Динамическая вязкость получена из уравнения Навье – Стокса для трех случаев характерных орбит потока. В вычислениях динамической вязкости в почти Кеплеровых дисках предполагается, что движение в них происходит по слабо возмущенным Кеплеровым орбитам. Причинами этих возмущений являются волновые возмущения плотности дисков при аккреции газа на ядро протозвездного облака. В результате таких возмущений движение в дисках будет отличаться от предполагаемых исходно, и диски будут содержать орбиты столкновений. В случае малых возмущений плотности будут малыми и отклонения от Кеплеровых орбит. В таких случаях предположение о Кеплеровости движения допустимо. В противном случае, необходимо применение совместного численного интегрирования уравнения неразрывности и уравнения Навье – Стокса с начальными условиями о слабо возмущенном движении. Вычислены скорости эволюции резонансного параметра для протопланетных колец ранней Солнечной системы. Показано, что либрационные орбиты троянцев на ранних этапах эволюции планетных систем могли быть транзитными орбитами для пылевых частиц при формировании небесных тел малых и больших размеров и масс.

О возможности разложения постоянной Тиссерана комет семейства Юпитера в биномиальный ряд

Абдульмянов Т.Р.* | *Соколова М.Г.* | *Усанин В.С.* | *КГЭУ* | *КФУ* | *КФУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Разложение гамильтониана круговой ограниченной задачи трёх тел, выраженного через переменные Пуанкаре, в биномиальный ряд до 1 или 2 степени использовалось ранее для построения аналитических теорий движения троянских астероидов и астероидов группы Гильды. В данной работе соответствующее представление постоянной Тиссерана рассматривается на численном примере кометы Дарре, принадлежащей к семейству Юпитера. Показано, что при продолжении ряда до 6 степени постоянная Тиссерана сохраняется не хуже, чем в своём общепринятом виде.

Коллокационный интегратор Lobbie в задачах орбитальной динамики

Авдюшев В.А.* | *НИИ ПММ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Предлагается новый коллокационный интегратор **Lobbie** для численного решения смешанных систем дифференциальных уравнений динамики первого и второго порядков. Исследуется его численная эффективность в сопоставлении с другими широко используемыми на практике интеграторами, а именно с коллокационным Рунге–Кутты, экстраполяционным Грэгга–Булирша–Штера, многошаговым Адамса–Мультона–Башфорта, а также с хорошо известным в небесной механике интегратором Эверхарта. Интеграторы тестируются в задачах орбитальной динамики. В частности, сравнительный анализ эффективности показывает, что при моделировании сложного орбитального движения (сильноэллиптического или с гравитационными маневрами), **Lobbie** превосходит по быстродействию другие интеграторы (кроме Эверхарта) в несколько раз, тогда как по точности — на несколько порядков.

Корректное сравнение эффективности интегратора Эверхарта и **Lobbie** не представляется возможным, поскольку они не имеют общих порядков: у первого на разбиениях Радау только нечетные, тогда как у последнего на разбиениях Лобатто только четные. Тем не менее, если сравнивать эффективность интеграторов смежных порядков, то в сильноэллиптическом случае интегратор Эверхарта (с более высоким порядком) уступает **Lobbie** по точности на один порядок.

Достоинством **Lobbie** является также то, что он, в отличие от интегратора Эверхарта, позволяет решать смешанные системы дифференциальных уравнений второго и первого порядков, которые, например, применяются в небесной механике для исследования динамического хаоса, а также для линеаризации, регуляризации и стабилизации уравнений движения. Чтобы воспользоваться интегратором Эверхарта для решения таких систем необходимо все уравнения второго порядка приводить первому. Однако применительно к системам уравнений первого порядка эффективность интегратора Эверхарта становится заметно хуже.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Метод кусочного переноса для стохастического моделирования орбитальной неопределенности

Авдюшев В.А.* | *НИИ ПММ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

В работе предлагается оригинальный нелинейный метод стохастического моделирования орбитальной неопределенности, возникающей в обратных задачах динамической астрономии вследствие случайных ошибок наблюдений. Метод основан на дифференциальном уравнении, описывающем траектории переноса от динамического состояния, полученного из наблюдений, до виртуальных состояний облака неопределенности в орбитальном фазовом пространстве. Используя какой-либо численный метод решения этого дифференциального уравнения, стохастическое моделирование для каждого виртуального состояния реализуется как последовательность кусочных переносов промежуточных динамических состояний. Новый метод тестируется в сильно нелинейных обратных задачах астероидной динамики на примерах двух недавно открытых объектов. Как показывают численные результаты, вложенная одношаговая схема Рунге–Кутты порядка 2(3) обеспечивает вполне приемлемую точность (с ошибкой в положении $10^{-8} $ а.е. и меньше) для стохастического моделирования орбитальной неопределенности. Результаты, полученные методом кусочного переноса, сравниваются с результатами, полученными методом возмущенных (зашумленных) наблюдений. Сравнительный анализ показывает хорошее согласие результатов, при том что быстродействие метода кусочного переноса как минимум вдвое выше.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Применение прямых измерений плотности и численных моделей солнечного ветра к обработке наблюдений дальности космических аппаратов

Аксим Д. А. | Павлов Д. А. | ИПА РАН | СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Секция: Астрометрия и небесная механика

Основной вид наблюдательных данных, используемых при построении высокоточных эфемерид планет Солнечной системы, — радиотехнические наблюдения дальности космических аппаратов. Обработка этих наблюдений осложняется наличием в межпланетном пространстве солнечной плазмы, которая вносит в измерения дальности дополнительную зависящую от времени задержку, пропорциональную электронной плотности плазмы. Современные эфемеридные теории (EPM, DE, INPOP) для устранения этой задержки аппроксимируют плотность солнечной плазмы симметричной степенной моделью вида $1/r^2$. В данной работе поднимается вопрос корректности и точности такой аппроксимации и предлагается альтернативный метод вычисления задержек в солнечной плазме, основанный на использовании прямых («ин-ситу») измерений электронной плотности и численной магнитогидродинамической модели солнечного ветра «ENLIL».

Исследование резонансных структур околопланетных орбитальных пространств методами численного моделирования

Александрова А.Г | Бордовицына Т.В. | Красавин Д.С | Томилова И.В. | Попандопуло Н.А. | НИ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Представлена методика исследования резонансных структур околопланетных орбитальных пространств путем численного моделирования. Методика основана на численном интегрировании уравнений движения и численном определении частот движения околоземных объектов с последующим анализом (в том числе машинным), получаемых временных рядов.

Для выявления возможных орбитальных и вековых резонансов используются аналитические представления аргументов возмущающих функций в неосредненной задаче, учитывающей влияние гравитационного поля планеты, в однократно и двукратно осредненной задаче, учитывающей влияние второй зональной гармоники, и гравитационное влияние внешних тел, рассматриваемых как материальные точки. Этот подход дает возможность обозначить все орбитальные и вековые резонансы, которые могут возникнуть в движении рассматриваемых объектов под действием указанных возмущений.

Моделирование орбитального движения, вычисление всех частот, возникающих в движении объектов, а также определение ляпуновских характеристик хаотичности движения выполняются с помощью программных комплексов (ПК), представляющих собой численную модель движения околопланетных объектов. Такой ПК должен осуществлять совместное численное интегрирование уравнений движения, уравнений в вариациях и уравнений ляпуновского параметра MEGNO. Кроме того, в процессе интегрирования осуществляется вычисление вековых частот в движении спутника с помощью уравнений Ньютона-Эйлера. Вычисление вековых частот в движении внешних тел производится путем численного дифференцирования их координат, приводимых в фонде координат больших планет, используемом в ПК.

По данным численного моделирования вычисляются резонансные характеристики, в качестве которых используются резонансные соотношения и резонансные (критические) аргументы. Полученные временные ряды используются для анализа (в том числе машинного) резонансной структуры изучаемой области орбитального пространства. Прохождение через нулевое значение или колебание вблизи нуля

резонансного соотношения говорит о том, что наличие резонанса возможно, а тип колебаний критического аргумента отвечает на главный вопрос, присутствует ли резонанс реально в движении рассматриваемого объекта и какова степень его устойчивости.

Приведены результаты применения методики к анализу резонансных структур избранных областей околоземного и окололунного орбитальных пространств. Обсуждается дискуссионный вопрос о тождественности результатов, получаемых численными и аналитическими методами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10022).

Создание единой системы определения селеноцентрических координат с целью ее использования совместно с современными спутниковыми наблюдениями и методами космического позиционирования

Андреев А.О. | Нефедьев Ю.А. | КФУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Работа посвящена решению фундаментальных проблем астрометрии, небесной механики и селенофизики, связанных с изучением селенографии, построением базы опорных кратеров, созданием высотных карт лунной поверхности с использованием спутниковых данных и разработкой методов навигационной привязки спутниковых, лунных и земных систем.

В процессе выполнения исследования решены следующие взаимосвязанные задачи. Разработан метод для определения и анализа координат наблюдаемых точек на Луне в селеноцентрической динамической системе координат. Создана база данных опорных объектов на видимой и обратной стороне Луны с использованием спутниковых данных. Построены гипсометрические высотные карты поверхности Луны по данным современных космических миссий. Разработан программный комплекс для определения и анализа координат точек на лунной поверхности, наблюдаемых различными методами, в том числе навигационным оборудованием, установленным на космических аппаратах. Проанализирована точность определения координат избранной точки на лунной поверхности и выполнено сопоставление с альтиметрическими данными космических миссий.

Следует отметить, что роботизированное освоение Луны, вошедшее в планы всех космических агентств мира, требует достижения точности селеноцентрических координат на уровне нескольких метров (в пересчете на поверхность Луны), причем повышение точности может быть достигнуто только с применением всего ансамбля космических средств координатных измерений непосредственно с окололунной орбиты. Поэтому одной из основных задач исследования стало создание селеноцентрической динамической навигационной сети на основе спутниковых наблюдений для ее использования в будущих космических навигационных задачах по

применению высокоточных угломерных устройств на бортах космических аппаратов на окололунной орбите. Представленные результаты найдут свое применение при создании единой системы определения селеноцентрических координат с целью ее использования совместно с современными методами позиционирования.

Настоящая работа поддержана грантом Российского научного фонда 20-12-00105 (согласно гранту разработан метод анализа данных и проведены численные расчеты). Работа частично выполнена за счет средств программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета, гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-32-90024 “Аспиранты” и Фонда развития теоретической физики и математики “БАЗИС”.

О возможных соударениях и сближениях астероидов с планетами

Баляев И.А. | Петров Н.А. | Соколов Л.Л. | Эскин Б.Б. | СПбГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Представлены предварительные результаты исследования возможных соударений и сближений большого числа астероидов с планетами Солнечной системы и Луной. С использованием метода Монте Карло получены оценки кумулятивной вероятности этих событий. Выделены астероиды, наиболее опасные для каждой планеты и Луны по кумулятивной вероятности возможных соударений. Для Земли полученные результаты сравниваются с данными сайта НАСА cneos.jpl.nasa.gov/centry/. Согласие удовлетворительное.

Нелинейность в обратных задачах динамики внешних спутников Юпитера

Баньщикова М.А. | Авдюшев В.А. | Шмидт Е.Е. | ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

В работе представлены результаты исследования полной и внутренней нелинейностей в обратных задачах динамики далеких спутников Юпитера, наблюдавшихся на очень коротких орбитальных дугах. Выявлена взаимосвязь между нелинейностью и условиями спутниковых наблюдений. В частности, показано, что очень сильная полная нелинейность имеет место, когда период наблюдений меньше 0.1 от орбитального периода. Кроме того, показано, что внутренняя нелинейность достаточно слабая для всех спутников. Это указывает на возможность применения нелинейных методов для адекватного моделирования их орбитальной неопределенности.

Исследование совместного влияния светового давления и вековых резонансов, связанных со средним движением солнца, на движение низкоорбитальных объектов

Блинкова Е.В. | Бордовицына Т.В. | НИ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Как известно вековые резонансы со средним движением Солнца имеют место в динамике объектов зоны LEO. В докладе представлены результаты исследование влияния светового давления при одновременном действии вековых резонансов, связанных со средним движением Солнца. Область исследования была выбрана в диапазоне больших полуосей от 6500 км до 9500 км и по наклонению от 0 до 90 градусов. Построена карта распределения вековых резонансов, связанных со средним движением Солнца и карта амплитуды эксцентриситета модельных объектов, тем самым показано, что амплитуда эксцентриситета увеличивается в зоне действия резонансов. Исследована динамика объектов при совместном влиянии светового давления и вековых резонансов, связанных со средним движением Солнца. Произведен анализ орбитальной эволюции реальных объектов, взятых с сайта NORAD (https://celestrak.com/). Все реальные объекты нанесены на указанные выше карты, где показаны их положения.

Работа выполнена по гранту РФФИ 20-32-90095 Аспиранты «Исследование динамики совокупности неуправляемых объектов, движущихся в областях LEO и LEO-MEO околоземного космического пространства (ОКП)».

Производящая функция компонент тензора Эйлера-Пуансо малых небесных тел

Буров А. А. | Никонова Е. А. | ФИЦ ИУ РАН & НИУ ВШЭ | НИУ ВШЭ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Доклад посвящен функциям, позволяющим вычислять компоненты тензора Эйлера-Пуансо с помощью дифференцирования. Роль этих функций аналогична роли производящих функций в математической статистике, позволяющих вычислять статистические моменты произвольного порядка. Обсуждаются свойства этих функций. Даются явные выражения обсуждаемых функций для ряда тел, поверхность которых задаётся простыми геометрическими фигурами, такими, например, как прямоугольный параллелепипед, равногранный тетраэдр, октаэдр, цилиндр, конус или трёхосный эллипсоид.

Приводится явное выражение производящей функции компонент тензора Эйлера-Пуансо в случае произвольного однородного тела, поверхность которого представляется многогранником с треугольными гранями, образующими триангуляционную сетку. Такая сетка задаёт совокупность ориентированных тетраэдров с общей вершиной в некоторой точке, например, в центре масс, и основаниями в гранях сетки. Вычисляются компоненты тензора Эйлера-Пуансо для некоторых малых небесных тел.

О точках либрации равномерно вращающихся небесных тел с полостями

Буров А.А. | Никонов В.И. | ФИЦ ИУ РАН & НИУ ВШЭ

Секция: Астрометрия и небесная механика

На примере равномерно вращающегося гравитирующего тела, представляющего собой однородный шар со сферической полостью, обсуждается вопрос о существовании и устойчивости точек либрации, расположенных внутри полости. Также изучается существование для таких тел точек либрации вне полости, в частности, в рамках задачи Роба [1].

[1] Robe H.A.G. A new kind of 3-body problem // Celestial mechanics. 1977. Vol. 16. No. 3. Pp. 343–351.

Эффект Ярковского в динамике астероидов с малыми перигелийными расстояниями

Галушина Т.Ю. | Летнер О.Н. | Сюсина О.М. | ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Проблема астероидной опасности является важной задачей небесной механики. Большой интерес с точки зрения решения этой задачи представляет класс астероидов с малыми перигелийными расстояниями (менее 0.15 а.е.). Вследствие прохождения объектов близко от Солнца, на их динамику могут оказывать существенное влияние негравитационные возмущающие факторы, такие, как эффект Ярковского.

Целью работы является получение значения трансверсальной составляющей параметра эффекта Ярковского для всех астероидов с малыми перигелийными расстояниями, а также исследование вопроса влияния интервала и точности наблюдений на ошибку определения данного параметра. Для каждого астероида на основе имеющихся на момент исследования наблюдений получены значения параметра и его среднеквадратические ошибки. Включение параметра в число оцениваемых в процессе улучшения орбиты позволило определить не только само значение, но и его точность для исследуемых объектов. Анализ результатов показал, что для большинства астероидов значения параметра эффекта Ярковского и его среднеквадратической ошибки совпадают по порядку величины. Лишь для пяти объектов (137924 2000 BD19, 276033 2002 AJ129, 465402 2008 HW1, 2008 FF5, 2020 VL4) среднеквадратическая ошибка меньше самого значения на порядок.

Для того чтобы оценить перспективы улучшения точности определения параметра эффекта Ярковского был проведен эксперимент с использованием разного состава реальных и модельных наблюдений. Варьирование точности и состава наблюдений показало, что неопределенность рассматриваемого параметра прямо пропорциональна точности наблюдений и уменьшается при увеличении интервала наблюдений. Однако для каждого астероида существует предельный мерный интервал, при достижении которого дальнейшее уменьшение неопределенности возможно только путем улучшения точности наблюдений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10022).

Вековая эволюция резонансных объектов пояса Койпера

Ефимов С.С. | Сидоренко В.В | МФТИ | ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

Многие объекты пояса Койпера находятся в резонансах средних движений (РСД) с Нептуном. Наиболее примечательными являются семейства плутино (РСД 2:3) и тутино (РСД 1:2). Мы изучили вековую эволюцию орбит плутино и тутино, используя предложенную Дж. Уиздомом методику анализа динамики при РСД [1]. Особое внимание в проведенном исследовании было уделено эффекту Лидова-Козаи: как оказалось, при РСД 1:2 в динамике некоторых объектов могут реализоваться несимметричные циклы Лидова-Козаи [2].

Методика Уиздома также позволила провести теоретическое исследование механизмов формирования хаоса при РСД 2:3 и 1:2. Можно утверждать, что в данном случае мы имеем дело с так называемым «адиабатическим хаосом» [1]. Ранее хаотизация динамики при обсуждаемых РСД изучалась только численно [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 20-01-00312А).

[1] Wisdom, J., Icarus, 63, 272-289 (1985)
[2] Ефимов, С.С., Сидоренко В.В., Космические исследования, 58, 284-290 (2020)
[3] Wisdom, J., Sussman, G.J., Bulletin of the American Astronomical Society, 20, 901 (1988)

Физическая либрация Луны

Загидуллин А.В. | КФУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Работа посвящена построению теории физической либрации Луны (ФЛЛ). ФЛЛ является одним из методов наблюдения колебаний во вращении небесного тело, а также как способ моделирование внутреннего строения. В нашей работе строятся уравнения Гамильтона ,где в качестве канонических переменных используются самолетные углы, впервые введённые Хабибуллиным Ш.Т основателем лунной казанской школы. Преимущество данных углов в том, что позволяет не учитывать прецессию лунного узла. Также в теории рассматриваются эффекты позволяющие учесть приливные явления,по методу предложенному Вильямсом в статье 2001 года, что позволяет нам при сравнении с теорией de421 уменьшить остаточные разности по широте практически на один порядок.

Анализ оптимальных схем перелета к Седне

Зубко В.А. | Суханов А.А. | Федяев К.С. | Корянов В.В. | Беляев А.А. | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | МГТУ им. Н.Э. Баумана | ИКИ РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

В работе рассматривается поиск схем перелета с минимальными затратами характеристической скорости к транснептуновому объекту (90377) Седна, который, вероятно, является объектом внутренней области Облака Оорта. Из-за значительного удаления этого объекта от Солнца в перигелии прямой перелет к нему потребует весомых затрат характеристической скорости даже при длительности более 100 лет. В данной работе исследованы траектории перелета с использованием гравитационных маневров у Венеры, Земли (манёвр VEEGA = Venus + Earth + Earth Gravity Assists), Юпитера, Сатурна и Нептуна для снижения суммарных затрат характеристической скорости. Также исследовались траектории с маневром VEΔVEGA = Venus + Earth + ΔV + Earth Gravity Assist. Ограничением являлось время перелета, которое не могло превосходить 50 лет. Поиск оптимальных траекторий производился для дат запуска в период с 2029 по 2037 год.

Перспективными оказались схемы перелёта к Седне с использованием гравитационных маневров у Земли, Венеры, Юпитера, и Нептуна. Исследование траекторий перелета по схеме Земля-Юпитер-Седна показало, что даже в этом случае существуют траектории пассивного перелета (т.е. перелета, для которого не требуется дополнительных импульсов, кроме импульса старта с низкой орбиты спутника Земли), удовлетворяющие ограничению по длительности. Перелет же по схемам, включающим маневр Венера-Земля-Земля-Юпитер, позволяет добиться практически двукратного снижения затрат характеристической скорости по сравнению с маневром только у Юпитера. Время перелета при этом либо не изменится, либо незначительно увеличится.

Уточнение массы Главного пояса астероидов и индивидуальных масс астероидов в динамической модели эфемерид EPM с использованием данных инфракрасных наблюдений

Кан М.О. | Павлов Д.А. | ИПА РАН | СПБГЭТУ "ЛЭТИ"

Секция: Астрометрия и небесная механика

Целью данной работы является уточнение массы Главного пояса астероидов и индивидуальных масс астероидов. Для этого предлагается использовать метод регуляризации Тихонова - расширение над методом наименьших квадратов, использующее априорную информацию о значениях масс астероидов и их ошибок. Привлечение априорных данных позволяет не просто найти наилучшее с математической точки зрения решение, но и учесть физические свойства параметров. Для каждого астероида априорная масса и ее ошибка вычислялись на основании оценок диаметра, полученных из инфракрасных наблюдений, и плотности, соответствующей таксономическому классу, которому принадлежит этот астероид. В результате работы удалось получить оценки масс, согласующиеся с нашими более ранними оценками и оценками других авторов, а также удалось оценить те массы, оценки которых нами до этого не были получены.

Эфемерида Луны EPM2021

Кан М.О. | Ягудина Э.И. | ИПА РАН | ИПА РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

В настоящее время существуют три основные эфемериды для обеспечения исследования тел Солнечной системы: DE(США), INPOP(Франция), EPM (Россия). Все три современные эфемериды показывают высокую, приблизительно равную точность.

При построении эфемериды Луны используются высокоточные лазерные наблюдения Луны (LLR). При использовании LLR-наблюдений необходимы динамические теории адекватной точности. При создании современной эфемериды Луны требуется учет большого количества физических эффектов, связанных с фигурами Земли и Луны, приливными и вращательными деформациями и внутренним строением Луны. Используемая в настоящее время модель орбитально-вращательного движения Луны, как часть модели движения тел Солнечной системы эфемериды EPM2021, строится путем совместного численного интегрирования орбитального движения планет Солнечной системы и Луны, отдельных (301) астероидов, пояса астероидов, транснептуновых объектов (TNO-30) , кольца TNO и численного интегрирования уравнений вращения Луны методом Адамса для интегрирования дифференциальных уравнений с запаздывающим и опережающими аргументами .

В версии эфемериды Луны EPM2021 для улучшения параметров (более 100) Луны используются современные лазерные наблюдения Луны с 1970 года (более 28000 нормальных точек , полученных на 6 станциях). На станции Grasse, кроме зеленых наблюдений проводятся инфракрасные наблюдения, более высокой точности.

В настоящей работе обсуждается современное состояние и дальнейшие возможности улучшения эфемериды Луны EPM2021.

Возможности астрофизических телескопов при исследованиях объектов космического мусора

Кохирова Г.И. | Левкина П.А. | Бахтигараев Н.С. | Хамроев У.Х. | ИА АН РТ | ИНАСАН | ИНАСАН | ИА АН РТ

Секция: Астрометрия и небесная механика

В 2016 году после 26-летнего перерыва был восстановлен и модернизирован астрофизический телескоп Цейсс-1000 Международной астрономической обсерватории Санглох Института астрофизики АН Республики Таджикистан. Местоположение обсерватории с координатами φ = 38.3° с.ш., λ = 69.2° в.д., h = 2190 м и с одним из лучших на территории бывшего СССР астроклиматом даёт отличные условия для исследований движения космических объектов на геостационарной орбите, особенно для объектов, движущихся вблизи точки либрации λ = 75° в.д. С сентября 2016 г. по август 2019 г. на Санглохе было проведено пять сеансов наблюдений объектов космического мусора по научным направлениям, ведущимся в ИНАСАН и ИА АН РТ. У одного из объектов было обнаружено резкое изменение элементов орбиты. В докладе приводятся результаты детальных исследований поступательно-вращательного движения и характер изменения блеска нескольких фрагментов космического мусора, движущихся в режиме либрации вокруг точки λ = 75° в.д. Приводится сравнение результатов наблюдений на Санглохе с наблюдениями, полученными на обсерваториях ИНАСАН.

Исследование прецессии экзо-планеты в планетной задаче четырех тел с учетом эволюции орбиты спутника планеты

Красильников П.С. | МАИ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Исследуется нерезонансная эволюция угла наклона оси вращения планеты M под действием гравитационных моментов от звезды, спутника планеты (экзо-Луны), находящегося на эволюционирующей орбите, и внешней планеты (экзо-Юпитера). Считаем, что исследуемая планета является динамически симметричным твердым телом (A = B), эллипсоид инерции которого близок к сфере. Полагаем также, что обе планеты движутся по кеплеровским эллипсам вокруг звезды. Траектория спутника — кеплеровский эллипс с фокусом в планете M, эволюционирующий по лунному типу: эволюционирует долгота восходящего узла орбиты спутника на плоскости "эклиптики"' и аргумент перицентра.

Получены канонические усредненные уравнения возмущенных колебаний по углу нутации и углу прецессии планеты M, содержащие параметры, медленно меняющиеся со временем. Показано, что наблюдаются колебания по углу нутации в окрестности невозмущенного его значения, при этом экзо-Юпитер вызывает долгопериодические колебания с частотой, равной частоте прецессии планеты, вызванной гравитационными моментами от экзо-Солнца. Экзо-Луна вызывает короткопериодические колебания с частотой, близкой к частоте прецессии узла орбиты экзо-Луны на плоскости "эклиптики".

Исследованы колебания по углу нутации планеты M в частном случае плоских круговых орбит экзо-Юпитера и самой планеты. Показано, что экзо-Юпитер не оказывает влияние на эволюцию угла нутации. Экзо-Луна вызывает периодические колебания малой амплитуды, возрастающей при уменьшении большой полуоси орбиты экзо-Луны. Таким образом, в этом частном случае экзо-Луна оказывает дестабилизирующее влияние на колебания по углу нутации планеты.

Анализ поправок к деформациям поверхности земли на станции РСДБ "Симеиз"

Курбасова Г.С. | Вольвач А.Е. | Вольвач Л.Н. | КрАО РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

Станции РСДБ «Симеиз» принимала участие в наблюдениях сетей станций Международной службы РСДБ (IVS), на временном интервале определения анализируемых в настоящей работе временных рядов о пост сейсмических и атмосферных дополнениях к локальным деформациям земли. Принятая в настоящее время отсчётная основа ITRF2014 непосредственно поддерживается сетью станций РСДБ. Предполагаемая неопределённость отсчётной основы ITRF2014 находится на уровне менее 3 мм в эпоху 2010.0 и менее чем 0,2 мм / год во временной эволюции, что фактически определяет точность смещения станций в сети РСДБ. Скорости смещения станции «Симеиз» по РТ – наблюдениям в отсчётной системе IGS14, составляют: в северном направлении 11.3мм/год, в восточном направлении 22.2мм/год, в вертикальном направлении 0.8мм/год с погрешностью ± 0.1мм/год. Смещения станций в результате пост сейсмических деформаций вычислялись по модели IERS. Анализ линейных смещений и скоростей станций «Симеиз» (РТ-22) показал, что с учётом добавок за не смоделированные эффекты и пост сейсмические деформации погрешность определения скоростей смещений не превышает 0.5 мм/год для наиболее значимых вертикальных смещений. Выделенная нами сезонная составляющая в вертикальных деформациях поверхности земли по наблюдениям на РТ-22 (модель IERS «Атмосфера») имеет амплитуду 3.37мм. Схожие тенденции роста пост сейсмических, не смоделированных атмосферных добавок, уровня моря в пункте Кацивели в целом коррелируют с ростом глобальной температуры и повышением природных энергетических процессов на рассматриваемом интервале времени.

Визуализация динамических характеристик орбитальной эволюции космического мусора и иные средства машинного анализа астрономических данных

Кучерявченко Н.А. | Александрова А.Г | Попандопуло Н.А. | Александров В.Б. | НИ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

В работе представлено описание приложения SDVEApp (application for experiments and visualization of space debris characteristics), предназначенного для проведения исследований орбитальной эволюции космического мусора, а именно для расчета и визуализации часто используемых в исследованиях динамических характеристик околоземных объектов. Дополнительно данное приложение позволяет упростить работу по исследованию объектов из ряда известных каталогов космических объектов, например, NORAD и ESA «Classification of geosynchronous objects», а также объектов, данные о которых получены из наблюдений, выполненных сотрудниками отдела небесной механики и астрометрии НИИ ПММ ТГУ.

Приложение SDVEApp в совокупности с «Численной моделью движения ИСЗ» дает возможность:

- привести данные из выбранных каталогов в формат, необходимый пользователю;

- рассчитать и построить трассу объекта;

- получить двумерные и трехмерные графики распределения объектов, включая распределение по большой полуоси и долготе;

- определить пространственную плотность распределения объектов;

- рассчитать сближения между объектами с построением соответствующих диаграмм и таблиц;

- получить графики изменения во времени кеплеровских элементов: большой полуоси, эксцентриситета и наклонения, а также параметра MEGNO (Mean Exponential Growth of Nearby Orbit), позволяющего судить о хаотичности движения космических объектов;

- построить графики эволюции резонансных соотношений и соответствующих им

критических аргументов, необходимые для выявления наличия вековых резонансов.

Последние два пункта либо строятся с помощью встроенных в приложение средств, либо приложение запускает Scripter и соответствующий ему графический редактор. Это позволяет автоматизировать процесс построения большого числа графиков. Иногда их число достигает десятков тысяч.

С помощью приложения SDVEApp проведено исследование динамической эволюции ряда объектов геостационарной зоны, данные о которых получены из наблюдений, выполненных сотрудниками отдела небесной механики и астрометрии НИИ ПММ ТГУ на телескопе Цейсс–2000 ЦКП «Терскольская обсерватория» ИНАСАН.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Вероятностная орбитальная эволюция астероида 2015 HG

Летнер О.Н. | Галушина Т.Ю. | НИ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Исследование вероятностной орбитальной эволюции астероидов, особенно астероидов, сближающихся с Землей, является важным этапом получения достоверного прогноза динамики объектов, представляющих потенциальную опасность для нашей планеты. В процессе построения орбитальной эволюции существенную роль играет выбор способа формирования начальной вероятностной области (линейный или нелинейный метод) при решении задачи оценивания начальных параметров, так как даже незначительное смещение за счет нелинейности может существенно отразиться на поведении орбитальных элементов со временем.

Работа посвящена исследованию динамики астероида 2015 HG, относящегося к классу объектов с малыми перигелийными расстояниями ($q<0.15$ а.е.). По данным центра малых планет 2015 HG имеет 27 наблюдений, распределенных на короткой мерной дуге, всего 7 суток. На основе имеющихся наблюдений построена начальная вероятностная область с помощью классического линейного метода и нелинейного метода возмущенных наблюдений. В линейном способе область определяется на основе вероятных ошибок орбитальных параметров, получаемых из наблюдений методом наименьших квадратов (МНК). Относительно выбранного центра (МНК-оценок начальных параметров, так называемой, номинальной орбиты) с помощью датчика случайных чисел формируется множество тестовых частиц, распределенных по нормальному закону. В методе возмущенных наблюдений в наблюдения вносятся малые возмущения и многократно решается задача наименьших квадратов. Для номинальной орбиты и частиц из начальных вероятностных областей, построенных линейным и нелинейным методами, прослежена орбитальная эволюция на интервале времени 6000 лет. Выявлены сближения астероида с Меркурием, Венерой, Землей, Марсом и орбитальные резонансы 1/3 с Землей и 4/1 с Юпитером. Проведен сравнительный анализ поведения орбитальных элементов и резонансных характеристик для частиц из линейной и нелинейной областей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Численные исследования регулярной и хаотической динамики АСЗ, находящихся вблизи некоторых резонансов с Венерой, Землей и Юпитером

Ниганова Е.Н. | НИИ ПММ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Работа посвящена проблеме возникновения динамического хаоса в окрестности границ орбитальных резонансов АСЗ (астероиды, сближающиеся с Землей) с планетами. Данная проблема непосредственно связана с проблемой астероидной опасности, поскольку динамический хаос может приводить к весьма значительным изменениям параметров орбит АСЗ и, соответственно, к тесным сближениям и столкновениям с планетами, в том числе, и с Землей.

В работе отображены результаты построения и исследования областей начальных параметров движения, приводящих к некоторым резонансам с Венерой, Землей и Юпитером. Исследования выполнялись численным моделированием эволюции орбит астероидов, резонансных характеристик и индикатора хаотичности движения. В модель сил было включено влияние на АСЗ всех больших планет, Луны и трех наиболее крупных астероидов: Цереры, Паллады и Весты. В качестве оценки хаотичности был взят параметр MEGNO, с помощью которого были исследованы окрестности полученных резонансных областей. Каждая резонансная область строилась на множестве начальных значений большой полуоси и средней аномалии при фиксированных значениях остальных элементов орбит, которые соответствовали реальным АСЗ с малым перигелийным расстоянием. В результате были построены хаотические зоны в окрестности границ резонансных областей при различных значениях эксцентриситета и наклонения, и получены численные оценки ширины этих зон. Численное моделирование выполнялось на кластере СКИФ CYBERIA ТГУ. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Обновленная версия эфемерид EPM2021 ИПА РАН

Павлов Д.А. | Питьева Е.В. | ЛЭТИ, ИПА РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

Численные эфемериды планет и Луны — EPM (**E**phemerides of **P**lanets and the **M**oon) начали создаваться в конце 70-х годов прошлого века для обеспечения космических полетов. В настоящее время в ИПА РАН создана серия численных эфемерид EPM, из которой последняя публично доступная версия датирована 2017 г. В модели новых эфемерид EPM2021 сохранены основные свойства из предыдущих эфемерид: двухмерные подвижные кольца астероидов Главного пояса и объектов пояса Койпера, общие массы астероидного пояса, пояса Койпера и Троянцев Юпитера; уменьшение массы Солнца и гравитационной постоянной, модель орбитально-вращательного движения Луны, близкая к модели движения Луны в DE430, релятивистские эффекты, включая и эффект Лензе-Тирринга. Улучшения, сделанные в EPM2021, касаются интегрирования уравнений с запаздывающими и опережающими аргументами, техники автоматического дифференцирования для решения систем условных уравнений, модели задержки радиосигнала в солнечном плазме, регуляризации системы уравнений для определения масс астероидов. Также была переработана база данных Пулковких оптических наблюдений, обновлены координаты астероидов и 30 крупнейших ТНО, а также их массы. Эфемериды EPM2021 будут выпущены в течение 2021г.

Определение орбит околосолнечных комет

Павлов С.Р. | Медведев Ю.Д. | ИПА РАН | ИПА РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

К околосолнечным обычно относят кометы с перигелийным расстоянием порядка 1-20 радиусов Солнца (0,004-0,08 а. е.). За последние 25 лет благодаря наблюдениям космического аппарата SOHO, расположенного в точке Лагранжа L_1, было открыто более 4000 новых околосолнечных комет. Большая их часть имеет совсем небольшие размеры, порядка метров – десятков метров, из-за чего достаточной освещенности и яркости они достигают только на маленьком участке дуги орбиты в окрестности перигелия. Это приводит к тому, что распределение наблюдений этих комет крайне неравномерно. Кроме того, наблюдения имеют низкую точность, что сильно усложняет определение орбит данных комет. За прошедшие годы в зависимости от схожести элементов орбит было выделено 4 семейства околосолнечных комет. В данной работе мы рассмотрели несколько наиболее долгоживущих комет из семейств Марсдена и Крахта с перигелийными расстояниями порядка 10-15 радиусов Солнца. Дополнительные трудности в определение орбит комет данных семейств вносит Юпитер, сближение с которым испытывается ими в афелии. Это делает орбиты исследуемых комет хаотичными. Оценка времени Ляпунова, полученная нами при вычислении параметра MEGNO, не превышала для них 10 лет. Особо тесные сближения с Юпитером испытывала комета 323p, влиянием которого, вероятно, объясняется поворот её линии апсид относительно основной массы представителей в рассматриваемых семействах. Для комет 321P, 322P, 323P, 342P, P/1999 J6, P/2008 N4 были определены орбиты и негравитационные ускорения по модели Марсдена, а также были рассчитаны критерии схожести орбит, предложенные Саутвортом и Хокинзом и Драммондом, и метрики Холшевникова.

Состояние и планы работ по определению параметров вращения Земли в ГМЦ ГСВЧ

Пасынок С.Л. | Безменов И.В. | Игнатенко И.Ю. | Цыба Е.Н. | Жаров В.Е. | Иванов В.С. | ФГУП ВНИИФТРИ | ФГУП ВНИИФТРИ | ФГУП ВНИИФТРИ | ФГУП ВНИИФТРИ | ГАИШ МГУ | ФГУП ВНИИФТРИ

Секция: Астрометрия и небесная механика

В ГМЦ ГСВЧ регулярно проводятся работы в области определения и прогнозирования ПВЗ в режиме службы (ГМЦ ГСВЧ - Главный метрологический центр Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли. В настоящее время эта роль возложена на НИО-7 ФГУП "ВНИИФТРИ"). В докладе рассмотрена деятельность ГМЦ ГСВЧ по определению ПВЗ и совершенствованию аппаратно-программных средств ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ в 2020 г.- начале 2021 г., а также планы на ближайшее будущее.

В этот период в ГМЦ ГСВЧ проводились:
- регулярные спутниковые измерения (ГНСС и СЛД) на пунктах mdvj и mdvs сети пунктов метрологического контроля сети Росстандарта, которые входят также в состав сетей отечественных (ФАГС) международных служб (IGS, ILRS, EPN);
- сбор и предварительная обработка данных спутниковых измерений с остальных пунктов метрологического контроля сети Росстандарта, расположенных в Восточно-Сибирском (г. Иркутск), Западно-Сибирском (г. Новосибирск), Дальневосточном (г. Хабаровск) и Камчатском (г. Петропавловск-Камчатский) филиалах ФГУП "ВНИИФТРИ"(Эти пункты также входят в состав сетей отечественных и международных служб спутниковых измерений);
- сбор и вторичная обработка данных спутниковых и РСДБ измерений
для цели определения ПВЗ по отдельным видам измерений;
-комбинированная обработка данных спутниковых и РСДБ измерений и результатов их обработки для формирования сводных данных о ПВЗ.

Глобальная геодезическая система наблюдений (ГГСН,GGOS) провозгласила достижение миллиметровой точности целью текущего десятилетия. Для ПВЗ это означает достижение точности (СКО) 30 микросекунд дуги по координатам полюса и 2 мкс по всемирному времени.

Для повышения точности определения и прогнозирования ПВЗ необходимо совершенствование как измерительных сетей, так и средств обработки и анализа данных.
В ГМЦ ГСВЧ запланирован ряд работ по совершенствованию средств определения и

прогнозирования ПВЗ. Большое внимание в части совершенствования средств обработки и анализа данных будет уделено повышению оперативности и совершенствованию методов и средств прогнозирования ПВЗ, а также координат и поправок часов космических аппаратов. В связи с предполагаемым дальнейшим развитием сети РСДБ-антенн стандарта VGOS (ранее VLBI 2010) запланировано совершенствование программ обработки и анализа данных РСДБ-измерений.

Измерения вращения Луны с поверхности Луны: результаты компьютерного моделирования

Петрова Н.К. | Нефедьев Ю.А. | Андреев А.О. | Загидуллин А.А. | КГЭУ | КФУ | КГЭУ | КФУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Представлены результаты компьютерного моделирования двух космических экспериментов: измерение координат звёзд с помощью налунного телескопа и измерение угла между световыми лазерными маяками, размещёнными в разных точках лунной поверхности, с помощью высокоточного интерферометра, установленного на луностационарном спутнике. Поскольку у Луны невозможно существование луностационарного спутника, есть возможность разместить его в точке либрации L1, в которой спутник будет «висеть» над центром лунного диска, как стационарный. Хотя точка L1 не устойчивая, существуют технологии, поволяющие удержать спутник в этой точке. Конечная цель обоих экспериментов – определение параметров вращения Луны.

В работе представлены конструктивные предложения по реализации и того, и другого эксперимента, сформированные в ходе моделирования, выявлены проблемы, которые позволят принять выверенное решение относительно практической реализации экспериментов.

Так, в ходе компьютерного моделирования по применению азимутального зенит-телескопа (АЗТ) для определения селенографических координат звёзд было показано, что оптимальным размещением телескопа поможет быть селенографическая широта 30-40 градусов: здесь в равной степени точно определяются как широтные, так и долготные либрации Луны. Но, в отличие от полярного размещения телескопа, на средних широтах появляются технические трудности по поддержке работоспособности измерительной аппаратуры.

Применение световых лазерных маяков может дать новую информацию о тонкостях лунного вращения, но, к сожалению, предлагаемая технология измерения позволит определить только два угла либрации – рысканья и крена, третий же угол, тангажа, определяемый в продольном направлении лучу зрения с луностационарного спутника, не чувствителен к изменениям в измеряемых со спутника углах.

Астрометрия квазаров и их протяжённые джеты: систематические отличия РСДБ-Gaia

Плавин А.В. | Ковалев Ю.Ю. | Петров Л.Ю. | АКЦ ФИАН, МФТИ | АКЦ ФИАН, МФТИ, MPIfR | NASA

Секция: Астрометрия и небесная механика

Мы сравнили положения 12 тысяч квазаров, полученные по радионаблюдениям (РСДБ), с измерениями космического телескопа Gaia. Оказалось, что 10% объектов имеют статистически значимые различия между этими координатами. Среди более чем 5 тысяч квазаров, для которых мы определили видимые направления джетов, большинство сдвигов координат происходит вдоль или против джета. Это означает, что именно протяжённые астрофизические джеты являются доминирующей причиной расхождения между РСДБ и Gaia положениями квазаров. Мы показываем, что наблюдаемый эффект вызван влиянием как оптического, так и радио излучения релятивистских джетов. Дальнейшее уточнение таких систем координат и их взаимной привязки требует учёта видимой структуры квазаров, которая различается в зависимости от частоты наблюдения.

Численное моделирование динамики окололунных объектов

Попандопуло Н. А. | Александрова А. Г. | Бордовицына Т. В. | Авдюшев В. А. | Томилова И. В. | ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Данный доклад посвящен описанию результатов исследования особенностей орбитальной динамики искусственных спутников Луны (ИСЛ). Разработанное авторами программно-математическое обеспечение (ПМО) «Численная модель движения ИСЛ» позволяет проводить высокоточное моделирование движения ИСЛ на длительных интервалах времени, исследовать особенности орбитальной эволюции окололунных объектов. В модели учтены возмущения в движении спутника от селенопотенциала, включая приливные изменения в теле Луны, возмущения от притяжения Земли и Солнца, влияние светового давления, а также присутствует возможность вычисления быстрой ляпуновской характеристики MEGNO для анализа хаотичности движения окололунных объектов. Помимо основных возмущающих факторов ПМО расширенно возможностью вычисления вековых частот в движении ИСЛ с помощью точных формул Эйлера–Ньютона для исследования влияния вековых резонансов на орбитальную эволюцию окололунных объектов. ПМО «Численная модель движения ИСЛ» было протестировано на результатах, опубликованных другими авторами. Сравнение показало, что разработанный программный комплекс дает результаты, либо совпадающие, либо близкие к результатам, полученным другими авторами. Было проведено моделирование движения 5180 окололунных объектов, равномерно распределенных в окололунном пространстве. Выполнен анализ особенностей динамики окололунных объектов, получены оценки времени жизни ИСЛ на орбитах в зависимости от величины большой полуоси и наклонения, показано, что в ряде областей окололунного пространства это время весьма мало и выяснены причины этого явления. По данным эксперимента была построена карта оценок времени жизни окололунных объектов на орбите и выявлено, что у значительной части ИСЛ наблюдается малая продолжительность жизни на орбите. Как выяснилось, короткое время жизни спутников на орбите обуславливается ростом эксцентриситета их орбит. Для объектов на средних и больших высотах это объясняется влиянием векового апсидально-нодального резонанса первого порядка (резонанса типа Лидова–Козаи), а для низколетящих объектов — влиянием сложного по структуре гравитационного поля Луны.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10022).

Исследование околоземных астероидов как возможный сценарий продления миссии «Спектр-Рентген-Гамма»

Пупков М.В. | Эйсмонт Н.А. | Федяев К.С. | Зубко В.А. | Беляев А.А. | Назиров Р.Р. | Симбирев Н. | МГТУ им. Н.Э. Баумана | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | МГТУ им. Н.Э. Баумана

Секция: Астрометрия и небесная механика

Настоящее исследование посвящено исследованию одного из возможных сценариев продления миссии КА «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ) по окончании срока его эксплуатации на ограниченной орбите в окрестности точки либрации L2 системы Солнце-Земля. Основная задача данной миссии – измерение рентгеновского излучения небесных объектов. Кроме того, обсерватория СРГ оснащена оптическими приборами для определения ориентации.

По окончании основной миссии предлагается направить аппарат СРГ на траекторию сближения с одним или несколькими небесными телами: околоземными астероидами или кометами для их изучения с пролетной траектории. Примером уже реализованной миссии подобного рода является проект ISEE-3/ICE, в рамках которого аппарат изначально был направлен на изучение солнечного ветра в районе точки либрации L1 системы Солнце-Земля, а затем, после ряда маневров по помощи лунной гравитации, был успешно переведен на траекторию сближения с кометой Джакобини-Циннера.

Рассматривается возможность сближения КА СРГ с астероидами в 2029 году, а также с кометами в 2035 и 2036 году. По предварительным оценкам, в 2029 году, после завершения своей основной миссии, КА СРГ будет обладать достаточным запасом топлива на борту для орбитальных и ориентационных маневров, необходимых для довольно близкого пролета некоторых астероидов. Одним из возможных объектов изучения аппарата может быть астероид Апофис, который в 2029 году будет испытывать очередное сближение с Землей. При пролете Апофиса могут быть дополнительно уточнены как его орбитальные параметры, так и физические характеристики, в том числе масса. Согласно полученным оценкам, дополнительные затраты топлива для перевода КА СРГ на траекторию сближения с Апофисом составят около 180 м/с.

Рассматриваются также перспективы аналогичного продления миссий других функционирующих аппаратов по окончании их основной миссии.

Мультиволновая астрометрия

Рыхлова Л.В. | Клюйков А.А. | ИНАСАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

В докладе представлен ретроспективный обзор фундаментальных каталогов, полученных по наблюдениям звезд в оптическом диапазоне, внегалактических радиоисточников в радиодиапазоне, а также наблюдений звезд с помощью телескопов, установленных на космических платформах.

Сравнение дрейфа большой полуоси при учете эффекта Ярковского в двух орбитальных системах отсчета

Санникова Т.Н.* | *КрАО РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

Рассмотрено движение астероида в центральном гравитационном поле при наличии дополнительного возмущающего ускорения, возникающего за счет эффекта Ярковского. Долгосрочная эволюция большой полуоси орбиты исследована с помощью решения осредненных уравнений движения в двух орбитальных системах отсчета: O_1, связанной с радиусом-вектором и O_2, связанной с вектором скорости. Изменение большой полуоси происходит под влиянием трансверсального и тангенциального ускорения соответственно, поэтому использованы частные решения с нулевыми значениями других компонентов. В обеих системах отсчета решение представляет собой три выражения для времени, среднего движения (или большой полуоси) и средней аномалии как функций от эксцентриситета, остальные элементы орбиты не изменяются.

Числовые величины трансверсального и тангенциального компонентов ускорения определены с помощью выражений для средних за орбитальный период значений, полученных на основе линейной теплофизической модели силы Ярковского для сферических астероидов. Компоненты ускорения и дрейф большой полуоси за 1 млн. лет найдены для 12 астероидов с различными эксцентриситетами орбит. Сравнительный анализ показал, что для орбиты, близкой к круговой, трансверсальная и тангенциальная составляющие практически совпадают, как и должно быть. При увеличении эксцентриситета тангенциальный компонент ускорения Ярковского меньше (по модулю) трансверсального при одинаковых теплофизических параметрах тела, и расхождение в процентном соотношении тем больше, чем ближе эксцентриситет к единице. При $e < 0.65$ дрейф большой полуоси (по модулю), вычисленный на основе тангенциального ускорения, больше дрейфа, полученного за счет учета трансверсального ускорения, и, наоборот, при $e > 0.65$ дрейф большой полуоси, вычисленный в системе O_2, меньше дрейфа, полученного в O_1. При $e < 0.7$ это отличие не превышает 6% от номинального значения дрейфа, определенного в O_1, но для астероида 1566 Icarus (e=0.827) дрейфы отличаются на 12.6%, а для 3200 Phaethon (e=0.89) на 18.6%. Таким образом, при моделировании эффекта Ярковского трансверсальным ускорением оценка дрейфа большой полуоси для объектов с высокоэллиптическими орбитами может оказаться завышенной.

Оценка возраста двух молодых пар астероидов на близких орбитах

Сафронова В.С.* | *Кузнецов Э.Д.* | *УрФУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Исследована вероятностная эволюция двух молодых пар астероидов: (87887) 2000 SS286 – (415992) 2002 AT49 и (320025) 2007 DT76 – (489464) 2007 DP16 с целью оценки их возраста. Для каждого из астероидов было сгенерировано 1000 траекторий с начальными данными из доверительной области, что соответствует 1 млн вариантов эволюции каждой пары. Моделирование проводилось в программе Orbit9 комплекса OrbFit. Совместно интегрировались уравнения движения восьми больших планет, карликовой планеты Плутон и астероида с учетом влияния эффекта Ярковского, сжатия Солнца и релятивистских эффектов. Интервал интегрирования составил 30 тыс. лет. В отличие от традиционного подхода, при учете эффекта Ярковского оценки возраста получали для нескольких фиксированных значений скоростей дрейфа большой полуоси, соответствующим различным положениям наклона оси вращения астероида к плоскости орбиты. Анализировались условия низкоскоростных сближений: $\Delta r < 10\ R_{\text{Н}}$, $\Delta v < 4\ V_2$, где $R_{\text{Н}}$ – радиус сферы Хилла более массивного астероида пары, V_2 – вторая космическая скорость относительно более массивного астероида, Δr – относительное расстояние между астероидами, Δv – относительная скорость астероидов. Оценка возраста пары (87887) 2000 SS286 – (415992) 2002 AT49 в зависимости от скорости дрейфа большой полуоси составляет от 7.58 ± 0.035 тыс. лет до 8.8 ± 0.043 тыс. лет, что близко к оценке 7.4 ± 0.3 тыс. лет, полученной в работе (Žižka et al., A&A, 2016, 595, A20). Для пары (320025) 2007 DT76 – (489464) 2007 DP16 оценка возраста в зависимости от скорости дрейфа большой полуоси составляет от 15.4 ± 0.96 до 29.5 ± 0.04 тыс. лет. В работе (Žižka et al., A&A, 2016, 595, A20) для этой пары дана оценка возраста – более 10 тыс. лет. Предложенный подход оценки возраста пар астероидов для набора фиксированных значений скорости дрейфа большой полуоси, обусловленной влиянием эффекта Ярковского, позволяет получить более строгие оценки диапазона возможных возрастов исследуемой пары астероидов.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Нелинейность в разных орбитальных параметрах в обратных задачах астероидной динамики

Сюсина О.М. | Авдюшев В.А. | ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Исследуется нелинейность в зависимости от выбора состава определяемых орбитальных параметров в обратных задачах астероидной динамики. Нелинейность оценивается с точки зрения ее влияния на орбитальную неопределенность, обусловленную ошибками наблюдений при определении орбиты. Сопоставление показателей нелинейности с их пороговыми значениями позволило классифицировать задачи как слабо, умеренно и сильно нелинейные.

В случае потенциально опасных астероидов при выборе декартовых переменных в качестве определяемых параметров сильная нелинейность проявляется для 17 % объектов, тогда как при выборе кеплеровых элементов — только для 8 % объектов обратная задача является слабо или умеренно нелинейной. Эти результаты говорят о том, для объектов с малой наблюдаемой орбитальной дугой в качестве определяемых параметров предпочтительнее выбирать декартовые переменные, поскольку в этом случае нелинейность обратной задачи значительно слабее.

Отнесенные на разные начальные эпохи определяемые параметры, пусть даже одного и того же параметрического пространства, с точки зрения математической статистики суть разные параметры. Как показывают результаты оценивания, нелинейность обратной задачи существенно зависит от выбора начальной эпохи. Наименьшая нелинейность имеет место на эпоху около среднеарифметического значения всех моментов наблюдений. За пределами мерного интервала, при удалении от него начальной эпохи, нелинейность стремительно усиливается.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Исследование резонансной структуры высокой орбитальной области ОКП методами численного моделирования

Томилова И.В. | Александрова А.Г. | Блинкова Е.В. | Бордовицына Т.В. | Попандопуло Н.А. | НИ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Представлены результаты исследования динамической структуры внерезонансных (не содержащих орбитальных резонансов низких порядков) зон околоземного орбитального пространства вплоть до сферы действия Луны по отношению к Земле.

Исследование структуры вековых резонансов рассматриваемой области околоземного космического пространства (ОКП) производилось с помощью методики, разработанной авторами данного доклада и представленной в докладе «Исследование резонансных структур околопланетных орбитальных пространств методами численного моделирования».

Моделирование орбитальной эволюции объектов проводилось при помощи программного комплекса «Численная модель движения систем ИСЗ» на кластере «СКИФ Cyberia» Томского государственного университета.

В процессе исследования моделировалось движение объектов в диапазоне больших полуосей от 35000 до 315000 км с шагом 200 км и наклонениями от 0 до 180 градусов с шагом 5 градусов, и начальным эксцентриситетом, равным 0.001. При моделировании учитывались возмущения от гармоник геопотенциала до 10 порядка и степени, возмущения от Луны и Солнца. Для выявления хаотичности в динамике объектов использовался параметр MEGNO.

В результате анализа полученных данных были выделены три основные и взаимосвязанные характеристики: хаотичность орбит, время жизни объектов на орбите, рост эксцентриситетов орбит. Значительная часть объектов рассматриваемой области имеет малое время жизни, что вполне объясняется ростом эксцентриситетов орбит. Большой и быстрый рост эксцентриситета и малое время жизни имеют все приполярные объекты. Величина параметра MEGNO для таких орбит мала, потому, что из-за малого времени жизни хаотичность не успевает развиться.

Кроме того, были построены (в том числе с использованием искусственных нейронных сетей) карты распространенности вековых резонансов данной области ОКП с распределением по большой полуоси и наклонению орбиты. Их анализ позволил

сделать следующие выводы: все устойчивые апсидально-нодальные резонансы, содержащие скорость изменения долготы перицентра, группируются в диапазоне наклонений 60–120 градусов, а устойчивые нодальные резонансы, содержащие скорость изменения долготы восходящего узла, группируются в окрестности трех наклонений 0, 90 и 180 градусов, причем большая часть в окрестности 90 градусов. Отсюда становится понятно, почему все объекты приполярной области имеют быстро растущий эксцентриситет и малое время жизни.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10022).

Исследование динамики группы объектов ГСО по данным наблюдений, полученным на пике Терскол

Томилова И.В.* | *Попандопуло Н.А.* | *Левкина П.А.* | *Бордовицына Т.В.* | *Авдюшев В.А.* | *НИ ТГУ* | *НИ ТГУ* | *НИ ТГУ; ИНАСАН* | *НИ ТГУ* | *НИ ТГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Представлены результаты исследования динамики группы геосинхронных фрагментов космического мусора на основании позиционных и фотометрических наблюдений, полученных на уникальной научной установке Цейсс-2000 в ЦКП «Терскольская обсерватория» Института астрономии РАН в период 11–25 сентября 2020 г.

Рассматривались объекты с номерами 90008, 90031, 90214 и 97149 из динамической базе данных космических объектов Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

Исследования выполнялись с помощью разработанного ранее программного комплекса «Численная модель движения систем ИСЗ», усовершенствованного для определения параметров движения и сил из обработки высокоточных позиционных наблюдений. В программном комплексе совместно с параметрами орбиты определяется коэффициент парусности A/m, где A — площадь миделевого сечения спутника, а m — его масса, определяющий величину влияния светового давления на динамику объекта. Кроме того, был разработан алгоритм, позволяющий по данным определения блеска объектов, получать информацию об изменении площади миделевого сечения объекта за счет его вращательного движения.

Полученные параметры использованы для исследования долговременной орбитальной эволюции объектов. Результаты показывают, что с учетом коэффициента парусности, полученного из позиционных наблюдений, движение всех 4 объектов является устойчивым. Первые три объекта захвачены в острый орбитальный резонанс 1:1 со скоростью вращения Земли. Их движение в фазовой плоскости {большая полуось, долгота}, как показывают данные MEGNO анализа, близко к движению гармонического осциллятора. Четвертый объект не является резонансным. В то же время данные об изменении блеска объектов от наблюдения к наблюдению говорят о том, что площадь миделевого сечения объектов не является постоянной.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Баллистическое проектирование полётов к планетам Солнечной системы

Царегородцев А.Ю. | Тучин Д.А. | МГУ | ИПМ РАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

Одной из задач баллистического проектирования перелётов к планетам Солнечной системы является увеличение массы полезной нагрузки космического аппарата за счёт снижения массы топлива, затрачиваемого на проведение манёвров и коррекций. Эта актуальная задача требует нахождения оптимальных дат отлёта от Земли и прилёта к планете назначения в части минимизации характеристических скоростей, создаваемых двигательной установкой. В работе рассмотрены методы и алгоритмы, основанные на решении задачи Ламберта, которые позволяют оперативно ответить на вопрос поставленной задачи. Реализовано программное обеспечение, позволяющее в течение нескольких минут отвечать на вопросы времени планирования миссий при использовании двигателей большой тяги.

Негравитационные эффекты в орбитальном движении объектов космического мусора

Чувашов И.Н. | Лёвкина П.А. | ТГУ | ИНАСАН

Секция: Астрометрия и небесная механика

На данный момент околоземное пространство довольно хорошо изучено системами космического мониторинга. Происходит постоянное отслеживание популяции объектов околоземного пространства на всех орбитальных высотах. Однако объекты космического мусора могут теряться системами мониторинга и заново открываться в общей базе данных объектов. Одной из причин повторной каталогизации объектов являются негравитационные силы, влияющие на орбитальную эволюцию этих объектов. Чем больше отношение площади миделевого сечения к массе объекта, тем сильнее световое давление влияет на орбитальные параметры этого объекта. В настоящее время известны объекты космического мусора, имеющие отношение площади миделевого сечения к массе (коэффициент парусности) больше 10 кв. м на кг. Такие объекты могут представлять опасность для функционирующих космических аппаратов.

В работе получены орбитальные параметры избранных объектов космического мусора с большим отношением площади миделевого сечения к массе и исследована их динамическая эволюция за несколько лет. Уточнение орбит объектов проводилось с использованием высокоточной численной модели движения, включая силы светового давления, и позиционных наблюдений, полученных на комплексе телескопа Zeiss-2000 Терскольского филиала ИНАСАН. Показано, что такие объекты с течением временем меняют свои орбитальные параметры и начинают представлять угрозу действующим объектам.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0721-2020-0049).

Анализ фотоэлектрических покрытий и построение цифровой модели лунной либрационной зоны

Чуркин К.О. | Нефедьев Ю.А. | Андреев А.О. | АОЭ КФУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Одной из актуальных задач современной астрономии является наблюдение и исследование быстро протекающих небесных процессов. Это можно сказать и о наблюдениях покрытий звезд Луной фотоэлектрическим методом. Такие измерения представляют собой уникальный и важный материал как для определения диаметров звезд на основе анализа дифракционной кривой изменения блеска покрываемой звезды, так и для построения модели либрационной зоны Луны. Данная работа сфокусирована на построении цифровой модели изогипс (DMI), характеризующих положение 40 тысяч селеноцентрических радиус-векторов в зависимости от положения лунного лимба. Сравнительный анализ DMI с данными электронных пространственных диаграмм поверхности Луны LDS (L.V. Morrison и G.M. Appleby), созданных на основе оцифровки профилей лунного лимба (C.B. Watts), показал, что эти профили имеют разные поверхности отсчета данных и эллиптическую форму, а не сферическую. При этом цифровые профили системы DMI относятся к селенографической сферической динамическое системе координат.

Метрики в пространстве кеплеровых орбит и семействе его фактор-пространств

Щепалова А.С. | СПбГУ

Секция: Астрометрия и небесная механика

Исследование связи метеороидных потоков с кометами и астероидами, поиск родительских тел потоков - одна из важных и интереснейших задач астрономии, для разрешения которой требуется количественная оценка близости орбит небесных тел. Лучшим инструментом для решения подобных задач является метризация 5-мерного пространства кеплеровых орбит. В последние 15 лет было предложено несколько метрик, превращающих различные пространства кеплеровых орбит в метрические. В том числе метрика К.В. Холшевникова, удовлетворяющая трем аксиомам метрического пространства.

Не менее важную роль в описанных задачах играют фактор-пространства, позволяющие не принимать во внимание долготу узла, или аргумент перицентра, или и то, и другое. Именно эти элементы меняются вековым образом под влиянием различных возмущений. Между тем известны потоки, в которых узлы и перицентры испытывают большие вековые возмущения, тогда как их сумма (долгота перицентра) изменяется мало. Поэтому, совсем недавно в статье [1] было введено новое, четвертое фактор-пространство, в котором отождествляются орбиты с произвольными долготами узлов и аргументами перицентров при условии, что их сумма фиксирована. Для него была определена функция ϱ_6, играющая роль расстояния между указанными классами орбит и построен алгоритм ее вычисления. В общем случае наиболее сложная часть алгоритма состоит в решении тригонометрического уравнения третьей степени. К сожалению, ϱ_6 не является полноценной метрикой. Она удовлетворяет первым двум аксиомам метрического пространства, но третья — аксиома треугольника — нарушается, по крайней мере для больших эксцентриситетов. Несмотря на этот недостаток, данная метрика будет полезна для нахождения расстояний между орбитами объектов метеороидных комплексов, например, в задачах отождествления их родительских тел.

[1] Холшевников К.В., Щепалова А.С., Джазмати М.С. Об одном фактор-пространстве кеплеровых орбит // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2020. Т. 7 (65). Вып. 1. С. 165–174.

Гравитационный маневр в задаче расширения областей посадки на поверхности Венеры

Эйсмонт Н.А. | Назиров Р.Р. | Федяев К.С. | Засова Л.В. | Зубко В.А. | Беляев А.А. | Горинов Д.А. | Симонов А.В. | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | АО \"НПО им. С.А. Лавочкина\"

Секция: Астрометрия и небесная механика

Одной из важных задач в проекте «Венера-Д» является выбор места посадки спускаемого аппарата. Выбор такого места ограничен из-за невозможности совершить посадку в любое место на поверхности Венеры, прежде всего, из-за малой продолжительности окна старта, составляющей около двух недель от оптимальной даты запуска. Также на доступную область посадки влияют ограничения на максимальную перегрузку, что обусловлено особенностями конструкции спускаемого аппарата. В результате доступные области посадки в пределах окна запуска довольно малы.

Самым простым способом увеличения достижимых областей посадки может быть расширение стартового окна за счет умеренного уменьшения массы полезной нагрузки. Однако такие возможности существенно ограничены, прежде всего, величиной характеристической скорости.

В данном исследовании предлагается использовать новый подход для выбора и достижения любой точки на поверхности Венеры. Для этого рассматривается запуск космического аппарата к Венере во время пусковых окон с 2029 по 2034 год. Ограничениями для метода являются угол входа в атмосферу и максимально достижимая перегрузка. Основой предлагаемого подхода является использование гравитационного поля Венеры для перевода космического аппарата на гелиоцентрическую орбиту с периодом, равным орбитальному периоду Венеры, с последующим возвратом к планете через один венерианский год, но с другими параметрами подлетной траектории. Отметим, что изменение параметров произошло за счет гравитационного маневра у Венеры, во время первого ее облета. В результате исследования показано, что применение данного подхода позволяет обеспечить существенное увеличение доступных областей посадки, а в большинстве случаев и обеспечить доступ к любому месту посадки на поверхности Венеры при небольшом увеличении характеристической скорости у Земли и продолжительности полета.

Всероссийская астрономическая конференция

Звёзды и межзвёздная среда

2021

Транзиенты экзопланет: изменения коэффициентов потемнения к краю затмеваемых звезд на коротких временных интервалах

Абубекеров М.К. | Гостев Н.Ю. | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Выполнена интерпретация высокоточных транзитных кривых блеска двойных систем с экзопланетами Kepler-5b, Kepler-6b, Kepler-7b для трех разных эпох. Продемонстрировано, что значения коэффициентов потемнения звезды к краю для каждой из эпох значимо отличаются, в то время как геометрические параметры для каждой из эпох в пределах ошибок хорошо согласуются между собой. Показано, что для надежного определения коэффициентов потемнения к краю требуются методы, “очищающие” наблюдаемые транзитные кривые блеска от эффектов, вызванных неоднородностью поверхности.

Зависимость спектральной переменности звезд типа FK Com от вращения звезды

Алексеев И.Ю. | Козлова О.В. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Рассмотрены многолетние спектральные наблюдения трех одиночных запятненных гигантов FK Com (G2 III), IN Com (G5 III) и KU Peg (G9-K0 II-III) высокого (R = 20000) разрешения в областях H-alpha, H-beta и HeI 5876. Все три звезды обладают быстрым осевым вращением со скоростями 200, 95 и 30 км/с соответственно. Для двух первых звезд осевое вращение близко к критическому и характер профилей линий (очень широкий двухкомпонентный профиль) и их переменность типичны для быстровращающегося газового околозвездного диска. Линии KU Peg более типичны для хромосферно-активной звезды.

Анизотропное рассеяние радиоизлучения пульсаров

Андрианов А.С. | Бургин М.С. | Зуга В.А. | Рудницкий А.Г. | Попов М.В. | Смирнова Т.В. | Согласнов В.А. | Фадеев Е.Н. | АКЦ ФИАН | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В нашем докладе представлен анализ результатов исследования эффектов рассеяния радиоизлучения пульсаров на неоднородностях межзвездной плазмы в проекте наземнокосмического интерферометра «Радиоастрон». В силу экстремально малого углового размера радиопульсаров их излучение является пространственно когерентным. Взаимодействие радиоизлучения с ионизированной плазмой приводит к изменению направления распространения радиоволн и их интерференции. Из-за быстрого движения пульсаров, а также, в меньшей степени, самой среды и наблюдателя, интерференционная картина в плоскости наблюдателя непрерывно меняется, что проявляется в виде эффекта мерцаний. Изучение мерцаний радиопульсаров ведется с момента их открытия, и до сих пор приносит новые сведения как о самих пульсарах, так и о межзвездной среде. Анализ пространственного распределения неоднородностей плазмы в направлении пульсаров показал, что эффективное рассеяние для многих пульсаров происходит в компактных областях межзвездной среды, называемых экранами. Рассеяние в этих компактных областях приводит к образованию параболических дуг во вторичных спектрах пульсаров. Теоретическое рассмотрение параболических дуг, показывает, что рассеянное изображение пульсара должно быть сильно вытянутым, то есть межзвездное рассеяние на экране должно быть анизотропным.

В результате анализа данных, полученных с помощью космического радиоинтерферометра «Радиоастрон», для пульсара B1641−45 на частоте 1.67 ГГц нам удалось построить изображение диска рассеяния. Представление диска рассеяния двумерной гауссианой дает на уровне половинной интенсивности значения 20.6 × 27.5 мс дуги по прямому восхождению и склонению соответственно. Более вытянутое пятно рассеяния было обнаружено у пульсара B0833−45 в остатке сверхновой в созвездии Парусов. Наблюдения, проведенные в 2012-13 годах, позволили оценить отношение осей эллипса как 2:1. Надо заметить, что параболических дуг во вторичных спектрах обоих пульсаров обнаружить не удалось, в отличие от пульсара B0834+06. Этот пульсар, наблюдавшийся с 2012 по 2018 год показывал сильную переменность параметров мерцаний. Наши измерения, проведенные в течение 6 лет при разных ориентациях базы интерферометра, показали асимметрию пятна рассеяния на уровне 2.5:1. Полученные результаты дают независимое подтверждение феномена анизотропного рассеяния радиоизлучения межзвездной средой.

ASASSN-19fy: необычная карликовая новая в «пробеле» периодов

Антонюк О.И.* | *Павленко Е.П.* | *Пить Н.* | *Антонюк К.* | *Кохирова Г.* | *Рахматуллаева Ф.* | *Сосновский А.* | *КрАО РАН* | *КрАО РАН* | *КрАО РАН* | *КрАО РАН* | *ИА АН РТ* | *ИА АН РТ* | *КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мы представляем результат фотометрических исследований карликовой новой ASASSN-19fy в 2020 г., охватывающие вторую половину сверхвспышки и возвращение системы к спокойному состоянию. Мы выделили стадию развитых сверхгорбов в течение сверхвспышки со средним периодом 0,09278 сут., что определяет ASASSN-19fy как карликовую новую в «пробеле» периодов. В течение этой стадии период сверхгорбов увеличивался. Полученные нами наблюдения в разных цветовых полосах не выявили значимых изменений показателей цвета сверхгорбов на этой стадии. Медленное затухание сверхвспышки, продолжавшееся не менее четырёх недель, сопровождалось по крайней мере двумя повторными поярчаниями – эта особенность ASASSN-19fy характерна для короткопериодических карликовых новых типа WZ Sge, но не для долгопериодических, находящихся в пробеле периодов. В работе приведено возможное объяснение данного феномена.

Массивная двойная система с большим эксцентриситетом орбиты WR22 (WN7h+O9): анализ кривой блеска в модели Роша с учетом звездного ветра

Антохина Э.А. | Антохин И.И. | Lenoir-Craig G. | St-Louis N. | Moffat A.F.J. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | Université de Montréal | Université de Montréal | Université de Montréal

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

WR22 - массивная двойная система WN7h + O9III-V в Carina Nebula. Орбитальный период составляет 80.336 дня, эксцентриситет орбиты 0.6. Хорошо известны спектроскопические элементы орбиты и отношение масс компонентов, однако класс светимости звезды O9 точно не установлен. В данной работе представлены результаты анализа кривой блеска системы, полученной на одном из космических телескопов BRITE-Constellation. Кривая блеска включает три полных периода системы, наблюдения получены в 2017 и 2018 годах. В течение орбитального периода наблюдается только один минимум глубиной 0.08 зв. величины (при этом звезда WR находится перед звездой O9), момент минимума почти совпадает с моментом прохождения периастра. Для анализа был использован наш программный код синтеза кривых блеска ТДС в модели Роша с учетом звездного ветра вокруг одной из звезд. Основным механизмом поглощения в ветре считается электронное рассеяние, плотность ветра меняется с расстоянием от звезды в соответствии с изменением скорости (beta-law). Было получено два решения задачи, соответствующие двум возможным классам светимости звезды O9III и O9V. В варианте O9III затмение является чисто атмосферным. В варианте O9V затмение является комбинированным: геометрическое затмение диском звезды WR части диска звезды 09V, плюс поглощение ее излучения в ветре WR. Для каждого варианта решения было определено наклонение орбиты, соответствующие массы компонентов, температура звезды WR, скорость потери массы звездой WR и другие параметры.

Модуляция аккреции и ветра звезды типа Т Тельца RY Tau – планета на расстоянии 0.2 а.е.?

Артеменко С.А. | Бабина Е.В. | Гранкин К.Н. | Петров П.П. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Планеты образуются на ранней стадии звездной эволюции, когда аккреция массы еще продолжается. RY Tau - звезда типа Т Тельца в возрасте нескольких миллионов лет, с аккреционным диском, видимым под углом 65 градусов, так что луч зрения пересекает как потоки аккрецирующего газа, так и потоки ветра. В продолжительной серии спектральных и фотометрических наблюдений RY Tau в 2013-2020 гг. мы обнаружили вариации поглощения в линиях Hα и NaI D на лучевых скоростях падения (аккреции) и истечения (ветра), с периодом около 22 суток. Поглощение в падающем и истекающем газовых потоках меняются в противофазе: увеличение плотности падающего потока сопровождается уменьшением плотности ветра, и наоборот. Эти колебания сохраняют фазу в течение нескольких лет наблюдений.

Мы предполагаем, что наблюдаемый эффект может быть следствием процессов на границе диск-магнитосфера в режиме МГД пропеллера. Стабильность фазы колебаний указывает на возможное присутствие массивной планеты, вызывающей азимутальную асимметрию потоков аккреции и ветра. Если наблюдаемый период (22 суток) кеплеровский, то планета находится на расстоянии 0.2 а.е. и движется с орбитальной скоростью 100 км/с. Присутствие предполагаемой планеты может быть подтверждено измерениями лучевой скорости: ожидаемая амплитуда составляет >= 90 m/s, если масса планеты >= 2 Mj.

Динамика аккреции и ветра как показатель магнитной активности RY Тельца

Бабина Е.В. | Артеменко С.А. | Гранкин К.Н. | Петров П.П. | ФГБУН КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Спектральная и фотометрическая переменность классических звезд типа Т Тельца в значительной мере обусловлена процессами магнитосферной аккреции и ветра. Динамика этих процессов зависит от отношения угловой скорости вращения звезды и угловой скорости Кеплеровского вращения на внутренней границе аккреционного диска. При заданном темпе дисковой аккреции, граница между аккреционным диском и магнитосферой звезды определяется напряженностью дипольной составляющей поля. Таким образом, изменения магнитного поля звезды должны отражаться в наблюдаемой переменности профиля спектральных линий – индикаторов газовых потоков, что позволяет обнаружить цикл магнитной активности на ранней стадии эволюции звезды. Мы представляем результаты спектрального и фотометрического мониторинга классической звезды типа Т Тельца RY Tau, который проводится начиная с 2013 г. Показано, что относительная роль аккреции и ветра плавно менялась на протяжении семи лет, что указывает на возможный цикл магнитной активности RY Tau .

Молекула OH в диффузной фазе межзвёздной среды

Балашев С.А. | Нирадж Гупта | Косенко Д.Н. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | The Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics, Pune, India | ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Молекула OH - первая молекула, идентифицированная в радиодиапазоне. В данный момент OH наблюдается в поглощении и эмиссии (включая мазерное излучение) в большом количестве астрофизических объектов. В докладе представлена простая полуаналитическая модель химии молекул, содержащих кислород, в диффузной фазе межзвёздной среды (МЗС). Мы показали, что результаты расчётов этой моделью хорошо согласуются с расчётами химии межзвёздного газа численным кодом PDR Meudon. На основе модели исследовано как относительное содержание молекул OH к атомарному и молекулярному водороду зависит от вариации физических условий в МЗС: металличности, плотности газа, интенсивности ультрафиолетового излучения и скорости ионизации космическими лучами. Получено, что содержание OH/HI, измеряемое в диффузной фазе МЗС в нашей Галактики, хорошо согласуется с моделями, имеющими (в пределах одного порядка) характерные условия для холодной фазы диффузной МЗС: объемная концентрация ~50 cm^-3, скорость ионизации космическими лучами 3e10^-17 c^-1 и среднегалактический фон УФ. На основе результатов расчёта модели, а также измеренной функции распределения по лучевым концентрациям молекулярного водорода, сделаны оценки на функцию распределения по лучевым концентрациям OH и частоту идентификаций линий OH в слепых космологических обзорах неба, таких как MALS и FLASHES, который в данный момент выполняются на радиотелескопах нового поколения MeerKAT и ASKAP, соответственно. Работа поддержана грантом РНФ 18-12-00301.

Периодические изменения блеска красного карлика V647 Her

Бондарь Н.И. | Антонюк К.А. | Пить Н.В. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Активные красные карлики Ross 867-8 образуют широкую двойную систему, в которой яркий компонент V647 Her (Ross 868) имеет блеск 11.3 mag, спектральный класс M3.5. По фотометрическим данным, полученным на 1.25-м телескопе Крымской астрофизической обсерватории в июне-ноябре 2019 г., а также фотометрии с высоким временным разрешением из каталога SuperWASP за 2004, 2006 - 2007 гг. выполнен анализ поведения блеска звезды V647 Her с целью уточнения периода вращения. В изменениях *V*- величин обнаружен период 20.69 дня, рассмотрены особенности фотометрической переменности на этой шкале.

Содержание химических элементов в звёздах типа RR Лиры Галактики.

Боркова Т.В. | ВНИИ "Градиент"

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В данной работе представлен каталог относительных содержаний различных химических элементов звёзд типа RR Лиры нашей Галактики. Проведен обзор и сравнительной анализ относительных содержаний элементов звёзд разных подсистем Галактики.

Галактический ветер при низкой скорости звездообразования

Васильев Е.О. | Дроздов С.А. | Nath B.B. | Щекинов Ю.А. | ЮФУ | АКЦ ФИАН | RRI | АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В центральных областях видимых с ребра галактик с низким темпом звездообразования наблюдаются крупномасштабные структуры подобные галактическим ветрам. В работе численно рассматриваются условия образования и динамика этих структур, их эмиссионные свойства в рентгеновском диапазоне. Обсуждаются недавние наблюдения гигантских рентгеновских пузырей в нашей галактике.

Механизмы образования органических молекул в межзвездной среде

Васюнин А.И.* | *УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Органические соединения составляют большинство среди обнаруженных в межзвездной среде соединений. Многие органические молекулы, такие, как метанол (CH3OH), метилформиат (HCOOCH3), формамид (NH2CHO) и другие, по-видимому, образуются в основном в химических реакциях, протекающих в ледяных мантиях межзвездных пылевых частиц. В последние годы считавшаяся классической парадигма описания химической эволюции ледяных мантий исключительно за счет диффузионного механизма Ленгмюра-Хиншельвуда столкнулась с рядом трудностей. В частности, при помощи лишь диффузионных реакций сложно объяснить наблюдаемые содержания сложных органических молекул, недавно обнаруженных в холодных (10K) дозвездных ядрах. Одним из возможных механизмов синтеза сложных органических молекул в холодных межзвездных льдах являются недиффузионные химические реакции между радикалами, образующимися при взаимодействии льда и частиц космических лучей, а также с фотонами. В докладе будут представлены результаты включения недиффузионных химических процессов в химическую модель MONACO. Будет показано, что результаты моделирования удовлетворительно согласуются с данными наблюдений сложных органических молекул в дозвездных ядрах. Также будет обсуждаться подобие химической эволюции в дозвездных ядрах и срединной плоскости протопланетных дисков.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Ионизационная структура аккреционных дисков молодых звёзд

Вахитов Р.Ф. | Хайбрахманов С.А. | ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Исследуется ионизационное состояние аккреционных дисков молодых звезд с остаточным крупномасштабным магнитным полем. Используется магнитогазодинамическая (МГД) модель аккреционных дисков Дудорова и Хайбрахманова [1,2], которая основана на решении уравнений МГД в приближениях Шакуры и Сюняева [3]. Система уравнений тепловой и ударной ионизации, реализованная в модели в соответствии с подходом Дудорова и Сазонова [4], дополнена для учета зарядов пылевых гранул, диссоциативных рекомбинаций и реакций перезарядки, а также ионизации вторичными космическими лучами [5,6]. С помощью модели рассчитываются содержания основных носителей заряда в аккреционных дисках звезд типа Т Тельца. Определяются размеры и положение «мертвых» зон – областей низкой степени ионизации и эффективной диффузии магнитного поля. Анализируется влияние остаточного крупномасштабного магнитного поля диска на его скорость вращения и перенос углового момента.

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

1. Дудоров, Хайбрахманов, 2013, Вестник Челяб.гос.ун-та, №. 9 (300), 27
2. Dudorov, Khaibrakhmanov, 2014, Ap&SS, 352(1), 103
3. Shakura, Sunyaev, 1973, A&A, 24, 337
4. Дудоров, Сазонов, 1987, Науч. инф., 63, 68
5. Tassis, Mouschovias, 2005, ApJ, 618, 769
6. Ivlev, et al, 2021, ApJ, 909(2), 107.

Мониторинг галактического мазерного источника IRAS 16293-2422 в линии водяного пара

Вольвач А.Е. | Вольвач Л.Н. | Ларионов М.Г. | ФГБУН \"КрАО РАН\" | ФГБУН \"КрАО РАН\" | АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

IRAS 16293-2422 изучается более 30 лет как пример двойной протосолнечной системы. Объект имеет в своем составе компактные источники A1 и A2 с минимальной общей массой 2.2±0.3 Мо и расстоянием между A1 - A2 около 54 а.е. Представлены результаты длительного мониторинга галактического мазерного источника IRAS 16293-2422 в линии водяного пара (переход 6_{16} – 5_{23}, частота линии f=22,235 ГГц), выполненного на радиотелескопе РТ-22 КрАО (Симеиз). В объекте зарегистрирована мощная короткая вспышка, которая расположена на вершине более длинной, но менее мощной вспышки. Рассмотрен механизм инициации мощного мазерного излучения.

Применение машинного обучения для обнаружения нестандартных кривых блеска

Вольнова А.А. | Пружинская М.В. | Ишида Э.Э.О. | Маланчев К.Л. | Корнилов М.В. | Мондон Ф. | Королёв В.С. | Срижит С. | Маланчева А.А. | Дас С. | ИКИ РАН | ГАИШ МГУ | CNRS/IN2P3 | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | CNRS/IN2P3 | МФТИ | CNRS/IN2P3 | Cinimex | Вашингтонский университет

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Грядущее поколение крупных астрономических обзоров (LSST) произведет революцию в нашем понимании Вселенной, однако при этом нам придется столкнуться с огромными объемами данных и связанными с ними проблемами. Одна из них — это невозможность использования человеческих ресурсов для поиска новых необычных астрофизических объектов. Кроме того, большинство данных, полученных этими обзорами, будут фотометрическими, и мы не сможем рассчитывать на спектроскопическую поддержку всех наблюдений.

Объединив усилия экспертного анализа и методы машинного обучения, мы разработали подход, который позволил обнаружить объекты с аномальными свойствами в Открытом Каталоге Сверхновых (http://sne.space/, https://snad.space/). Среди таких объектов сверхъяркие сверхновые, пекулярные сверхновые, случай двойного микролинзирования. Впервые было показано, что 16 объектов выборки, на самом деле, являются случаями неправильной классификации (звезды, квазары). Кроме того, к данным выборки впервые был применен алгоритм машинного обучения с частичным подкреплением, который показал лучшие результаты по сравнению с обычными методами машинного обучения.

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

Воробьев Э. И. | Элбакян В. Г. | ЮФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Известно, что процесс звездообразования может сопровождаться всплесками светимости, известными как вспышки звезд типа FU Ориона (фуоры), во время которых светимость молодых звезд увеличивается от десятков до сотен раз. Эти энергетические события, вероятно, вызваны резким повышением темпа аккреции вещества из протозвездного диска на протозвезду. Основные физические механизмы, ответственные за вспышки аккреции и светимости можно разделить на две категории: 1) развитие неустойчивостей различного типа в протозвездном диске и 2) возмущение диска в результате взаимодействия со внешней средой. Однако определение точной причины вспышек по данным наблюдений остается до сих пор неразрешенной задачей. С использованием численного гидродинамического моделирования выполнено сравнение несколько механизмов вспышек звезд типа FU Ориона: гравитационная фрагментация диска с последующим падением газовых сгустков на протозвезду, развитие магниторотационной неустойчивости во внутренних областях диска и пролет внешней звезды через протозвездный диск в молодых звездных скоплениях. Показано, что кинематические особенности диска могут в принципе быть использованы для распознания ответственного за вспышку механизма. Будет представлено сравнение пиковой светимости и продолжительности модельных вспышек с наблюдаемыми характеристиками фуоров.

Поляриметрические наблюдения поляров на телескопе Цейсс-1000 САО РАН

Габдеев М.М. | Ефремова П.Д. | Колбин А.И. | Институт прикладных исследований АН РТ | КФУ | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В октябре 2020 года были проведены тестовые поляриметрические наблюдения на приборе ММРР телескопа Цейсс-1000 САО РАН с пластинкой Савара. Выполнены наблюдения стандарта круговой поляризации GRW +70d4287. Полученное значение круговой поляризации P = -3.5 +/- 0.4% хорошо согласуется с литературными данными. Инструментальной поляризации по полю не наблюдалось, она меньше ошибок измерений. Впервые проведены поляриметрические наблюдения для поляров BS Tri, RX J2218.5+1925, FL Cet. Для всех объектов наблюдаются значительная степень поляризации и её изменение с орбитальным периодом. В том числе изменение знака круговой поляризации.

К вопросу о точности определения физических параметров молодых запятненных звезд

Гранкин К.Н. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

На примере подробно исследованной звезды V410 Tau обсуждается проблема определения основных физических параметров и уточнения эволюционного статуса молодых запятненных звезд со слабыми эмиссионными линиями. Показано, что учет сильной запятненности звездной поверхности должен приводить к увеличению оценок возраста и массы таких объектов.

Двухмерная МГД-модель динамики потоков газа около молодой звезды с джетом и протопланетным диском

Григорьев В.В. | Демидова Т.В. | КрАО РАН | ГАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В рамках нестационарного магнитно-гидродинамического подхода рассмотрено взаимодействие джета, частично ионизированного газа звездной короны и протопланетного диска с постоянным невращающимся дипольным магнитным полем молодой звезды типа T Tau на двумерной осесимметричной расчетной сетке. Численное моделирование производится при помощи свободного пакета PLUTO, использующего годуновский подход для решения уравнений газодинамики и позволяющего производить расчеты в параллельном режиме. Расчеты произведены на ресурсах МСЦ РАН – филиала ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН.

В модели учитывается степень ионизации газа, оптически тонкое охлаждение, анизотропная теплопроводность по отношению к магнитному полю, вязкость по методу Шакуры-Сюняева, проводимость плазмы. Расчеты показывают стабильность джета и образование устойчивых аккреционных колонок, а также «стенки» из вещества диска на временах порядка одного оборота внутренней области протопланетного диска. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РНФ № 19-72-10063.

О спектре рассеянного излучения протопланетных дисков

Гринин В.П. | Тамбовцева Л.В. | Дмитриев Д.В. | ГАО РАН, СПбГУ | ГАО РАН | ГАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Рассеянное излучение протопланетных дисков играет важную роль в физике звезд типа UX Ori. В моменты глубоких минимумов, когда прямое излучение звезды в направлении на наблюдателя блокировано газопылевым экраном (фрагментом протопланетного диска), рассеянный свет диска доминирует в наблюдаемом излучении. Результатом этого являются хорошо известные фотометрические и поляризационные эффекты, наблюдаемые у звезд этого типа. В нашем докладе рассматривается другая, менее известная функция рассеянного излучения, а именно, его влияние на спектры звезд типа UX Ori. При рассеянии движущимися частицами пыли спектр звезды может испытывать сильные искажения за счет эффекта Доплера. В первую очередь это относится к холодным звездам типа UX Ori, поскольку пыль в их окрестностях может сохраняться вплоть до расстояний порядка нескольких радиусов звезды. На таких расстояниях скорость кеплеровского вращения диска достигает 150-200 км/с. Рассеяние излучения такими быстро движущимися частицами сильно расширяет фотосферные линии звезды, уменьшая их глубину. При чисто кеплеровском вращении линия поглощения, расширяясь, остается симметричной. Наличие полоидальной компоненты скорости нарушает симметрию и смещает линию в красную или синюю сторону в зависимости от знака этой скорости. На примере простых модельных задач мы обсуждаем влияние рассеянного излучения на спектры звезд типа UX Ori разных спектральных типов. Расчеты показывают, что учет рассеянного излучения движущейся пылью способен объяснить сильные качественные изменения фотосферного спектра звезды типа Т Тельца RW Aur, наблюдавшиеся Таками и др. (2016) и Фачини и др. (2016) во время глубоких минимумов этой звезды.
Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ № 075-15-2020-780.

Эволюция возмущений в протопланетных дисках и их наблюдательные проявления

Демидова Т.В. | Гринин В.П. | КрАО РАН | ГАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Наблюдения протопланетных дисков с высоким угловым разрешением с помощью интерферометра ALMA показали, что на изображениях дисков присутствуют структуры, наличие которых указывает на сильные возмущения вещества дисков. Механизмы образования таких структур подробно обсуждаются в литературе. В работе были выполнены расчеты эволюции возмущений в газопылевом диске на вековой шкале времени. Они показали, что вращение диска приводит к преобразованию компактного уплотнения в вихреподобную структуру, которая растягивается в спираль, а затем скручивается в кольцо. На основе полученных моделей были построены изображения протопланетного диска в разные моменты времени. Анализ результатов показал, что предложенная теория позволяет объяснить несколько типов наблюдаемых структур в рамках одной модели.

Нестационарность ионизации в магнитосферах молодых звезд. RZ Psc.

Дмитриев Д.В. | Гринин В.П. | ГАО РАН, КрАО РАН | ГАО РАН, СПбГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В докладе рассматриваются модели магнитосфер молодых звезд с низким темпом аккреции < 10^{-8} масс Солнца в год. При таких темпах аккреции концентрации электронов может не хватать для обеспечения времени рекомбинации меньше времени падения газа на звезду. В таком случае нельзя решать равновесное уравнение для нахождения степени ионизации, необходимо учитывать адвекцию. Приводится модель, в которой учитывается этот эффект при расчете степени ионизации, и её применение для моделирования профиля линии Hα в спектре звезды RZ Psc. Модель успешно объясняет красный абсорбционный компонент профиля, но оказывается не способна воспроизвести центральную эмиссию, которая может быть объяснена излучением горячего аккреционного пятна. Его учет позволяет улучшить согласие с наблюдениями.

Эмиссия пыли в областях звёздообразования

Дроздов С.А. | Васильев Е.О. | Щекинов Ю.А. | АКЦ ФИАН | ЮФУ | АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

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

Наблюдения покрытий звезд астероидами как метод измерения угловых диаметров субмиллисекундного уровня

Дьяченко В. | Richichi A. | Оболенцева М. | Балега Ю. | Бескакотов А. | Максимов А. | Митрофанова А. | САО РАН | INAF, Italy | СПбГУ | САО РАН | САО РАН | САО РАН | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

С развитием техники длиннобазовой интерферометрии роль одиночных телескопов в получении данных с высоким угловым разрешением становится недооцененной. Современная техника покрытий Луной позволяет достичь разрешения около 1 миллисекунды дуги и лучше, что сопоставимо с возможностями длиннобазовой интерферометрии оптического и ИК диапазонов. Недавно предложенный метод использования покрытий звезд астероидами (Benbow et al., 2019) позволяет рассчитывать на достижение уровня разрешения лучше 0.1 мсд при наблюдениях на одиночных оптических телескопах.

В ночь 11-12 декабря 2019 года на 6-м телескопе САО РАН были проведены наблюдения покрытия звезды TYC 1947-290-1 астероидом 87 Sylvia. Был использован спекл-интерферометр БТА на базе EMCCD в режиме быстрой фотометрии. Ранее 9-10 декабря методом спекл-интерферометрии звезда была обнаружена как двойная с разделением 32 мсд. Обе звезды в системе относятся к карликам Главной последовательности. В результате по данным полученным методом покрытий нам удалось измерить угловые диаметры обоих компонентов. Они показывают значения на уровне 50 микросекунд, что соответствует новым пределам разрешения в оптическом диапазоне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-70120.

Определение характеристик предкатаклизмических переменных по моделированию их оптического излучения

Дёминова Н.Р. | Шиманский В.В. | Борисов Н.В. | Бикмаев И.Ф. | Иртуганов Э.Н. | Габдеев М.М. | КФУ | САО РАН, КФУ | САО РАН | КФУ | КФУ | КФУ, ИПИ АН РТ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В работе исследованы характеристики четырех предкатаклизмических переменных (ПП) с sdB-субкарликами: NSVS 14256825, Lan30, SDSS J162256 и HS2231+2441. Наблюдения выполнены на телескопах БТА САО РАН, Цейсс-1000 САО РАН и РТТ-150. Построены фазовые кривые лучевых скоростей и нормированные спектры умеренного разрешения данных тесных двойных систем (ТДС). Проведена аппроксимация кривых лучевых скоростей. Применена методика однородного анализа ПП с учетом собственного излучения вторичных компонент. На основе этой методики выполнено численное моделирование кривых блеска и спектров четырех ТДС, определены фундаментальные параметры систем. В ходе построения зависимостей "масса-светимость" и "масса-радиус" для вторичных компонент выявлены аномалии их характеристик.

Функция масс молодых звезд

Еретнова О.В. | Дудоров А.Е. | ЧелГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Авторами собраны данные о 26 молодых двойных звездах и 34 звездах с протопланетными дисками с надежно определенными из наблюдений массами. К звездам Ae/Be Хербига относятся 7 компонент, к звездам типа T Тельца – 55 и к красным карликам – 25. Построено распределение молодых звезд по массам. Распределение аппроксимировано степенной функцией

$dN \sim M^{-(1.16\pm0.17)}d(\lg M)$ или $dN \sim M^{-(2.16\pm0.17)}dM$ для звезд с массой $-0.2<\lg(M/M_\odot)<0.8$, что близко к начальной функции масс Солпитера, $dN \sim M^{-2.35}dM$. На интервале масс $-1.0<\lg(M/M_\odot)\leq-0.2$ получена функция масс $dN \sim M^{1.19\pm0.21}d(\lg M)$. В целом, распределение молодых звезд по массам можно аппроксимировать логнормальным законом, наиболее вероятное значение массы $M_{вер}=(0.78\pm0.12)M_\odot$. Проводится сравнение распределения по массам молодых звезд с функцией масс ядер протозвездных облаков.

Полуаналитические модели испарения пыли в коллапсирующих протозвёздных облаках

Замоздра С.Н. | ЧелГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

С целью многомерного численного моделирования образования звёзд и планет в процессе коллапса протозвёздных облаков разрабатываются полуаналитические модели испарения пылинок, экономно использующие вычислительные ресурсы. Модели основаны на реалистичных ограничениях на структуру пылинок и её изменения в результате испарения и спекания вещества. Модели описывают эволюцию распределения пылинок по радиусам, что позволяет детально учесть вклад пыли в проводимость плазмы, поверхностные химические реакции и оптическую непрозрачность.

- Показано, что скорость уменьшения эффективного радиуса пылинки, являющейся агломератом сферических частиц с одинаковым составом поверхности, пропорциональна темпу потери массы с единицы этой поверхности и среднему по направлениям количеству частиц, укладывающихся на радиусе пылинки.
- Найдена скорость уменьшения эффективного радиуса фрактального агломерата в предположении, что фрактальная размерность и количество частиц в агломерате при испарении вещества не меняются.
- Найдена скорость уменьшения эффективного радиуса агломерата, состоящего из частиц со степенным распределением радиусов, с учётом уменьшения количества этих частиц в процессе испарения.
- Построены полуаналитические решения уравнения эволюции распределения радиусов пылинок, когда они являются а) фрактальными агломератами, б) агломератами из частиц со степенным распределением радиусов, в) монолитными, с одинаковым начальным отношением радиусов ядра и мантии. Предложена гладкая сшивка решений (а) и (б), описывающая закалку тугоплавких ядер пылинок.
- Показано, что при степенном распределении радиусов с показателем -3.5 в интервале 5-500 нм концентрация фрактальных пылинок в 3-4 раза превышает концентрацию монолитных пылинок, но фрактальные пылинки уменьшаются и исчезают чуть быстрее (за счёт испарения через поры).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 19-72-10012) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 20-42-740013 р_а_Челябинск).

Диски и истечения вокруг массивных протозвезд

Зинченко И.И. | ИПФ РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Процесс образования массивных звезд пока вызывает много вопросов. Теоретические модели показывают, что он может быть подобен процессу образования звезд небольшой массы, то есть происходить путем дисковой аккреции. Однако убедительных наблюдений, подтверждающих этот сценарий, пока очень мало. В последнее время с помощью новых инструментов (в частности, ALMA) с нашим участием в том числе получены наблюдательные данные, подтверждающие важную роль дисков в этом процессе. Дисковая аккреция сопровождается биполярными истечениями вещества. В докладе будут представлены недавние результаты наблюдений дисков и биполярных истечений вокруг массивных (прото)звезд. Наблюдаются признаки сжатия околозвездных оболочек. Зарегистрированы явления, указывающие на эпизодический характер аккреции вещества.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 17-12-01256).

Дейтерированные молекулы в областях образования массивных звезд

Зинченко И.И. | Пазухин А.Г. | Трофимова Е.А. | ИПФ РАН | ИПФ РАН | ИПФ РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В холодных межзвездных облаках относительное содержание дейтерированных молекул повышается за счет того, что при низких температурах реакции замены протона дейтерием оказываются энергетически выгодны. При повышении температуры этот эффект должен ослабевать. До сих пор он изучался в основном в темных холодных облаках, в которых образуются звезды небольшой массы. В более теплых облаках, где формируются массивные звезды, он гораздо менее изучен. Нами проведены наблюдения выборки областей образования массивных звезд в линиях ряда дейтерированных молекул (DCN, DNC, DCO+, N2D+, NH2D) на 20-м радиотелескопе Обсерватории Онсала и на 30-м радиотелескопе IRAM. Наблюдались также линии других изотопологов этих молекул, а также линии молекул CH3CCH и CH3CN, которые могут служить индикатором температуры. Для нескольких облаков получены карты излучения в линиях разных молекул. Получены оценки кинетической температуры газа и лучевых концентраций молекул. По данным об излучении пыли и C18O определена лучевая концентрация водорода. Распределения разных дейтерированных молекул существенно различны. Пики излучения DCN наблюдаются в направлении на ИК источники, в то время как распределение других дейтерированных молекул ближе к распределению лучевой концентрации газа. Содержание DCN, DNC и DCO^+ по отношению к основным изотопологам составляет ~10^{-2} при температурах 10–20 K и падает с ростом температуры. Однако отношения N(DNC)/N(HNC) и N(DCO^+)/N(HCO^+) уменьшаются быстрее, чем отношение N(DCN)/N(HCN). В результате с ростом температуры содержание DNC и DCO^+ по отношению к DCN уменьшается.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 17-12-1256).

IRAS 02143+5852: цефеида типа W Девы с пылевой оболочкой

Иконникова Н.П. | Бурлак М.А. | Шугаров С.Ю. | Белинский А.А. | Федотьева А.А. | Татарников А.М. | Додин А.В. | Потанин С.А. | Атапин К.Е. | Желтоухов С.Г. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ, Астрономический институт Академии наук Словакии | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | Физический факультет МГУ, ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В 2017-2021 гг. на телескопах Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ для кандидата в post-AGB объекты IRAS 02143+5852 был получен обширный наблюдательный материал (многоцветная фотометрия в полосах *UBVRcIcJHK* и спектры низкого разрешения), анализ которого позволил определить характер переменности звезды, найти период пульсаций, сделать вывод о принадлежности объекта к классу цефеид типа W Девы, провести спектральную классификацию и проследить изменение спектра с фазой пульсационного цикла. Уникальность IRAS 02143+5852 заключается в том, что в отличие от типичных представителей этого класса переменных звезд, объект имеет значительный инфракрасный избыток излучения, связанный с наличием у него мощной пылевой оболочки. Нами была построена модель оболочки и определены ее параметры. На основании собственных наблюдений с привлечением результатов миссии Gaia получены оценки параметров звезды (температура, светимость) и определен ее эволюционный статус.

Поиск гигантских импульсов секундных пульсаров на частоте 111 МГц

Казанцев А.Н. | Пущинская радиоастрономическая обсертваория АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Явление генерации гигантских импульсов (ГИ) радиопульсаров выражается в стохастическом и вспышкообразном увеличении пиковой плотности потока отдельных импульсов. На сегодняшний день известно порядка 20 радиопульсаров в той или иной мере демонстрирующих это явление генерации ГИ. Феномен ГИ является наглядным примером того насколько нестабильным может быть излучение радиопульсаров во времени. Кроме этого, сам феномен может являться объяснением для ряда других эффектов и явлений, существующих в современной астрофизике. Например, вращающиеся радиотранзиенты и быстрые радио всплески, могут быть далекими пульсарами генерирующими ГИ, регулярного излучения от которых мы не можем фиксировать в силу недостаточной чувствительности современных телескопов.

Начиная с 2012 года, в Пущинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра ФИАН (ПРАО АКЦ ФИАН) реализуется программа по поиску и исследованию гигантских импульсов пульсаров. В рамках настоящей работы нами был проведен поиск индивидуальных импульсов, которые можно классифицировать как ГИ у 26 секундных пульсаров северного полушария.

В работе были использованы архивные наблюдательные данные, полученные на Большой Синфазной Антенне ПРАО АКЦ ФИАН (БСА ФИАН). Центральная частота приема антенны - 111 МГц, полоса прима - 2.5 МГц. Были проанализированы данные полученные на телескопе в период с 2012 по 2020 годы.

В рамках проведенного анализа были обнаружены импульсы в 30 и более раз превосходящие динамический средний профиль пульсара по амплитуде от пульсаров B0011+47, B0450+55, B0525+21, B0751+32, B0823+26 и B0917+61. Помимо наличия мощных индивидуальных импульсов, в распределении индивидуальных импульсов по пиковой плотности потока относительно средней плотности потока в сеансе пульсаров B0450+55, B0525+21, B0751+32 присутствует степенной хвост, а регистрируемые импульсы в 2-3 раза уже динамических средних профилей данных пульсаров. Таким образом, данные импульсы удовлетворяют основным критериям ГИ, а пульсары B0450+55, B0525+21, B0751+32 являются кандидатами в пульсары с ГИ.

Данная работа была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики "БАЗИС", грант 18-1-2-51-1.

Спектральный обзор области звездообразовния W51E1/E2 в 4-мм диапазоне длин волн

Каленский С. | Голышева П. | Бергман Пер | Улофссон Хенрик | Дегтярев К. | АКЦ ФИАН | ГАИШ МГУ | Онсальская космическая обсерватория | Онсальская космическая обсерватория | МФТИ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В результате спектрального обзора области звездообразования W51e1/e2 зарегистрировано излучение 85 молекул с числом атомов 2-11. Найден ряд молекул, типичных для горячих ядер: CH3CN, CH3OCHO, CH3CH2OH и др. К сожалению, разделить вклады областей e2 и e8 оказалось невозможно. Наиболее сложные молекулы обнаружены при помощи составных спектров, которые позволяют находить молекулы, индивидуальные линии которых не видны под шумами. Однако с помощью составных спектров до сих пор не обнаружено ни одной новой молекулы в мм-диапазоне длин волн. Возможно, это вызвано тем, что многие слабые линии в горячих ядрах не являются оптически тонкими. Поэтому представляют интерес высокочувствительные спектральные обзоры горячих ядер на более низких частотах (10--30~ГГц).

Влияние магнитного поля на образование протозвездных дисков

Каргальцева Н.С. | Хайбрахманов С.А. | Дудоров А.Е. | Замоздра С.Н. | Жилкин А.Г. | ЧелГУ, УрФУ | ЧелГУ, УрФУ | ЧелГУ, УрФУ | ЧелГУ | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Выполняются численные расчеты коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков 1 и 10 масс Солнца с учетом образования первого гидростатического ядра. Используются уравнения гравитационной магнитной газодинамики (МГД) с учетом омической диффузии и магнитной амбиполярной диффузии. Моделирование осуществляется с помощью двумерного МГД-кода Enlil. Тепловая эволюция протозвездного облака моделируется с помощью уравнения состояния газа с переменным эффективным показателем адиабаты.

Расчеты показывают, что на этапе изотермического коллапса магнитного вращающегося протозвездного облака формируется иерархическая структура [1]: геометрически толстая и оптически тонкая сплюснутая оболочка облака, содержащая оптически тонкий квазимагнитостатический первичный диск, геометрическая толщина которого зависит от соотношения между начальными тепловой и магнитной энергиями облака. От границы первичного диска в оболочку облака распространяется быстрая ударная МГД-волна, за фронтом которой происходит магнитное торможение вращения облака. В оболочке магнитное поле имеет квазирадиальную геометрию, внутри первичного диска оно остается квазиоднородным, а за фронтом ударной МГД-волны магнитное поле приобретает квазитороидальную геометрию. После образования первого гидростатическое ядра в его окрестности магнитостатическое равновесие нарушается и формируются истечения. Анализируется влияние омической диффузии и магнитной амбиполярной диффузии на эволюцию магнитного потока первичного диска и первого ядра в зависимости от параметров ионизирующего излучения и пылевых частиц. Определяются размер, масса, угловой момент и магнитный поток первичного диска и первого гидростатического ядра в ходе их эволюции. Обсуждаются наблюдаемые проявления первичных дисков и условия образования протозвездных дисков в процессе дальнейшей эволюции протозвездного облака.

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

[1] Хайбрахманов и др. Моделирование изотермического коллапса магнитных протозвездных облаков, 2021, Астрон. Ж., 9, принято к печати.

Особенности перетекания вещества в рентгеновской двойной Her X-1

Карицкая Е.А. | Бочкарев Н.Г. | ИНАСАН РАН | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Модель дискретного перетекания вещества в Her x-1/HZHer, предложенная Кроса и Бойнтоном и развитая нами в конце 80-ых гг прошлого века, 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"), образующихся 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 80-ых гг.

Фотометрический обзор северного неба в рамках эксперимента Mini-MegaTORTORA

Карпов С.В. | Бескин Г.М. | САО РАН | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мы представляем открытый фотометрический архив эксперимента Mini-MegaTORTORA. Начиная с 2014 года, в рамках этого эксперимента проводится широкоугольный оптический обзор небесной сферы с целью исследования переменности ярких астрономических объектов на различных временных шкалах, от долей секунды до нескольких лет, а также поиска транзиентных событий различных типов. В рамках фотометрического архива, доступного онлайн по адресу http://survey.favor2.info, публикуются результаты "обзорной" части эксперимента, содержащей более миллиона кадров относительно низкого временного разрешения (от 20 до 60 секунд), обеспечивающих равномерное покрытие северного неба с плотностью около 10000 эпох для каждой точки. На сайте доступны как оригинальные кадры, так и результаты их автоматической фотометрии - около 20 миллиардов фотометрических измерений вплоть до 13 звёздной величины. Мы описываем подходы, использованные для фотометрической калибровки этих данных, в том числе для коррекции систематических эффектов, связанных с используемой аппаратной конфигурацией эксперимента (нелинейность детектора, суб-пиксельные вариации его чувствительности), а также методику статистической калибровки инструментальной фотометрической системы (конфигурация без использования фотометрических фильтров) к стандартной системе Джонсона. Обсуждается достижимый при этом уровень точности получаемых долговременных кривых блеска, а также возможные приложения этих данных к исследованию переменности различных классов звёзд.

Тесные двойные системы в «пробеле периодов»

Катышева н.А. | Павленко Е.П. | ГАИШ МГУ | КРАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Одной из актуальных проблем физики катаклизмических переменных (КП) является проблема распределения их по орбитальным периодам. Уже относительно небольшое число КП стало показывать, что существует так называемый «пробел периодов», или «гэп», между 2 и 3 часами, в котором не было звезд. Это привлекло внимание, как теоретиков, так и наблюдателей.

Теоретические исследования показали, что при эволюции КП и уменьшении их периодов, при достижении орбитального периода в 3 часа, перенос масс между компонентами должен прекращаться, а при достижении нижней 2-часовой границы пробела – возобновляться. В настоящее время число КП значительно увеличилось, при этом наблюдается заполнение «пробела периодов» системами разных типов.

В нём много магнитных КП (поляры), новоподобных звезд, карликовых новых типа SU UMa, испытывающих вспышки, которые свидетельствуют о переносе вещества, десяток классических новых. Кроме КП есть ряд ТДС без переноса вещества, периоды также которых попадают в «пробел периодов», в том числе и знаменитый двойной пульсар PSR J0737-3039.

Мы рассматриваем особенности КП в «пробеле» периодов разных типов, полученные из наблюдений за последние 20 лет. В частности, новые данные, которые появляются в литературе, всё больше свидетельствуют о том, что «пробел» может представлять собой некую пограничную зону между звёздами соседних подклассов : «классических» SU UMa, U Gem и Z Cam. Кроме того, некоторые вспышки звёзд типа SU UMa показывают сходные черты с самыми короткопериодическими карликовыми новыми (звёздами типа WZ Sge). Распределение же только звёзд типа SU UMa, число которых значительно увеличилось за последние два десятка лет, ставит под сомнение само существование «пробела» для этого типа КП.

Моделирование образования сложных органических молекул в срединной плоскости протопланетного диска

Кискин М. Ю. | Васюнин А. И. | Акимкин В. В. | УрФУ | УрФУ | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В работе представлены результаты исследования эволюции химического состава протопланетного диска вокруг солнцеподобной звезды типа Т Тельца с массой 1M⊙ с использованием физической и химической модели. Физическая модель протопланетного диска содержит 4400 точек и основана на 1+1D α-модели. Химическая модель основана на программном коде MONACO. Особенностью химической модели является включение низкотемпературных химических процессов, приводящих к образованию сложных органических молекул (COM), применявшихся ранее к химии COM в холодных темных облаках. В используемой химической модели были учтены поля излучения от центральной звезды и межзвездного излучения. Химический состав рассчитан в каждой точке сетки физической модели протопланетного диска для различных вариантов химической сетки и различных параметров химической модели. Получены двухмерные распределения относительных содержаний молекул по водороду в диске, а также полные лучевые концентрации молекул. Расчет эволюции химического состава производился для периода времени 1 миллион лет.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Анализ особенностей звездных населений внутри шаровых скоплений

Коваль В.В. | Марсаков В.А. | ЮФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Предполагается, что определяющим фактором наблюдаемой химической неоднородности звездных населений внутри шаровых скоплений является различие масс скоплений. Но так ли это? В работе проведен сравнительный анализ шаровых скоплений, с особенностями в содержаниях некоторых химических элементов, произведенных в различных процессах ядерного синтеза, в их звездах.

Спектральная переменность Ae звезды Хербига AB Aur и ее связь с процессом планетообразования

Козлова О.В. | Алексеев И.Ю. | Фурсяк М.И. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Ae/Be звезды Хербига относятся к молодым горячим звездам, еще не вышедшим на главную последовательность. Как известно, они окружены протяженными газопылевыми дисками, в которых идут активные процессы планетообразования. Особое место в этой группе звезд занимает Ae звезда Хербига AB Aur. Относительная близость к Земле (163 пк) позволяет успешно исследовать спектральную и фотометрическую переменность звезды, а также напрямую изучать структуру ее околозвездного диска в ближнем ИК и миллимтровом диапазонах, что позволило сделать вывод об активном процессе планетообразования, идущем в ее диске.

Мы представляем результаты многолетнего спектрального мониторинга AB Aur, проводимого в Крымской астрофизической обсерватории с 2009 г. Они показывают существование сложной переменности, идущей на нескольких характерных временах, от 1500 суток до 3000 суток и более. Характер этой переменности позволяет нам связать ее с процессом планетообразования у AB Aur.

Исследование рассеивающих свойств Млечного Пути на основе многочастотных РСДБ-наблюдений активных ядер галактик

Корюкова Т. А. | Пушкарев А. Б. | Плавин А. В. | Ковалев Ю. Ю. | АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Для изучения рассеивающих свойств межзвездной среды галактики Млечный Путь мы использовали многочастотные (1.4 – 86 ГГц) РСДБ-наблюдения более 9 тыс. активных ядер галактик, расположенных по всему небу, за исключением области высоких южных широт небесной сферы. Мы изучили зависимости наблюдаемых размеров ядер активных галактик от галактической широты и обнаружили значимое увеличение угловых размеров источников, измеренных на частоте 2 ГГц и видимых через плоскость Галактики. Этот эффект наблюдается и на более высоких частотах, например, 5 и 8 ГГц, но он уже менее значим, так как эффекты рассеяния быстро ослабевают с ростом частоты. Равномерное распределение источников по небу позволило построить детальную карту распределения свойств рассеяния радиоизлучения в Галактике на основе рекордно-высокого количества РСДБ данных. Мы рассчитали значения степенного индекса k частотной зависимости угловых размеров ядер $\theta \propto \nu^{-k}$ для 3405 активных галактик на основе одновременных наблюдений на частотах 2 и 8 ГГц. По результатам этих расчетов мы построили сглаженную карту распределения по небу индекса k, который отражает степень рассеяния в каждом направлении (см. рисунок 1). Для источников, находящихся в плоскости Галактики и подверженных рассеянию, k = 1.65, а для источников вне плоскости Галактики k = 1.01. Последнее хорошо согласуется с теоретическими предсказаниями для ядер активных галактик, не подверженных рассеянию. Установлено, что рассеивающий материал располагается преимущественно в плоскости Галактики и имеет неравномерное распределение. Так, около 40% источников, наблюдаемых через плоскость Галактики, не рассеиваются. Преимущественно, эти источники располагаются в направлении галактического антицентра. Используя данные многочастотных наблюдений размеров ядер активных галактик, мы отделили эффекты рассеяния от собственной частотной зависимости размера ядра, и получили значение индекса рассеяния k = 2.03 ± 0.18. Это значение согласуется с теоретически предсказанными значениями k = 2 для модели гауссова экрана неоднородностей и k = 2.2 для колмогоровского спектра пространственных неоднородностей электронной плотности.

Моделирование эволюции остатков сверхновых с учетом диффузного ускорения космических лучей

Костина М.В. | Блинников С.И. | СПбГУ | ИТЭФ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В настоящей работе мы представляем гидродинамическое моделирование эволюции остатков сверхновых с учетом диффузного ускорения космических лучей. Для расчета эволюции остатка мы используем сферически-симметричный гидродинамический код SUPREMNA (Е.И.Сорокина, С.И.Блинников, Д.И.Косенко П.Лундквист, ПАЖ, т.30, стр.812, 2004), самосогласованно учитывающий нестационарную кинетику ионизации в двухтемпературной плазме и электронную теплопроводность. Ранее для учета эффектов ускорения космических лучей в SUPREMNA применялось двухжидкостное приближение, когда уравнение диффузии КЛ вводилось в систему гидродинамических уравнений (D.Kosenko, S.I.Blinnikov, J.Vink, A&A, 532, A114, 2011). В нашей работе мы самосогласованно учитываем давление космических лучей, вычисляемое в рамках полуаналитической модели нелинейного диффузионного ударного ускорения Блази (P.Blasi, Astropart. Phys., 16, 429, 2002; D.Caprioli, P.Blasi, E.Amato, MNRAS, 396, 2065, 2009). С использованием обновленного кода мы исследуем эффект влияния космических лучей на динамику и рентгеновские спектры остатков. Мы сравниваем результаты наших расчетов с результатами предшественников и с наблюдениями остатка сверхновой Тихо.

PRESTALINE: инструмент для моделирования молекулярных спектров в областях звездообразования

Кочина О.В. | Van Looveren G. | ИНАСАН | KU Leuven, Belgium

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

PRESTALINE, инструмент для моделирования химической эволюции и молекулярных спектров областей звездообразования, состоит из трех блоков: 1) химического, представленного кодом PRESTA, включающего в себя моделирование эволюции сложных компонентов межзвездной среды, а также дейтерированных соединений; 2) блока переноса излучения, представленного пакетом RADEX (Van der Tak et al. 2007); 3) блока визуализации, включающего в себя инструменты сравнения и анализа. Также пакет PRESTALINE осуществляет препроцессинг наблюдаемых спектров и извлечение ряда начальных данных о физических условиях в моделируемом объекте. Моделирование спектров избавляет исследователя от неопределенностей, связанных с пересчетом интенсивностей линий в лучевые концентрации, а также позволяет провести прямые сравнения со спектром, полученным из наблюдений, а мощности химического блока PRESTA позволяют анализировать эволюцию содержаний соединений, данные для моделирования которых пока отсутствуют.

Лабораторное моделирование джетов молодых звездных объектов

Крауз В.И. | Мялтон В.В. | Митрофанов К.Н. | Харрасов А.М. | Ильичев И.В. | Ананьев С.С. | Бескин В.С. | Калашников И.Ю. | Додин А.В. | Ламзин С.А. | НИЦ Курчатовский институт | НИЦ Курчатовский институт | АО ГНЦ РФ ТРИНИТИ | НИЦ Курчатовский институт | НИЦ Курчатовский институт | НИЦ Курчатовский институт | ФИАН, МФТИ | ИПМ им. М.В. Келдыша | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Обсуждаются некоторые аспекты лабораторного моделирования течений Хербига-Аро (HH) с помощью установок типа «плазменный фокус» (ПФ). Установки ПФ по принципу своего действия относятся к классу пинчевых систем, в которых плазменный поток формируется на стадии сжатия плазмы и распространяется вдоль оси системы со скоростями ~ 100 км/с. Схема эксперимента, используемая на установке ПФ-3 (НИЦ «Курчатовский институт»), позволяет исследовать распространение плазменного потока в среде конечной плотности на расстояния, на два порядка превышающие его первоначальные поперечные размеры. Это позволяет моделировать процесс формирования головной ударной волны в зависимости от контраста плотности, скорости джета, радиационного охлаждения и других факторов. Показано, что в условиях эксперимента удается достаточно хорошо воспроизвести основные свойства реальных джетов (продольный ток, вращение), а также форму многих объектов HH, в частности объекта HH-34S. Детально исследовано распределение магнитных полей. Совокупность полученных данных позволила построить феноменологическую модель головного сгустка с осевым продольным током и токами замыкания на периферии джета. Показано, что подобные сгустки с захваченным магнитным потоком могут существовать независимо от «центральной машины» - пинча. Исследовано влияние радиационного охлаждения на формирование мелкомасштабных структур на переднем фронте потока. Поток в сильно излучающих газах достаточно сильно структурирован, что позволило обнаружить вращательное движение как сгустка в целом, так и отдельных его частей. Наложение продольного магнитного поля приводит к значительному увеличению не только полоидальной компоненты захваченного потоком поля, но и его тороидальной компоненты, что может быть также связано с вращением потока. Экспериментально подтверждена возможность формирования вакуумного следа за головным сгустком, благодаря которому последующий выброс практически не испытывает сопротивления окружающей среды и распространяется коллимированно. Численное моделирование показало, что этот эффект может также иметь значение и для джетов молодых звезд.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-29-21006_мк).

Предкатаклизмическая двойная система GPX-TF16E-48 с затменными белым карликом

Крушинский В. | Benni Paul | Burdanov Artem | Антохин И. | Антохина Э. | Бражко В. | УрФУ | Acton Sky Portal | MIT | ГАИШ | ГАИШ | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мы сообщаем об открытии относительно яркой затменной двойной системы, состоящей из белого карлика и звезды главной последовательности K7 с выраженными признаками хромосферной и пятенной активности. Кривая блеска этой системы показывает переменность ~ 0.2 звездной величины с периодом 0.297549 дня и короткое полное затмение белого карлика. На основании спектральных и фотометрических данных, мы оценили параметры системы. Максимальная глубина затмения белого карлика наблюдается в фильтре SDSS r, что необычно для подобных систем. Мы подозреваем, что эта система является продуктом эволюции двойной звезды после стадии общей оболочки и что белый карлик аккрецирует звездный ветер от своего компаньона (так называемый поляр с низким темпом аккреции, LARP).

Фотометрия и кинематика внегалактических комплексов звзездообразования

Кузин А.В. | Лисицин Д.Д. | МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В работе исследуются спектральные и фотометрические характеристики внегалактических комплексов звездообразования (КЗО). КЗО были отобраны в 17 близких галактиках, обладающих следующими свойствами: наклонение к лучу зрения не более 45 градусов, расстояние не более 15 Мпк, морфологический тип – спиральный или иррегулярный. Для выбора КЗО был разработан метод, основанный на сравнении потоков в двух спектральных диапазонах: 160 мкм (излучение холодной пыли) и 8 мкм (излучение полициклических ароматических углеводородов).

По фотометрической информации, полученной в разных спектральных диапазонах, рассмотрены возможные корреляции между свойствами КЗО для спиральных и иррегулярных галактик. Для отдельных комплексов звездообразования был произведён спектральный и кинематический анализ, выяснены закономерности движения газа внутри отдельных КЗО.

Звёздная активность в системе AT Mic по данным многоволновых наблюдений обсерватории AstroSat

Кузнецов А.А. | Каракотов Р.Р. | Chandrashekhar K. | Banerjee D. | ИСЗФ СО РАН | ИСЗФ СО РАН | Indian Institute of Astrophysics | Indian Institute of Astrophysics

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мы представляем результаты наблюдений звездной системы AT Mic (состоящей из двух активных красных карликов спектрального класса dM4.5e) с помощью орбитальной обсерватории AstroSat Индийской Организации Космических Исследований. За ~6 часов наблюдений, в ультрафиолетовом (130-180 нм) и мягком рентгеновском (0.2-8 кэВ) диапазонах было зарегистрировано как излучение в спокойном состоянии, так и, по меньшей мере, пять вспышек на различных компонентах системы. Большинство вспышек в рентгеновском диапазоне запаздывали (на 5-6 минут) по отношению к вспышкам в ультрафиолетовом диапазоне, демонстрируя эффект Ньюперта. Анализ рентгеновских спектров позволил оценить характеристики излучающей плазмы: результаты указывают на наличие горячей многотемпературной плазмы с температурами в диапазоне ~5-50 МК и мерой эмиссии ~$(3\text{-}5)\times10^{52}$ см$^{-3}$; как температура, так и мера эмиссии возрастали во время вспышек. Согласно полученным оценкам, концентрация тяжелых элементов в короне AT Mic значительно ниже, чем в фотосфере (обратный FIP-эффект); во время вспышек металличность в короне возрастала вследствие хромосферного испарения. Энергии зарегистрированных вспышек составляли ~10^{32} эрг; данные вспышки по своим характеристикам представляются аналогичными мощным солнечным вспышкам (класса ~X10). Мы также сравниваем полученные результаты с предыдущими наблюдениями AT Mic и других активных красных карликов.

Извлечение признаков из кривых блеска астрономических источников

Лаврухина А.Д. | Маланчев К.Л. | МГУ | ГАИШ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Астрономия входит в эпоху больших обзоров переменного неба, таких как Zwicky Transient Facility и грядущий Legacy Survey of Space and Time. Эти обзоры предназначены для мониторинга всей видимой части неба за несколько ночей. Для эффективной работы с такими объемами данных требуется автоматическое извлечение признаков кривых блеска для дальнейшего их использования в задачах классификации и определения физических параметров переменных источников. В данной работе мы представляем новую библиотеку на языке Python, предназначенную для извлечения 25 признаков кривых блеска переменных астрономических источников.

Мультиволновой анализ областей звёздообразования с помощью онлайн базы данных мазерных источников MaserDB.net

Ладейщиков Д.А. | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В настоящей работе докладывается о возможностях использования онлайн базы данных межзвёздных мазеров (http://maserdb.net) для многоканального исследования областей звёздообразования Галактики. В настоящий момент ввод данных по метанольным мазерам I и II класса завершён, продолжается работа по вводу данных по водяным мазерам в областях звёздообразования Галактики. Степень покрытия базы данных по водяным мазерам в настоящее время составляет 93% от всех доступных наблюдений в литературе с 1989 года. С помощью сопоставления регистраций водяных мазеров за разные эпохи наблюдений, а также анализа переменности метанольных мазеров, выделены источники, которые имеют наибольший индекс переменности. Данные источники могут представлять интерес в качестве кандидатов для поиска мазерных вспышек. Кроме того, с помощью обобщённой линейной модели и нейронной сети удалось рассчитать вероятность обнаружения водяных мазеров по физическим параметрам субмиллиметровых сгустков обзора ATLASGAL на 870 мкм. Обобщённая линейная модель позволяет предсказать наличие водяного мазера с точностью 92% для ярких водяных мазеров (>10 Ян) и с точностью 70% для более слабых водяных мазеров, причём результат предсказания не хуже, чем по нейронной сети. Так как наличие водяного мазера явно указывает на активные процессы звёздообразования, то найденные параметры модели позволяют исследовать связь между физическими параметрами сгустков и процессом звёздообразования, в том числе его наиболее ранних стадий. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №20-72-00137.

Специфика радиоизлучения пульсаров

Лосовский Б.Я. | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Характерным свойством пульсаров является импульсное периодическое радиоизлучение, обладающее высокой стабильностью периодов. Несмотря на высокую стабильность периодов излучения пульсаров, контроль за временем прихода импульсов(тайминг), показывает наличие разных типов нерегулярностей: вариации остаточных уклонений, изменения формы импульса, включение и выключение радиоизлучения, сбои периода. Многочисленные данные наблюдений радиоизлучения пульсаров свидетельствуют о том, что все эти особенности вызваны активными процессами, происходящим в магнитосфере пульсара. Особый интерес представляют наблюдения пульсара в Крабовидной туманности, которые показывают коррелированные изменения меры дисперсии и рассеяния, а для объяснения глитчей не требуются привлечения модели звёздотрясения. В Пущинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева предложена и апробирована методика зондирования активных процессов в Крабовидной туманности путем наблюдения гигантских импульсов и измерения их рассеяния на радиотелескопе БСА на частоте 111 МГц.

.

Коллимированные потоки молекулярного водорода в ассоциации Mon R1

Магакян Т.Ю. | Татарников А.М. | Мовсесян Т.А. | БАО НАН РА | КГО ГАИШ | БАО НАН РА

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В области активного звездообразования Mon R1 с помощью наблюдений, проведенных в ближнем ИК-диапазоне на 2.5 м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ, обнаружены 4 направленных истечения молекулярного водорода, длиной до 0.5 пк. Ни одно из них не совпадает с потоками Хербига-Аро, ранее найденными в данной области в оптическом диапазоне. Все потоки H2 сконцентрированы в небольшом (порядка 4-5 угловых минут) облаке, где поглощение достигает 5-7 величин (Av).

Внутри этого же облака находится группа из 10 источников, довольно ярких в дальнем ИК диапазоне, выявленная по изображениям обзора PACS, проведенного на космическом телескопе Herschel. Часть из них не наблюдается даже в JHK-цветах обзора 2MASS. Некоторые из этих объектов связаны с инфракрасными отражательными туманностями и, по-видимому, и являются источниками H2-истечений.

С учетом предыдущих исследований можно сделать вывод, что ассоциация Mon R1 включает молодые звезды разной светимости и на разных стадиях эволюции, от HAeBe звезд до объектов типа Class I.

Поиск аномальных объектов в Zwicky Transient Facility

Маланчев К.Л. | Пружинская М.В. | Королев В.С. | Aleo P. D. | Корнилов М.В. | Ishida E. E. O. | Крушинский В.В. | Mondon F. | Sreejith S. | Вольнова А.А. | Белинский А.А. | Додин А.В. | Татарников А.М. | Желтоухов С.Г. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ФГУП "ЦАГИ" | Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign | ГАИШ МГУ | Université Clermont Auvergne, CNRS/IN2P3, LPC | УрФУ | Université Clermont Auvergne, CNRS/IN2P3, LPC | Université Clermont Auvergne, CNRS/IN2P3, LPC | ИКИ РАН | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Будут представлены результаты проекта группы SNAD по поиску аномальных астрофизических объектов в Zwicky Transient Facility (ZTF) DR3. Используя автоматический алгоритм поиска выбросов мы проанализировали более двух миллионов объектов и получили 277 самых необычных, с точки зрения алгоритма, кривых блеска. Все полученные объекты были проанализированы вручную, для некоторых проводились дополнительные фотометрические и спектроскопические наблюдения на КГО ГАИШ. В итоге, более двух третей из полученных кривых блеска оказалось артефактами обработки данных ZTF, однако среди оставшихся 89 источников мы обнаружили ряд кандидатов в редкие типы объектов: четыре кандидата в сверхновые, возможную вспышку красного карлика, кандидата в переменную типа RS CVn. Также мы обнаружили очень необычную новоподобную, которая в течении года вспыхнула два раза. Среди артефактов также нашлись необычные явления: покрытие звезды астероидом и «эхо» гало яркой мироподобной от соседних слабых звезд. Наши результаты подчеркивают необходимость подобных гибридных рекомендательных систем в астрономии, которые могут применяться для поиска необычных объектов в интенсивных фотометрических обзорах.

По результатам публикации 2021MNRAS.502.5147M

О гигантских импульсах радиопульсаров

Малов И.Ф. | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Проанализированы параметры пульсаров с обнаруженными в них гигантскими импульсами (ГИ) и известные модели, предложенные для описания феномена ГИ,. Для этих пульсаров оценены значения углов между магнитным моментом и осью вращения нейтронной звезды. Этот параметр важен в целом ряде анализируемых моделей.. Отмечается, что вполне вероятно не существует единой модели для объяснения всех особенностей ГИ. Наиболее перспективными для описания ГИ представляются модель Конторовича и модель Мачабели с соавторами. В первой из них ГИ формируются в вакуумном зазоре вблизи поверхности нейтронной звезды. Существование такого зазора и наличие в нём электрических полей считается сегодня общепринятым. Вторая модель использует для объяснения ГИ нелинейные процессы в плазме при генерации дрейфовых волн на периферии магнитосферы пульсара. Появление таких волн по-видимому тоже может считаться неизбежным, и их роль в наблюдаемых явлениях может быть существенной.. Необходима более детальная разработка каждой из рассмотренных выше моделей, чтобы выводы об их роли в формировании ГИ были более определёнными. Эта задача представляется тем более актуальной в свете возможности использования феномена ГИ для объяснения быстрых радиовсплесков (FRBs).

Об особенностях излучения пульсара B0950+08 на частоте 111 МГц

Малофеев В.М. | Малов И.Ф. | Малов О.И. | Теплых Д.А. | ПРАО АКЦ ФИАН | ПРАО АКЦ ФИАН | ПРАО АКЦ ФИАН | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Приведены результаты длительных наблюдений пульсара B0950 + 08. Эти наблюдения проводились на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц с января 2016 г. по май 2019 г. (450 дней). Обнаружена сильная переменность излучения этого пульсара с изменениями отношения сигнал / шум в сотни раз. Часть длительной переменности плотности потока можно объяснить рефракционными мерцаниями в межзвездной среде. Подтверждено наличие более сильного, чем на высоких частотах, излучения между основным импульсом (МП) и интеримпульсом (ИП). Так 1 августа 2017 г. нами было зарегистрировано сильное межимпульсное излучение, занимающее большую часть периода. Показано, что наблюдаемые особенности этого пульсара могут быть объяснены в рамках модели совмещенного ротатора. Мы оценили высоты областей излучения от центра нейтронной звезды. Рассчитан начальный период (0,2 секунды) пульсара. А это означает, что пульсары рождаются не только с миллисекундными периодами. Большой возраст пульсара (6,8 миллиона лет) и небольшой угол между его магнитным моментом и осью вращения (менее 20) подтверждают предположение об эволюции пульсара в сторону выравнивания этих углов.

Геометрические свойства Галактических циррусов в оптике

Марчук А..А. | Смирнов А.А. | Мосенков А.В. | Ильин В.Б. | Гончаров Г.А. | Савченко С.С. | СПбГУ, ГАО РАН | СПбГУ, ГАО РАН | ГАО РАН | СПбГУ, ГАО РАН | ГАО РАН | СПбГУ, ГАО РАН, САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Геометрические характеристики пылевых облаков дают важную информацию о физических процессах, лежащих в основе формирования этих облаков. Одна из таких характеристик - фрактальная размерность облака D. В предыдущих исследованиях использовались в основном инфракрасные (ИК) данные, и полученная фрактальная размерность отдельных облаков находилась в диапазоне значений 1.2-1.4. В настоящей работе мы используем глубокие данные SDSS Stripe82 для измерения фрактальной размерности оптических циррусов - пылевых облаков низкой яркости с "перистой" структурой. Примечательно, что это сделано впервые для оптических данных, обладающих значительно лучшим угловым разрешением по сравнению с ИК. Фрактальная размерность определена в 4-х оптических griz полосах для 8 площадок, занимающих приблизительно 10% полосы Stripe82. Кроме того, мы определили фрактальную размерность тех же циррусов, но по ИК данным обзора IRAS. Проведено Монте-Карло моделирование для получения оценок ошибок измерений D. Показано, что фрактальная размерность всех облаков в оптическом диапазоне равна D = 1.74 +/- 0.06, что значимо больше фрактальной размерности тех же облаков на ИК изображениях (D = 1.38 +/- 0.06). Мы исследовали несколько причин этого несоответствия, таких как влияние маскирования объектов фона, способа выделения циррусов, углового разрешения изображения и других. Показано, что для половины исследуемых полей несоответствие может быть объяснено за счет разницы в разрешении оптических и инфракрасных данных. Для оставшихся полей несоответствие может быть связано с различием физических свойств исследованных облаков. Выделение Галактических циррусов на глубоких фотометрических данных важно для правильной идентификации структур низкой поверхностной яркости вокруг галактик, что приобретет особую актуальность с введением в строй новых широкоугольных телескопов (например, Vera C. Rubin Observatory).

Wray15-906 – объект связывающий голубые переменные высокой светимости и красные сверхгиганты

Марьева О.В. | Гварамадзе В.В. | Князев А.Ю. | Бердников Л.Н. | ГАИШ МГУ, Астрономический институт Чешской Академии наук | ГАИШ МГУ | South African Astronomical Observatory | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Эволюционная связь между красными сверхгигантами и голубыми переменными высокой светимости (Luminous Blue variable LBV) до сих пор малопонятна. Мы представляем результаты исследования звезды Wray 15-906, которая была внесена в список кандидатов в LBV звёзды после обнаружения у неё околозвёздной оболочки. Оболочка с диаметром ≈2пк отчётливо видна на инфракрасных снимках, полученных космическими миссиями Herschel и Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE). С помощью численного моделирования атмосферы мы нашли, что звезда имеет относительно низкую светимость $\log(L/L_\odot) \approx 5.4$ и эффективную температуру 25 ± 2 kK. В рамках теории эволюции одиночных звёзд Wray 15-906 садится на эволюционный трек для массы $\approx 25M_\odot$, и по оценкам получается, что она уже прошла стадию красного сверхгиганта и сейчас эволюционирует в область WN11h звёзд. Теоретические расчёты показывают, что звёзды 20-25 $M_\odot$ после стадии красного сверхгиганта очень нестабильны и могут взорваться как сверхновая на стадии LBV. Возможно, именно такая судьба – короткая и яркая – ждёт и звезду Wray 15-906.

Исследование затменной эпсилон Возничего. Фотометрия в инфракрасной области спектра и спекл-поляриметрия

Маслов И.А. | Шенаврин В.И. | Сафонов Б.С. | ИКИ РАН | ГАИШ | ГАИШ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Проведен цикл фотометрических наблюдений в инфракрасных полосах JHKLM затменной ε Aur, охватывающий весь ее 27-летний период. Наблюдения проводились на 1.25-м телескопе ЗТЭ Крымской астрономической станции ГАИШ при использовании модуляционного фотометра на основе охлаждаемого жидким азотом InSb-фотоприемника. Затменная система представляет собой сверхгигант класса F, вращающийся вокруг невидимого более массивного и горячего компонента, окруженного пылевым диском. Зафиксировано изменение ИК показателей цвета в зависимости от фазы, с кратковременным значительным изменением цвета в моменты начала и конца затмения, что мы связываем с различием диаграмм рассеяния света на частицах пылевого диска в коротковолновых и длинноволновых спектральных полосах.

На 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ были проведены спекл-поляриметрические наблюдения ε Aur в полосе центрированной на 625 нм с полушириной 50 нм. Полученная величина поляризации: 2.0±0.2%, позиционный угол 145±5º, соответствует результатам других исследователей и связана в основном с межзвездной поляризацией. Ожидаемые изменения этой величины на порядок меньше. Поляризованную оболочку разрешить не удалось. Вероятно, оболочка имеет слишком малый угловой размер (меньше 50 мсд), либо слишком слабая.

Происхождение эмиссионных линий в спектрах B-карликов

Машонкина Л. | Ситнова Т. | Алексеева С. | Рябчикова Т. | ИНАСАН | ИНАСАН | Национальные астрономические обсерватории Китая | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Классическая теория, основанная на предположении о локальном термодинамическом равновесии (ЛТР), предсказывает, что линейчатый спектр звезды без оболочки и без инверсии температуры в поверхностных слоях должен быть абсорбционным. Эти предсказания подтверждены спектральными наблюдениями огромного количества одиночных, непроэволюционировавших звёзд в широком диапазоне спектральных классов. И всё-таки слабые эмиссионные линии в спектрах обычных звёзд были обнаружены, благодаря повышению качества и расширению спектрального диапазона наблюдений. У звёзд 21 Peg (B9.5 V) и pi Cet (B7 IV) это линии C I, а у звезды iota Her (B3 IV) в эмиссии наблюдаются линии не только C I, но и Si II, Ca II и Fe II. Используя классические модели атмосфер без инверсии температуры, мы рассмотрели формирование линий этих элементов при наиболее полном учёте процессов, заселяющих и опустошающих энергетические уровни под действием излучения и столкновений с электронами. Показано, что эмиссия в спектральных линиях - это следствие отклонений от ЛТР, а именно, сверхионизации, которой подвержен исследуемый атом / ион при достижении определенной эффективной температуры. Но в одних и тех же условиях, у одного атома эмиссия появляется не во всех, а только в отдельных переходах. Каких именно — зависит от структуры атомных термов.

Микроскопическое моделирование химических процессов на пылевых частицах

Медведев М.Г. | Островский А.Б. | Федосеев Г.С. | Васюнин А.И. | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В данной работе при помощи метода случайных блужданий на трёхмерной решетке была реализована стохастическая модель, симулирующая протекание химических процессов на пылевой частице межзвёздной среды. Для реализации случайного блуждания мы использовали микроскопический Монте-Карло подход, что в отличии от других подходов позволяет учитывать неоднородные свойства поверхности пылевой частицы, и их изменение в процессе вымерзания ледяной мантии.

В модели рассматривались реакции происходящие как на поверхности пылевой частицы так и реакции протекающие в толще ледяной мантии. Возможные протекающие реакции определялись предварительно заданной сеткой реакций.
На начальном этапе мы ограничиваемся простой сеткой, содержащей 10 реакций, в частности включающих в себя образование молекулы метанола путем многократного последовательного гидрирования молекулы монооксида углерода.

Преимуществом микроскопического Монте-Карло моделирования является то, что мы можем отслеживать положение каждой специи в любой момент времени. Однако, это приводит к более высоким требованиям к вычислительной мощности. Мы произвели сравнение между двумя основными математическими алгоритмами имплементации порядка химических реакций в методах микроскопического Монте-Карло доступных в литературе (Chang et al. 2007, Cuppen et al. 2009). Обнаружено, что использование менее затратного с вычислительной точки зрения алгоритма приводит к недооценке скоростей реакции между высоко реакционно способными соединениями с высокой энергией адгезии. Для ускорения процесса моделирования и сокращения затрат вычислительного времени было применено параллельное вычисление.

В результате моделирования были получены модели многослойных ледяных мантий, в которых преимущественными компонентами были водяной лёд, формальдегид и монооксид углерода. Так же, по полученным в процессе симуляции данным, были построены зависимости относительного обилия специй от времени. Результаты моделирования частично согласуются с работами других авторов.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Мониторинг спекл-интерферометрических двойных на БТА САО РАН

Митрофанова А.А. | Дьяченко В.В. | Бескакотов А.С. | Балега Ю.Ю. | Максимов А.Ф. | Растегаев Д.А. | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мониторинг спекл-интерферометрических двойных проводится на 6-метровом телескопе САО РАН с 80-х годов XX века. В рамках доклада представлено исследование выборки систем со значениями орбитальных периодов от 1 года до 50 лет. На основе анализа новых наблюдательных данных, полученных с 2007 года (скважность наблюдений составляла около 1 наблюдения в год), была проведена оценка ранее построенных орбитальных решений. В результате часть орбит была значительно уточнена, а некоторые орбитальные параметры были получены впервые. Определение фундаментальных параметров (масс компонентов и их сумм масс) производилось для трех значений параллаксов: Hipparcos, Gaia DR2 и EDR3. В результате сравнения параметров, определенных двумя независимыми методами, сделаны выводы о корректности орбитальных решений и параллаксов. Также была проведена качественная классификация орбит, большинству из которых был присвоен статус «точная».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-70120.

Исследование эволюции ПАУ в ФДО Orion Bar

Мурга М.С. | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Область фотодиссоциации (ФДО) Orion Bar является одной из наиболее изученных. Огромное количество наблюдательных данных в различных спектральных диапазонах делает эту область хорошим инструментом для проверки теоретических моделей. В частности, это позволяет изучать углеродные частицы, а конкретно, полициклический ароматические углеводороды (ПАУ), которые проявляют себя через инфракрасные (ИК) полосы эмиссии. Их эволюция зависит от внешних условий, которые меняются значительно внутри этого объекта. За счет этого в нем можно отследить эволюционные изменения ПАУ.

Изменения интенсивностей в ИК-полосах на длинах волн 3.3-3.4, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 мкм указывают на изменения характеристик ПАУ (размер, ионизационное состояние и уровень гидрогенизированности). Чтобы интерпретировать эти изменения, мы моделируем эволюции ПАУ с помощью авторской модели. В модели мы рассматриваем фоторазрушение ПАУ, взаимодействие ПАУ с заряженными частицами и атомами/молекулами водорода. И, таким образом, мы получаем теоретические характеристики ПАУ.

Для сравнения с наблюдениями мы рассчитываем синтетические ИК-спектры. Сравнение показало хорошую схожесть модельных и наблюдательных данных, а именно отношений потоков F_3.3/F_11.2, F_3.3/F_7.7, F_3.3/F_3.4, F_7.7/F_11.2.

Наблюдение и моделирование сверхновой SN 2012aw. Определение параметров

Никифорова А.А | Бакланов П.В. | Блинников С.И. | Гришина Т.С. | Троицкая Ю.В. | Морозова Д.А. | Копацкая Е.Н. | Ларионова Е.Г. | Троицкий И.С. | ГАО РАН | ИТЭФ | ИТЭФ | СПбГУ | СПбГУ | СПбГУ | СПбГУ | СПбГУ | СПбГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мы представляем результаты фотометрических наблюдений сверхновой II типа "с плато" SN 2012aw, полученные в период с 7 по 371 дни после взрыва. Дополнив наши наблюдения данными из литературы, мы вычислили гидродинамическую модель, которая одновременно учитывает как фотометрические наблюдения, так и фотосферные скорости. Согласно найденной модели, параметры предсверхновой следующие: радиус R = 500 R_Sun, масса никеля M(56Ni) ~ 0.06 M_Sun, масса предсверхновой 25 M_Sun, масса сброшенной оболочки 23.6 M_Sun, энергия взрыва E ~ 2 × 10^51 эрг. Результаты подтверждают существование "Проблемы Красных Сверхгигантов", поскольку найденная масса предсверхновой 25 M_Sun значительно превышает предел 17 M_Sun, полученный из анализа наблюдений предсверхновых.

Исследование сверхновых, найденных в базе данных Zwicky Transient Facility

Новинская А.К. | Пружинская М. В. | Маланчев К. Л. | Корнилов М. В. | МГУ, ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Обнаружение новых астрофизических явлений, а также изучение уже известных транзиентов – одни из самых ожидаемых результатов следующего поколения крупномасштабных астрономических обзоров. Оперативная обработка данных, использующая современные методы машинного обучения, позволит быстро классифицировать объекты и своевременно предоставлять информацию для их дальнейшего изучения. В данной работе методы машинного обучения служат основой для изучения сверхновых, которые представляют собой астрофизические объекты, позволяющие наблюдать конечные стадии эволюции массивных звезд, а также являются стандартными свечами для построения шкалы расстояний во Вселенной. Используя наработки проекта SNAD (https://snad.space/), а именно реализованный в проекте алгоритм активного поиска аномалий (active anomaly detection), и данные обзора Zwicky Transient Facility (ZTF), мы ищем и исследуем кандидаты в сверхновые звезды. Поскольку сверхновые являются внегалактическими объектами, для исследований были выбраны площадки ZTF с наибольшей галактической широтой. В результате было найдено несколько десятков кандидатов в сверхновые звезды, среди которых как уже известные объекты, так и новые, раннее не обнаруженные широкопольными обзорами сверхновые. Кривые блеска найденных кандидатов будут аппроксимированы различными моделями сверхновых звезд с целью их классификации. Примечательно, что благодаря высокому временному разрешению обзора ZTF возможно изучение сверхновых на ранних эволюционных стадиях кривой блеска, что позволит обнаружить следы взаимодействия выброса со звездой-компаньоном или с околозвездным веществом, а также исследовать распределение образовавшихся радиоактивных элементов во внешних слоях выброса. Важным дополнительным результатом работы является присвоение меток (классов) различным объектам каталогов ZTF, проанализированных во время поиска сверхновых. Наличие таких меток в данных позволяет улучшить работу алгоритмов при решении других задач, а также очистить данные от артефактов – объектов не астрофизической природы переменности. Подобные исследования помогут продвинуться в понимании физики сверхновых звезд уже известных типов и, возможно, обнаружить и исследовать аномальные сверхновые с необычными кривыми блеска.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Национального центра научных исследований Франции в рамках научного проекта № 21-52-15024.

MASTER OT J172758.09+380021.5: необычная активная карликовая новая, возможно, пропущенная классическая Новая в недавнем прошлом

Павленко Е.П. | Като Т. | Антонюк К. | Пить Н. | Кейр Л. | Удовиченко С. | Дубовски П. | Сосновский А. | Антонюк О. | Шиманский С. | Габдеев М. | Рахматуллаева Ф. | Кохирова Г. | Симон А. | Бакланов А. | Коджигучи Н. | Годунова В. | КрАО РАН | Отдел астрономии, ун-т Киото | КрАО РАН | КрАО РАН | ОНУ | ОНУ | Обсерватория Вихорлат | КрАО РАН | КрАО РАН | САО РАН | САО РАН | ИА НАН РТ | ИА НАН РТ | КНУ им. Т.Шевченко | КрАО РАН | Отдел астрономии, ун-т Киото | МП АМЭИ РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Представлен анализ фотометрических и спектральных наблюдений карликовой новой типа SU UMa MASTER OT J172758.09 +380021.5. Фотометрия выполнена на шести обсерваториях (КрАО, Вихорлат, Маяки, Санглох, Терскол, Лесники) в течение 134 ночей в 2019 г. Использовались также данные ASASSN и ZTF, полученные в 2014-2020 гг.

Наблюдения охватили все стадии вспышечной активности – несколько сверхвспышек и нормальных вспышек, а также спокойное состояние между ними. Блеск объекта изменялся в диапазоне 14^m -18^m. Спектральные наблюдения были получены в САО в 2020 г., когда объект находился в спокойном состоянии. MASTER OT J172758.09 +380021.5 продемонстрировал ряд особенностей своего поведения: 1) короткий, нерегулярно изменяющийся интервал между последовательными сверхвспышками (сверхциклами) от 50 до 100 сут., что подразумевает высокий и очень нестабильный темп переноса вещества в системе; 2) сложный профиль некоторых сверхвспышек, который можно описать как «основная сверхвспышка + повторные поярчания» и медленное возвращение к довспышечному блеску – особенность, свойственная карликовым новым с предельно низким темпом переноса вещества (звёздам типа WZ Sge); 3) низкая частота нормальных вспышек внутри сверхцикла – от полного отсутствия до одной-двух вспышек.

В течение сверхвспышек в 2019 г. были зарегистрированы сверхгорбы со средним периодом 0.05829 сут., а по окончании сверхвспышек в спокойном состоянии – «поздние» сверхгорбы с близким периодом 0.05792 сут., длившиеся около 20 сут., на смену которым пришли колебания блеска с орбитальным периодом 0.057026 сут. Мы

оценили массу вторичного компонента – всего около 0.06 солнечных масс. Для такой мало-массивной звезды темп переноса вещества, согласно теории, должен быть существенно меньше, чем зарегистрирован в этой системе. Причиной аномально высокого темпа может быть тот факт, что карликовая новая MASTER OT J172758.09 +380021.5 в недавнем прошлом претерпела взрыв классической Новой и в настоящее время находится стадии пост-новой.

Результаты избранных программ спектроскопии звёзд, выполняемых на НЭС БТА

Панчук В.Е. | Клочкова В.Г. | Юшкин М.В. | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Опыт спектроскопии звёзд на 6-метровом телескопе, накопленный в течение 1978-1998, позволил выделить направления, выполнение которых на многопрограммном телескопе представлялось продуктивным. Оптимальным вариантом увеличения эффективности спектроскопии звезд на БТА является постановка обзорных программ, в сочетании с продолжительным мониторингом избранных объектов. Именно продолжительный мониторинг объектов, демонстрирующих спектральную переменность, не могут себе позволить многие из наших зарубежных коллег, работающие на больших телескопах. Соответствующие наблюдательные программы (1998-2021 гг) отражают как научные интересы авторов, так статус и состояние спектроскопической аппаратуры БТА. Наиболее эффективной оказалась программа исследования объектов, находящихся на стадии post-AGB. Расширение возможностей спектрографа НЭС позволяет обратиться к изучению объектов, находящихся на смежных эволюционных стадиях - мирид на стадии AGB, и молодых PN, граничащих со стадией PPN. Новые интересные результаты получены и по другим типам звезд высокой светимости, находящихся на различных стадиях эволюции (BSG, LBV, YHG и RSG). Стадия эволюции некоторых исследуемых объектов пока не установлена.

Спектроскопия планетарных туманностей с высоким разрешением. I. Скорости расширения, измеренные по линиям разных элементов

Панчук В.Е. | Юшкин М.В. | САО РАН | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Остатки вещества, потерянного на стадиях AGB и post-AGB, имеют массы, сравнимые с массами PN. Некоторые признаки потери вещества на стадиях AGB и post-AGB могут сохраниться и на стадии компактных PN. Наблюдаемое в линиях различных элементов и их ионов, это вещество показывает различающиеся скорости расширения и различную морфологию (по высоте щели спектрографа). Спектрограф НЭС БТА, оснащенный дополнительной решеткой скрещенной дисперсии, приемником форматом 4.6x2K и компенсатором вращения поля, позволяет регистрировать (за две экспозиции) спектр PN от границы наземного ультрафиолета, до близкого ИК–диапазона. Высокое спектральное разрешение обеспечивает высокую точность измерения скорости расширения по разрезам изображения PN. В исследованных случаях разброс по линиям одного элемента не превышает 100 м/с, это позволяет сделать новые оценки динамического возраста.

Фракционирование дейтерия в холодных плотных ядрах в маломассивной области звездообразования L1688

Петрашкевич И.В. | Пунанова А.Ф. | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В этой работе мы изучаем фракционирование дейтерия в плотных ядрах в области маломассивного звездообразования L1688. Мы исследуем, как доля дейтерия изменяется в зависимости от физических параметров и сравниваем долю дейтерия в трейсерах плотного газа ядра и его оболочки.

Для исследования мы выбрали четыре изолированных от воздействия протозвезд холодных плотных ядра в L1688. Мы выбрали азотсодержащие соединения для изучения центра плотного ядра и углеродсодержащие для изучения его оболочки. С помощью телескопа IRAM-30m были сделаны наблюдения N2H+(1-0), N2D+(1-0), H13CO+(1-0) и (2-1), DCO+(2-1) и p-NH2D(1,1) в направлении выбранных ядер. Карты p-NH3 и недостающие для двух источников карты N2H+(1-0) были взяты из литературы. Для измерения физических условий в ядрах мы использовали данные о непрерывном излучении пыли полученные на телескопе имени Гершеля, данные обзора GAS (карты NH3) и данные обзора COMPLETE (карты 13CO). Доля дейтерия в оболочках (DCO+/H13CO+), на порядок ниже (~0,05), чем доля дейтерия в центральных частях ядра (N2D+/N2H+ и NH2D/NH3, ~0,5). Доля дейтерия увеличивается с плотностью газа и уменьшается с температурой и уровнем турбулентности, что согласуется с предсказаниями химических моделей.

Работа выполнена при поддержке РНФ 19-72-00064 и FEUZ-2020-0038.

Моделирование пульсарной туманности PSR J0437-4715 как источника космических лучей

Петров А. Е. | Быков А. М. | Осипов С. М. | ФТИ им. А. Ф. Иоффе | ФТИ им. А. Ф. Иоффе | ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В докладе будут представлены результаты моделирования ускорения заряженных частиц космических лучей в туманности ближайшего пульсара PSR J0437-4715 и их распространения в местной межзвездной среде. Результаты моделирования будут сопоставлены с особенностями наблюдаемых у Земли спектров позитронов, электронов и ядер с энергиями до нескольких теравольт.

Кинематика газа в облаке L1287

Пирогов Л.Е.* | *ИПФ РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Молекулярное облако L1287 имеет форму волокна и содержит ядро повышенной плотности, связанное с формирующимся звездным скоплением. Профили молекулярных линий, индикаторов плотного газа, указывают на сжатие ядра. Сравнение наблюдаемых спектральных карт с модельными показало, что ядро может находиться в состоянии глобального сжатия. Для подтверждения этого вывода проведены новые наблюдения L1287 в линии 13CO(1-0). В докладе приводятся результаты анализа полученного из данных наблюдений пространственного распределения скоростей газа как во всем волокне (на масштабах до ~4 пк), так и в окрестности ядра, делаются оценки градиентов скоростей и обсуждаются свойства турбулентности.

Цепочка холодного образования метанола: проверка химической модели

Пунанова А. Ф. | Васюнин А. И. | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Метанол - простейший спирт, один из важнейших прекурсоров сложных органических и пребиотических молекул. В областях формирования звезд метанол образуется достаточно рано, он виден уже в газе холодных дозвездных ядер. В такой среде, при температуре ~10 K, метанол образуется в ледяных мантиях межзвездной пыли путем последовательного присоединения атомов водорода к молекуле CO, которая активно физисорбирует на пыль. На последнем шаге гидрирования энергия, выделяющаяся при протекании реакции, может быть потрачена на десорбцию вновь образовавшейся молекулы метанола с поверхности мантии. Моделирование этого процесса предсказывает, что максимум метанола в газе дозвездного ядра будет на внешней границе области активного "вымораживания" CO, где на поверхности пыли достаточно материала для образования метанола, а плотность среды достаточно высокая, чтобы метанол мало разрушался внешним ультрафиолетом, и достаточно низкая, чтобы скорость физисорбции метанола не превышала скорость его образования и десорбции. Часто распределение метанола связывают с межзвездным поглощением света, Av, своего рода эквивалентом плотности газа. В этой работе мы использовали карты излучения четырех линий метанола в направлении семи плотных ядер в области звездообразования L1495, полученные с помощью телескопа IRAM 30 m, и карты Av, построенные по данным непрерывного излучения пыли с телескопа имени Гершеля, чтобы проверить предсказания химической модели. Это первое исследование метанола, выполненное сразу в нескольких источниках одной и той же области звездообразования, с угловым разрешением, достаточно высоким, чтобы разрешить плотные ядра. Сравнение результатов модели с результатами наблюдений позволили ограничить важные свободные параметры модели. Чтобы воспроизвести наблюдаемое в холодном газе содержание метанола, необходима поверхностная диффузия атомов водорода путем туннелирования, а эффективность реактивной десорбции должна быть 0.64%, что соответствует расчетам по эмпирической формуле Миниссале, полученной в ходе лабораторных исследований, с использованием общепринятых значений энергии десорбции метанола и эффективной массы элемента поверхности.

Авторы благодарны финансовой поддержке проекта РНФ18-12-00351.

Сравнение фундаментальных параметров Ap-звезд, полученных по спектроскопии и интерферометрии

Романовская А.М. | Шуляк Д.В. | Рябчикова Т.А. | ИНАСАН | Институт исследований Солнечной системы им. Макса Планка | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В рамках совместной программы астрофизиков Франции, Германии и России по сравнительному определению фундаментальных параметров выделенной группы 13 магнитных химически-пекулярных (Ap) звезд методами спектроскопии и интерферометрии выполнен детальный спектроскопический анализ атмосфер 7 Ap звезд. программы. Ap звезды характеризуются наличием глобальных магнитных полей от 1 кГс и ярко выраженных аномалий химического состава их атмосфер. Фундаментальные параметры атмосфер Ap звезд (эффективные температуры, радиусы и светимости) определены из сравнения наблюдаемого распределения энергии с теоретическими потоками, рассчитанными с полученным индивидуальным содержанием химических элементов, чье поглощение оказывает существенное влияние на формирование выходящего потока. Также в звездах с эффективными температурами 8800-9500 K модели атмосферы рассчитывались с учетом стратификации Fe и Cr.

В атмосферах Ap-звезд наблюдается дефицит легких элементов CNO по сравнению с солнечными значениями, повышенное содержание элементов железного пика, особенно Cr, с уменьшением содержания Ni практически до солнечного значения. Типичным для Ap звезд является значительный избыток редкоземельных элементов на 3-4 dex. Однако обнаружено странное поведение Ba: в Ap-звездах наблюдается минимальный избыток этого элемента по сравнению с другими тяжелыми элементами Sr, Y, Zr, Nd, в отличие от нормальных A-звезд, где тяжелые элементы также имеют избытки, хотя и значительно меньшие, чем в Ap-звездах, и Ba имеет максимальный избыток среди всех тяжёлых элементов.

Исследованы возможные факторы, влияющие на точность определения фундаментальных параметров. На примере звезды HD 220825 показано, что поверхностная неоднородность химического состава и связанная с ней фотометрическая переменность не меняет значительно спектральное распределение энергии (SED). Диапазон изменения эффективной температуры из-за поверхностной неоднородности составляет ±100 K, что является стандартной ошибкой определения температуры A-звезд в спектроскопии. Проведено сравнение фундаментальных параметров, полученных по спектральным и интерферометрическим наблюдениям,

которое показало хорошее согласие результатов обоих независимых методов в пределах точности соответствующих измерений. Этот факт означает, что спектроскопические методы могут обеспечить надёжные фундаментальные параметры для далёких звёзд, недоступных для интерферометрии.

Исследование возможного нетеплового рентгеновского излучения звезд – аналогов gamma Cas

Рыспаева Е. Б. | Холтыгин А. Ф. | КрАО РАН | СПБГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Проанализированы рентгеновские наблюдения 12 звезд аналогов gamma Cas, выполненные на спутнике «XMM-Newton». Исследованы кривые блеска звезд и их спектры низкого и высокого разрешения. Спектры низкого разрешения аппроксимированы моделями теплового рентгеновского излучения APEC, MEKAL и PSHOCK с добавлением степенной компоненты, которая может описывать нетепловое рентгеновское излучение. Результат анализа показал, что если считать рентгеновское излучение загадочных аналогов gamma Cas полностью тепловым, то модельная температура плазмы, описывающей их излучение, могут достигать 10-20 кэВ. В то же время добавление в модельный спектр степенной компоненты уменьшает эти величины до возможных для OB звезд значений. При этом доля степенной компоненты в полном модельном потоке составляет 70-90% и превышает вклад рентгеновского излучения, описываемого тепловыми моделями, в диапазоне энергий выше 2 кэВ. Это дает основание предположить, что аналоги gamma Cas могут быть источниками нетеплового рентгеновского излучения, которое формируется в результате обратного комптоновского рассеяния ультрафиолетовых фотонов на релятивистских электронах, ускоряемых на фронте ударных волн в звездном ветре.

Рентгеновское излучение неоднородных звездных ветров OB звезд

Рыспаева Е. Б. | Холтыгин А. Ф. | КрАО РАН | СПБГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Проанализированы архивные рентгеновские наблюдения 39 O и 43 B звезд, выполненные на спутнике «XMM-Newton» с целью изучения процессов формирования рентгеновского излучения ранних звезд и проверки высказанной нами гипотезы о слабой зависимости характеристик рентгеновского излучения звезды от величины их магнитного поля. Рентгеновские спектры звезд аппроксимированы моделями излучения горячего газа APEC/MEKAL, в которых атомы ионизуются электронным ударом, и моделью PSHOCK, описывающей нестационарное высвечивание газа за фронтом плоско-параллельной ударной волны, дополнительным параметром которой является время ионизации газа за ее фронтом. Также выполнен поиск степенной составляющей модельных рентгеновских спектров OB звезд, которая может описывать возможное нетепловое излучение. Сравниваются характеристики рентгеновских спектров звезд, полученные в результате использования различных моделей, и исследованы зависимости между этими характеристиками и параметрами звезд. Результат сравнения показал, что тепловое рентгеновское излучение OB звезд может быть описано как стационарными, так и нестационарными моделями и формироваться в результате столкновения неоднородностей в звездных ветрах. У некоторых из исследуемых звезд вклад степенной составляющей значим, что свидетельствует о возможном присутствии нетеплового излучения в рентгеновских спектрах OB звезд.

Исследование волокнообразного инфракрасного темного облака G351.78-0.54

Рябухина О.Л. | Зинченко И.И. | ИНАСАН | ИПФ РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Межзвездные молекулярные облака в областях звездообразования имеют волокнистую структуру, и образование звезд происходит в наиболее плотных областях волокон. Массивные молодые звездные объекты чаще наблюдаются вблизи областей расширяющегося ионизованного водорода (HII). На сегодня нет окончательной теории образования массивных звезд, поэтому исследование физических и химических свойств волокон вблизи областей H II является наиболее актуальной темой.

В данной работе исследована общая структура волокна G351.78-0.54, его физические параметры и фрагментация. G351.78-0.54 находится на расстоянии 1 кпк в направлении на центр Галактики, в центральной части волокна есть ИК-источник IRAS 17233-3606, который изучался во многих работах. Так же в данном направлении наблюдаются истечения, вдоль волокна расположено несколько протозвездных обьектов. Были построены карты лучевой концентрации в линиях C18O и N2H+, обилия N2H+ по отношению к водороду и отношения интегральных интенсивностей линий C18O (3–2) / C18O (2–1), значение которого определяется плотностью и температурой газа. Линия C18O является трассером газа низкой плотности, а линия N2H+ показывает распределение плотного газа. Для определения обилия N2H+ была найдена лучевая концентрация молекулярного водорода H2 по данным излучения пыли Herschel в дальнем ИК-диапазоне.

Выделены плотные сгустки, определены их массы и вириальные параметры. Масса волокна на единицу длины близка к критической, однако наличие нескольких плотных сгустков свидетельствует о том, что процесс фрагментации продолжается, так же на сжатие волокна указывает ассиметрия в линии 13CO (3-2). Температуры некоторых сгустков оценены по данным CH3CCH и HNCO с использованием метода "диаграмм населенностей", согласно этим данным вращательная температура в направлении на IRAS-источник достигает значений 120+-2 и 297+- 8 K соотвественно. Крылья в линии HNCO подтверждают наличие истечений. Зарегистрировано несколько линий HNCO с энергией возбуждения верхнего уровня до ~ 800 K. В северной части волокна наблюдается разница скоростей в линиях C18O и N2H+, что указывает на относительные движения более плотного и более диффузного молекулярного газа.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 17-12-01256).

Астрохимическое исследование плотных сгустков волокна WB 673

Рябухина О.Л. | Кирсанова М.С. | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Молекулярные облака в областях звездообразования имеют форму волокон. Распределение плотности в волокнах неоднородно, а в плотных сгустках происходит образование звезд. Одна из моделей образования волокон говорит о том, что их появление происходит после многократного обжатия межзвездного газа расширяющимися оболочками: областями HII и сверхновыми. Значительная часть массивных протозвезд наблюдается вблизи областей HII, поэтому исследование волокон вблизи областей H II -- актуальная тема.

В нашей работе исследовано волокно WB 673, которое расположено в гигантском молекулярном облаке G174+2.5. В волокне есть несколько плотных сгустков (G173.57+2.43, S233–IR, WB673, WB668), в которых наблюдаются протозвезды разных масс и на разных стадиях эволюции. А именно, в центральных сгустках уже есть области HII и в них наблюдаются молекулярные истечения, а в периферийных -- нет. Все сгустки содержат мазеры воды, что является признаком активного звездообразования. Цель работы -- оценить возраст этих сгустков по методу «химических часов» и оценить темп звездообразования в них. Для определения эволюционного статуса сгустков была использована модель химической эволюции PRESTA. Модель требует знания физических параметров облака. Температура и плотность газа были получены с помощью спектров аммиака в переходах (1,1) и (2,2), полученных на 100-м телескопе Эффельсберг. Для сравнения модели с наблюдательными данными были привлечены данные о содержании молекул CO, CS, HCN, HNC, N2H+ в сгустках Проведено моделирование физической структуры и молекулярного состава областей звездообразования для широкого набора начальных температур и плотностей в молекулярных облаках. Проведен сравнительный анализ сгустков на периферии и внутренней части волокна.

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

Исследование галактических циррусов по данным обзора Stripe82 SDSS

Савченко С.С. | Мосенков А.В. | Марчук А.А. | Смирнов А.А. | Поляков Д.М. | Гончаров Г.А | Ильин В.Б. | Усачев П.А. | СПбГУ, ГАО РАН | ГАО РАН | ГАО РАН | ГАО РАН | СПбГУ | ГАО РАН | СПбГУ | СПбГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Галактические циррусы представляют собой филаментарные пылевые структуры, наблюдаемые преимущественно на высоких галактических широтах. По причине больших пространственных масштабов, для исследования циррусов лучше всего подходят данные из широкоугольных обзоров неба. В работе выполнено исследование галактических циррусов в оптическом диапазоне по данным глубокого обзора Stripe82 SDSS. Предложен полуавтоматический алгоритм для анализа данных, в основе которого лежит применение искусственных нейронных сетей. Алгоритм позволяет выделять галактические циррусы на изображениях участков неба и определять их параметры. На полученном материале нами впервые определены визуальные характеристики (оптические цвета, геометрические свойства, распределение поверхностной яркости и пр.) пылевых облаков в широком диапазоне галактических широт. Отождествление галактических циррусов по их отличительным характеристикам важно для изучения структур низкой поверхностной яркости вокруг галактик, что приобретает особую значимость в эпоху появления глубоких и сверхглубоких обзоров неба.

Вспышки и корональные выбросы массы на звездах разных классов

Садовский А.М. | Струминский А.Б. | ИКИ РАН | ИКИ РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Согласно наблюдениям, количество вспышек на разных звездах практически не меняется от карликовых до горячих звезд. Как известно из наблюдений Солнца, за вспышками могут следовать события выброса корональной массы (КВМ). Были сделаны оценки напряженности магнитного поля в трубках в фотосферах O-M звезд. Мы используем простые формулы с ясным физическим смыслом, которые дают результаты для Солнца, отличающиеся от наблюдаемых не более чем в 2-3 раза. Основная мотивация такого подхода такова: наши знания о среде звезд находятся примерно на том же уровне, что и наши знания о Солнце в 1950-х годах. Более того, такие простые модели позволяют получить полную картину процессов в системе, не зная никаких деталей звездной активности. На основе полученных значений и параметров различных объектов мы сделали оценки энергий вспышек и оценки масс КВМ, а также сделали некоторые предположения о минимальных и максимальных пределах для различных типов звезд и сравнили их с энергиями вспышек, светимостью и температурой звезд.

Статистика импульсных явлений на основе многолетних наблюдений северной небесной полусферы радиотелескопом БСА ФИАН на частоте 109-111.5 МГц с 2013 по 2021 гг.

Самодуров В.А. | Долгушев А.В. | Позаненко А.С. | Исаев Е.А. | Думский Д.В. | Торопов М.О. | ПРАО АКЦ ФИАН, НИУ ВШЭ | НИУ ВШЭ | ИКИ РАН, НИУ ВШЭ | ПРАО АКЦ ФИАН | ПРАО АКЦ ФИАН, НИУ ВШЭ | ООО \\\"ТЭК Информ\\\"

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

С 2012 года на радиотелескопе БСА ФИАН работает многолучевая диаграмма, способная ежесуточно наблюдать в нескольких десятках лучей в частотном диапазоне 109-111.5 МГц. Число частотных полос - от 6 до 32, постоянная времени от 0.1 до 0.0125 сек. С декабря 2020 число лучей БСА, оснащенных приемниками, увеличилось еще 24 луча (всего теперь 120 лучей), в результате полоса наблюдений достигла в диапазоне склонений от -8 до +52 градуса, покрывая каждые сутки около половины площади всего небосвода методом сканирования. Получаемые данные уникальны и имеют большой потенциал для мониторинга радиоисточников различных классов на низких радиочастотах. Накоплены данные для малой моды - более 9 ТБ, для большой моды - более 250 ТБ. Данная работа посвящена объемному статистическому анализу данных с упором на анализ импульсных явлений. Разработана методика обработки, согласно которой с шагом 10 секунд все малые данные с 2013 по 2021 год обработаны со снятием следующих параметров (для всех частот и лучей радиотелескопа) для каждого 10-секундного отрезка: среднее медианное, дисперсия, дисперсия данных без «тяжелых хвостов» (с отбросом крайних значений), а также максимумов и минимумов данных (с их точными положениями на оси времени). Полученные сжатые данные могут быть использованы для разнообразных методов статистического анализа. В работе представлен статистический анализ импульсных явлений с северной полусферы неба за 2013-2021 гг. С критерием выше 5 сигм найдено более миллиона импульса. Из импульсов, видимых только в 1-3 лучах радиотелескопа (то есть приходящих с одной точки неба) около 30-40% сгенерированы пульсарами, еще около 20% - по-видимому, имеют метеорную природу. Для импульсов, видимых одновременно более чем в 20-30 лучах, хорошо заметны корреляции с грозами, солнечной активностью и с техногенными помехами. Обсуждаются другие возможные применения статистического анализа сжатых данных.

Фурье-образ северной небесной полусферы на основе многолетних наблюдений радиотелескопа БСА ФИАН на частоте 109-111.5 МГц

Самодуров В.А. | Торопов М.О. | Лукин И.В. | Логвиненко С.В. | Казанцев А.Н. | Жиляков М.М. | ПРАО АКЦ ФИАН, НИУ ВШЭ | ООО ТЭК Информ | НИУ ВШЭ | ПРАО АКЦ ФИАН | ПРАО АКЦ ФИАН | НИУ ВШЭ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

С 2012 года на радиотелескопе БСА ФИАН работает многолучевая диаграмма, способная ежесуточно наблюдать в 96 лучах (в диапазоне склонений от -8 до +42 градуса) в частотном диапазоне 109-111.5 МГц. Число частотных полос - от 6 до 32, постоянная времени от 0.1 до 0.0125 сек. Радиоисточники в указанных склонениях проходят через луч радиотелескопа БСА в течение нескольких минут, которые можно считать экспозицией радиоисточника на текущую дату. Таких единичных наблюдений каждой точки неба накоплено с 2012 года более двух тысяч. В качестве научных целей при обработке этих данных можно считать мониторинг уже известных и поиск новых пульсаров, мониторинг радиоисточников, в том числе мерцающих. В качестве одного из методов для исследований можно использовать спектральный анализ данных для каждой из точек на небе (с шагом по прямому восхождению 1 минута), используя методы быстрого фурье-преобразования (с окном обработки данных в 205 секунд). В данной работе представлены результаты построения суммарных спектров мощности небесной небесной полусферы на основе многолетних наблюдений радиотелескопа БСА ФИАН на частоте 109-111.5 МГц в 2014-2019 гг в малой моде (6 частот, постоянная времени 0.1 сек). Построенные фурье спектры мощности автоматически суммировались (при этом отбрасывались около 1/3 неудачных наблюдений за все время с 2014 по 2019 гг). Для обработанных данных с шагом 1 минута по прямому восхождению в итоге построены суммарные спектры мощности, всего получен трехмерный массив данных 96x1440x1048 вещественных значений для фурье-образа более половины северной небесной полусферы. Как результат, с критерием выше 5 сигм хорошо заметны около 300 пульсаров, зачастую с несколькими частотными гармониками. На спектрах мощности в области до нескольких десятых долей герца можно также выделить несколько сотен мерцающих радиоисточников. Обсуждается применимость сформированной методики для мониторинга пульсаров и поиска новых, а также для мониторинга мерцающих радиоисточников. Обсуждаются дополнения к предложенной методике, планируется распространить ее и на большую моду наблюдений.

Новые списки обозначений переменных звезд и перспективы ОКПЗ

Самусь Н.Н. | Казаровец Е.В. | Дурлевич О.В. | Пастухова Е.Н. | Хруслов А.В. | Киреева Н.Н. | ИНАСАН | ИНАСАН | ГАИШ МГУ | ИНАСАН | ГАИШ МГУ | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Для включения переменных звезд в систему Общего каталога переменных звезд (ОКПЗ) традиционно используется механизм списков обозначений, которые регулярно публиковались в Information Bulletin on Variable Stars (IBVS), а после прекращения выпуска IBVS публикуются в электронном журнале Peremennye Zvezdy/Variable Stars. В 2020 году была опубликована третья часть 82-го списка обозначений, а также 83-й список. Характерной особенностью списков обозначений последних лет была высокая доля звезд, переводимых в ОКПЗ из каталогов звезд, заподозренных в переменности блеска благодаря полной ревизии этих каталогов, проведенной Е.В. Казаровец. Были также выпущены списки обозначений, содержащие большое число звезд из издающихся в Канаде каталогов переменных звезд в шаровых скоплениях. Содержание ОКПЗ отличается от содержания канадских каталогов, и в процессе работы над списками проводятся дополнительная выверка координат, уточнение элементов изменения блеска по архивам фотометрических данных. В докладе будут рассмотрены примеры серьезных исследований при составлении списков обозначений. Будут также рассмотрены вопросы взаимодействия ОКПЗ и составляемого Американской ассоциацией наблюдателей переменных звезд так называемого Международного регистра переменных звезд VSX и вопросы перспектив дальнейшей работы над ОКПЗ.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 20-52-53009.

Трёхмерное моделирование образования молекулярного водорода на поверхности межзвездной пылевой частицы бессеточным методом Монте-Карло

Сатонкин Н.А. | Островский А.Б. | Kalnin K. | Федосеев Г.С. | Васюнин А.И. | УрФУ | УрФУ | Ventspils University of Applied Sciences | УрФУ | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Исследование химических процессов на поверхности межзвездной пыли важно для понимания процессов формирования и обогащения молекулярного состава межзвездной среды. Простейшая и наиболее распространенная молекула H_2 образуется на поверхности частиц космической пыли из атомарного водорода, а десорбирует в газовую фазу, где участвует в различных реакциях увеличивая химическое разнообразие газовой фазы. Для полноценного понимания механизма образования молекул на частицах межзвёздной пыли необходимо иметь представление о морфологии этих частиц. Построение приближенной к реальности модели пылевой частицы и химических реакций на ней можно реализовать с помощью различных методов.

Одними из самых распространённых являются методы балансных уравнений. Они позволяют быстро рассчитать макроскопическую химическую эволюцию системы, но при этом с их помощью невозможно отследить микроскопические неоднородности. Стохастический микроскопически точный кинетический метод Монте-Карло является более медленным, но в отличии от методов балансных уравнений, позволяет отследить положения конкретных атомов и молекул на поверхности пылинок. Существуют две основные вариации этого метода, сеточный и бессеточный. Сеточный предполагает разбиение поверхности пылинки на одинаковые области, а в случае бессеточного подхода рассчитывается сплошное потенциальное поле, в котором перемещаются частицы.

В данной работе с использованием бессеточного метода Монте-Карло моделируется эволюция пылевой частицы и исследуется эффективность рекомбинации молекулярного водорода при различных температурах пыли. Используется заранее сгенерированное углеродное ядро, на которое аккрецируются атомы водорода. В модели реализованы процессы аккреции, десорбции и миграции атомов водорода по поверхности. Потенциал поверхности непрерывен и представляет собой суммарный

потенциал всех атомов системы. Молекула водорода образуется при сталкивании двух атомов водорода на поверхности частицы и мгновенно десорбирует в газ.

Получены кривые образования молекулярного водорода из атомарного. Замечено, что глубокие потенциальные ямы эффективно заполняются атомами водорода. Обнаружено, что образование водорода протекает эффективно уже при 20K за счёт наличия глубоких потенциальных ям на поверхности, что выше, чем в моделях основанных на методе балансных уравнений. Полученные результаты могут быть использованы для объяснения образования молекулярного водорода в регионах звёздообразования с повышенными температурами, такими как диффузные облака и протопланетные диски.

Работа выполнена при поддержке гранта lzp-2018/1-0170.

Болометрические кривые блеска и параметры взрыва сверхъярких сверхновых

Семенихин Т. А. | Корнилов М. В. | Пружинская М. В. | МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Цель работы состоит в получении болометрических кривых блеска сверхъярких сверхновых, используя данные Открытого каталога сверхновых звезд и векторные Гауссовы процессы. С помощью теоретического и аналитического моделирования из полученных болометрических кривых блеска будут извлечены параметры взрыва сверхновых, такие как энергия взрыва и масса образовавшихся радиоактивных элементов.

Разрушение пыли на больших галактических высотах

Сивкова Е.Э. | Вибе Д.З. | ИНАСАН | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Космическая пыль является одним из основных компонентов межзвездной среды как в нашей, так и в других галактиках. Наблюдения указывают на то, что пыль также является типичным компонентом гало дисковых галактик и, по всей видимости, выметание пыли из диска происходит в большинстве дисковых галактик.

Разработана динамическая модель выметания пылевых частиц из Галактики давлением излучения звезд. Ранее было показано, что наиболее эффективно из Галактики выметаются углистые пылинки средних размеров, а потеря массы в виде пыли за счет описываемого механизма составляет значительную величину, влияющую на химическую эволюцию галактических дисков. Поскольку механизм выметания пыли давлением излучения звезд является общим для дисковых галактик, он может объяснить существование пыли в окологалактических пространствах, а также существование межгалактической пыли.

Проведенные расчеты показывают, что под действием давления излучения звезд Галактики пыль может двигаться с высокой скоростью, причем пылинки различных размеров и химического состава приобретают различные скорости, как по величине, так и по направлению. В контексте данной работы рассматриваются углистые и силикатные пылевые частицы. Пылинки различных видов движутся друг относительно друга и испытывают высокоскоростные столкновения, в результате чего могут полностью или частично разрушаться.

Рассматривается возможность дробления углистых и силикатных пылевых частиц, выметаемых давлением излучения звезд в окологалактическое пространство вследствие относительного движения пылинок различных размеров. Расширена ранее разработанная модель движения пыли в Галактике под действием сил давления излучения, гравитации и сопротивления газа с учетом процессов разрушения. Рассматривается возможность выметания пыли с учетом ее столкновений с газом Галактики и с другими пылевыми частицами. Уточняется диапазон размеров пылевых частиц, которые могут попадать в межгалактическое пространство за счет описываемого механизма.

Исследование молекулярного и атомарного газа в областях звездообразования галактик: NGC 5194, NGC 5457, NGC 628 и NGC 6946

Смирнова К. И. | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В данной работе мы используем наблюдения эмиссии CO и HI в комплексах звездообразования (КЗО) в галактиках NGC 5457, NGC 5194, NGC 628 и NGC 6946, чтобы найти возможные корреляции между потоками CO, а так же разбросом скоростей в этих линиях.

В итоге мы обнаружили, что КЗО во всех наших галактиках можно разделить на две группы. В первой группе светимость CO увеличивается с увеличением светимости HI. Во второй группе поток CO растет медленнее с увеличением светимости HI. Эти две группы различаются по своему пространственному распределению: КЗО из первой группы в основном расположены в центре галактики, а КЗО из второй группы в основном расположены во внешней галактике. Это разделение более очевидно в NGC 5194, менее очевидно в NGC 5457 и NGC 628 и отсутствует в NGC 6946. Последняя галактика, очевидно, содержит только КЗО первого типа.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ по госзаданию FEUZ-2020-0038.

Изучение обновленной схемы формирования метанола на поверхности пылевых частиц

Соколова В. А. | Федосеев Г. С. | Васюнин А. И. | УрФУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Одной из наиболее важных характеристик объектов межзвездной среды (МЗС) является их молекулярный состав. Он может быть разнообразным и включает в себя как простые, так и сложные многоатомные молекулы. На данный момент в МЗС обнаружено более двухсот молекул, среди них особый интерес вызывает обнаружения около 50 сложных органических молекул (СОМ). В контексте астрофизических наблюдений СОМ определяются как молекулы содержащие не менее 6 атомов, среди которых есть углерод. Изучение СОМ представляет интерес по многим причинам, в частности, в связи с их возможной ролью в зарождении жизни во Вселенной. Метанол (CH3OH) широко наблюдается в межзвездной среде, и является прекурсором многих более сложных органических и пребиотических соединений. В холодных областях звездообразования метанол образуется на поверхности пылевых частиц при температурах 10-20 K посредством гидрогенировании молекул CO, вымораживающихся из газа. Хотя лабораторные исследования гидрогенирования моноксида углерода в условиях приближенных к МЗС выполняются уже около двадцати лет, не все детали этого процесса изучены полностью. В работах [Minissale et. al, A&A, 2016, Chuang et al., ApJ, 2018], описывающих эксперименты с гидрированием молекулы CO, было показано, что на каждом шаге цепочки реакций гидрирования CO -> HCO -> H2CO -> CH3O/CH2OH -> CH3OH обратные реакции, ведущие к абстракции молекулы H2 (вида HnCO+H -> H(n-1)CO+H2, n>0), могут играть значительную роль. Эти обратные реакции отсутствуют в большинстве астрохимических моделей, а также плохо известны их скорости и доля продуктов, десорбирующих за счет реактивной десорбции. В представленной работе, при помощи численной модели, основанной на макроскопическом методе Монте-Карло (Vasyunin&Herbst, ApJ, 2013), исследуется влияние реакций абстракции атомов водорода на химическую эволюцию метанола и химических соединений, участвующих в его формировании. Посредством сравнения содержаний HCO, H2CO, CH3O и CH3OH в модели с данными наблюдений получены константы скорости реакций абстракции и эффективности реакционной десорбции на каждом шаге последовательности гидрогенирования молекулы CO на поверхности межзвездных пылевых частиц, удовлетворяющие данным астрономических наблюдений и лабораторных экспериментов. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Определение фундаментальных параметров LBV звезды в галактике NGC 4449

Соловьева Ю. Н. | Винокуров А. С. | Саркисян А. Н. | Костенков А. Е. | Атапин К. Е. | САО РАН | САО РАН | САО РАН | САО РАН | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мы представляем исследование массивной звезды в галактике NGC 4449, которая нами классифицирована как яркая голубая переменная (LBV). Фотометрический мониторинг выявил заметные изменения ее блеска, достигающие наибольшего значения в полосе I (0.69+-0.13 mag). Звезда демонстрирует заметную переменность профилей линий ионизованного железа и водорода. Аппроксимация спектральных распределений энергии звезды в двух состояниях моделью черного тела дает оценки эффективной температуры T=7600 K и T=13500 K соответственно, однако, в холодном состоянии имеются значительные отклонения от чернотельного спектра. Применение не-ЛТР кода CMFGEN позволило получить более точные значения температуры в холодном состоянии T=9300 K, а также оценить темп истечения вещества 5.2e-3 масс Солнца в год. Болометрическая светимость звезды составляет около 2.6 млн светимостей Солнца.

EZ Lyn: быстрое остывание белого карлика после вспышки 2010 года

Сосновский А.А. | Павленко Е.П. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

В настоящее время известно около полутора десятка карликовых новых, включающих в себя пульсирующие белые карлики . Время от времени из-за вспышечных процессов их температура увеличивается, затем белый карлик остывает. В отличие от одиночных пульсирующих белых карликов, остывающих в течение тысячелетий, пульсирующие аккрецирующие белые карлики остывают на временной шкале месяцы-годы. Полоса нестабильности для них пока ещё плохо определена из-за недостатка данных, она примерно соответствует 10500-16000 K. EZ Lyn дважды входила в полосу нестабильности с различными пульсациями: с доминирующем пульсацией 25.2 мин., после вспышки 2006 г. и с пульсацией 4.27 мин. после вспышки 2010 г. В данной работе мы представляем исследование пульсаций белого карлика EZ Lyn с 2017 г. по 2021 г. Было выявлено, что доминирующая пульсация постепенно смещалась в сторону более длинных периодов, однако, не постепенно, а «скачками». Интересно, что в 2017 г., т.е., через 7 лет после вспышки, пульсация вернулась «на старое место» - 25.2 мин., как было после вспышки 2006 г. и продолжает держаться на этом периоде уже четыре года. Используя известное эмпирическое соотношение между периодом пульсаций и температурой белого карлика, можно сделать вывод, что за 10 лет после вспышки 2010 г. остывающий белый карлик прошёл большую часть полосы нестабильности, однако его остывание происходит неравномерно.

Эволюция углового момента коллапсирующих протозвездных облаков с магнитным полем

Султанов И.М. | ЧелГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Исследуется эволюция углового момента коллапсирующих магнитных вращающихся протозвездных облаков на изотермической стадии коллапса. Рассматриваются облака различной массы с начальными тепловой, вращательной и магнитной энергиями в широком диапазоне. Система уравнений идеальной магнитной газодинамики (МГД), описывающая коллапс протозвездных облаков, решается численно с помощью схемы Лакса-Вендроффа в полуторамерном приближении, следуя Дудорову и Сазонову [1].

На основе расчетов определяется зависимость полного углового момента облака в конце изотермической стадии коллапса от начальной магнитной энергии. Анализируются радиальные профили удельного углового момента и эффективность магнитного торможения вращения облака. Проводится сравнение с результатами двумерных МГД-расчетов коллапса и имеющимися наблюдательными данными о вращении протозвездных облаков.

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

[1] Дудоров, А.Е. Гидродинамика коллапса межзвёздных облаков. 1 Численный метод расчёта / А.Е. Дудоров, Ю.В. Сазонов // Научные информации. – 1981. – №. 49. – С. 116-123.

Физические характеристики B звезд в молодых рассеянных звездных скоплениях IC 1805 и NGC 581

Тарасов А.Е. | КрАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

По спектрам умеренного разрешения в области 4200 - 5200 А получены физические параметры B звезд в молодых рассеянных звездных скоплениях IC 1805 и NGC 581. Использование дифференциального метода, основанного на точном определении температур по неЛТР моделям стандартных звезд, с высокой точностью определены температуры исследуемых B звезд. Показано, что скопление IC 1805 находится в процессе своего формирования и имеет возраст не более 3 млн. лет. Исследована нестационарность единственной Be звезды скопления, которая не может быть отнесена к группе классических. Обнаружена короткопериодическая двойная система, состоящая из двух B звезд спектральных типов B0 и B1. Опледеление температур B звезд скопления NGC 581 позволили установить его возраст 22 +/- 1 млн. лет. Исследована долговременная переменностьчетырех Be звезд, членов данного скопления. Показано, что все они являются классическими Be звездами.

Исследование радиоизлучения новых пущинских пульсаров

Теплых Д.А. | Малофеев В.М. | Тюльбашев С.А. | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

С 2014 года в ПРАО реализована программа поиска пульсаров на модернизированном радиотелескопе БСА ФИАН, которая позволила открыть уже более 60 новых пульсаров и RRATs (Rotating Radio Transients) (Тюльбашев и др., 2015a,b, 2016, 2017, 2020, Tyul’bashev et al., 2018]. Пущинская программа поиска пульсаров основана на ежедневном круглосуточном мониторинге большого участка неба (-9◦< δ <42◦) и, кроме поиска слабых близких источников, такой подход, как и предполагалось в работе [Тюльбашев, 2016], будет чувствителен к объектам с переменным излучением как на коротких временных масштабах: миллисекунды-минуты, так и длинных: несколько суток-годы. Детальное исследование радиоизлучения достаточно сильных новых источников выявило ряд особенностей в их излучении – это явление нуллинга, вспышечная активность и дрейф субимпульсов. В данной работе мы представляем наблюдения и краткие исследования вышеперечисленных особенностей радиоизлучения у нескольких новых пущинских пульсаров.

Тюльбашев С.А., Тюльбашев В.С. АЦ №1624, 1 (2015)

Тюльбашев С.А., Тюльбашев В.С. АЦ №1625, 1 (2015)

Тюльбашев С. А., Тюльбашев В. С., Орешко В. В., С. В. Логвиненко, АЖ, 93(2), 177(2016)

Тюльбашев С.А., Тюльбашев В.С., Китаева М.А. и др., АЖ, 94(10), 837(2017)

Tyul'bashev, S. A., Tyul'bashev, V. S., & Malofeev, V. M. 2018, A&A, 618, 5 (2018)

Тюльбашев С.А., Китаева М.А., Тюльбашев В.С., и др., АЖ 97 (6), 505 (2020)

Наблюдения гамма пульсара J1836 + 5925 на частоте 111 МГц

Тимиркеева М.А | Малов И.Ф. | Малофеев В.М. | Малов О.И. | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Яркий источник гамма-излучения J1836 + 5925 (также известный как GRO J1837 + 59, 2EG J1835 + 5919, 3EG J1835 + 5918 и GEV J18351 + 5921) вызывает значительный интерес с момента его открытия EGRET на борту космического корабля NASA CGRO (Lin et al. (1994), а затем Nolan et al. (1994)). Этот источник много лет не был идентифицирован ни с одним объектом на других частотах (Halpern et al. (2002, 2007)). В 2014 г. Pavlov (2014) и Arumugasamy et al. (2014) обнаружили от него рентгеновское излучение. В каталоге ATNF (Manchester et al. 2005) J1836 + 5925 указан как изолированная нейтронная звезда с периодом 173 мсек (Abdo et al. (2009)).
Были предприняты попытки детектировать радио излучение на более высоких частотах (Halpern et al. (2002), Halpern et al. (2007), Abdo et al. (2010).

В работе описаны радионаблюдения гамма-пульсара J1836 + 5925. Наблюдения проводились в Пущинской радиоастрономической обсерватории на частоте 111 МГц с использованием телескопа БСА, одного из самых чувствительных инструментов метрового диапазона в мире.

Быстропеременные объекты: радиовсплески, магнетары, пульсары на РАТАН-600

Трушкин С.А. | Цыбулев П.Г. | Нижельский Н.А. | Бурсов Н.Н. | Шевченко А.В. | САО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

РАТАН-600 может проводить исследования импульсного излучения событий, связанных с быстрыми радиовсплесками (БРВ), гигантскими импульсами (ГИ) пульсаров и вспышечной активностью магнетаров на высоких частотах даже при отсутствии длительного слежения. В последние годы телескоп оснащен радиометрами полной мощности с максимально высоким временным разрешением и делением полосы на частоте 4.7 ГГц на четыре узких канала (150 МГц), что позволяет детектировать смещение импульсов за счет космической дисперсии. Главной целью стал поиск БВР в обзоре полосы на небе на Западном секторе РАТАН-600. Такой поиск ведется больше четырех лет на четырех радиометрах (лучах) с делением полосы в каждом. Мы может твердо утверждать, что в 24-часовых сечениях неба на склонениях 33, 22, 5 и 11 градусов не обнаружены БРВ с потоком больше 5 Ян. Однако в сечении через Крабовидную туманность нам удалось зарегистрировать семь ГИ от 33-миллисекундного пульсара. Как и положены импульсы были смещены за счет DM=57 пк/см^3. Максимальный импульс имел поток выше 100 Ян. Измерения отдельных радиоимпульсов от рентгеновского магнетара XTE J1810-197 проводились с 19.12.2018, когда спустя почти десять лет отсутствия импульсного излучения 8 декабря 2019 года произошла яркая рентгеновская вспышка и появились слабые радиоимпульсы с периодом вращения пульсара 5.54 секунды. Были обнаружены яркие импульсы на частотах 2.3-11.2 ГГц. Позже мы применили режим накопления излучения магнетара в течение 130 секунд (режим «скольжения»). Свойства 25 последовательных импульсов кардинально менялись по яркости и по микроструктуре. С помощью четырех-канального радиометра на 4.7 ГГц из программы поиска БРВ мы обнаружили субструктуру пульсаций. По временам прихода импульсов в узких каналах мы подтвердили измеренную десять лет назад меру дисперсии DM=178 пк/см ^3. Сами импульсы при полной длительности около 200 мс включали до 15 субимпульсов шириной от 10 до 50 мс с плотностью потока до 5 Ян. В течение трех месяцев XTEJ1809-197 оставался самым ярким радиопульсаром в Млечном пути, но при угасания рентгеновского излучения, в мае 2019 года импульсы уже не детектировались.

Распределение энергии импульсов нескольких вращающихся транзиентов

Тюльбашев С.А. | Смирнова Т.В. | Брылякова Е.А. | Китаева М.А. | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Проведено исследование и анализ индивидуальных импульсов четырех вращающихся радиотранзиентов. Данные были взяты из круглосуточных ежедневных наблюдений, проведенных на антенне БСА ФИАН на частоте 111МГц. В полученных на интервале 5.5 лет данных было обнаружено 90, 389, 206 и 157 импульсов соответственно у J0640+07, J1005+30, J1132+25 и J1336+33.

Детектированные импульсы у всех исследованных RRAT появляются не регулярно. Минимальный период полного радиомолчания, когда не регистрировалось ни одного импульса наблюдался у источника J1005+30 и продолжался 31 день. Максимальный период радиомолчания был у источника J1132+25 и продолжался 265 дней. Подобное поведение, когда периоды долгого радиомолчания чередуются периодами сильной активности характерно для вспыхивающих пульсаров.

Построены зависимости наблюдаемого количества импульсов от амплитуды этих импульсов в единицах сигнал/шум. Для J0640+07 и J1132+25 распределение описывается одним показателем степени на всем интервале показателей сигнал/шум, а для J1005+30 и J1336+33 оно является логнормальным со степенным хвостом. Проведенный в работе анализ показывает, что все исследованные радиотранзиенты могут являться, по-видимому, пульсарами с гигантскими импульсами.

Динамика магнитных силовых трубок в аккреционных дисках Ae/Be звезд Хербига

Хайбрахманов С.А. | Дудоров А.Е. | ЧелГУ, УрФУ | ЧелГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Моделируется динамика магнитных силовых трубок (МСТ) в аккреционных дисках Ae/Be звезд Хербига с остаточным крупномасштабным магнитным полем. Считается, что МСТ образуются в областях эффективной генерации тороидального магнитного поля за счет неустойчивости Паркера. Структура диска рассчитывается с помощью магнитогазодинамической модели Дудорова и Хайбрахманова [1,2], уравнения которой дополнены для учета влияния интенсивного излучения молодой звезды на тепловую структуру поверхностных слоев диска. В модели динамики МСТ учитывается сила плавучести, турбулентное и аэродинамическое сопротивление, лучистый теплообмен с окружающим газом, внешнее магнитное поле [3]. Расчеты проводятся для различных начальных координат, радиуса и интенсивности магнитного поля МСТ.

Расчеты показывают, что МСТ периодически всплывают из диска и формируют истекающую замагниченную корону. МСТ могут совершать тепловые колебания, вызванные адиабатичностью, и магнитные колебания под действием внешнего магнитного поля вблизип оверхности диска. Результаты применяются для интерпретации наблюдений инфракрасной переменности молодых звезд с аккреционными дисками.

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

1. Дудоров, Хайбрахманов, 2013, Вестник Челяб. гос. ун-та, №. 9 (300), 27
2. Dudorov, Khaibrakhmanov, 2014, Ap&SS, 352(1), 103
3. Dudorov, Khaibrakhmanov, Sobolev, 2019, 487(4), 5388

Быстрая и сверхбыстрая переменность профилей линий в спектрах звезд ранних спектральных классов

Холтыгин А.Ф.* | *СПбГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Представлены новые результаты исследования переменности профилей линий в спектрах ярких OBA звезд на минутных и секундных шкалах времени. Наблюдения были выполнены в 2015-2021 гг. на 6-м телескопе БТА со спектрографами SCORPIO и ОЗСП, на 1.25-м телескопе Крымской станции ГАИШ МГУ и на 1-м телескопе САО со спектрографом UAGS. Первичная редукция ПЗС-изображений спектров выполнена в средах Midas и IRAF. Получено ~10000 спектров 22 OBA звезд. В спектрах программных звезд были обнаружены регулярные вариации профилей линий H, HeI, FeII, NII, OII, SiII с периодами от 1 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 квази-регулярные компоненты вариаций профилей линий в спектрах HD 93521 (O9.5IIInn), r Leo (B1Iab), a^2 CVn (A0VpSiEu) и g UMi 137422 (A2III) и g Cas (B0.5IVpe) с временами жизни 20-100 минут. Периоды таких компонент могут изменяться за время жизни на 10-20%. Кроме регулярных компонентов вариаций профилей в спектрах звезд зарегистрированы нерегулярные вариации на секундных шкалах времени. Такие стохастические вариации могут быть результатом оптического послесвечения микро-вспышек, связанных с локальными магнитными полями на этих звездах.

Параметры SS433 по наблюдениям на Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ

Черепащук А.М. | Додин А.В. | Постнов К.А. | Белинский А.А. | Иконникова М.П. | Бурлак М.А. | Ирсмамбетова Т.Р. | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

По спектральным и фотометрическим наблюдениям системы SS433 выполнено на КГО ГАИШ МГУ (2017 – 2021 гг.). Оценены параметры этой массивной рентгеновской двойной системы, находящейся на продвинутой стадии эволюции.

Параметры системы ScoX-1

Черепащук А.М. | Хрузина Т.С. | Богомазов А.И. | ГАИШ МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Рентгеновская двойная система ScoX-1 – это первый открытый рентгеновский источник, расположенный за пределами Солнечной системы. Выполнена интерпретация оптических наблюдений системы ScoX-1, полученные с борта орбитальной обсерватории Кеплер во время миссии K2. Использовался метод синтеза кривых блеска в рамках модели с сильным рентгеновским прогревом. Получены оценки отношения масс компонент $Q=m_x/m_v=3.6\pm0.1$ (здесь m_x – масса нейтронной звезды, m_v – масса оптической звезды). И наклонение орбиты $i=30°\pm8°$. Определен эволюционный статус этой маломассивной рентгеновской двойной системы.

Определение закона распределения двойных звёзд по массам и разделению компонентов

Чулков Д.А. | ИНАСАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Масса звезды является ключевым параметром, определяющим её эволюцию и наблюдаемые характеристики. Частота встречаемости звёзд разных масс, или начальная функция масс (НФМ), является результатом процесса звездообразования и играет фундаментально важную роль в астрономии. Общее представление о форме НФМ существует с середины XX века, но проблема определения НФМ для двойных и кратных звёзд, составляющих примерно половину населения галактики, остаётся открытой, предложенные в литературе оценки зачастую противоречивы и сопряжены с большими неопределённостями.

В настоящей работе после тщательного изучения эффектов селекции проведено моделирование наблюдаемого ансамбля визуальных двойных звёзд и получены ограничения для НФМ двойных звёзд. Показано, что массы компонентов широких (~ 10^2 — $2{\cdot}10^3$ а.е.) двойных существенно коррелируют, в частности, подтверждён избыток двойных с идентичными компонентами, так называемых звёзд-близнецов. Общая масса двойной звезды и масса главного компонента подчиняются степенному закону с показателем степени -2.8 ± 0.2. Распределение звёзд по проекции линейного расстояния s убывает как $f(s) \sim s^{-1.2}$, что является индикатором разрушения широких двойных звёзд на этапе их формирования.

Pairing function of visual binary stars. MNRAS, Vol. 501, Issue. 1, pp.769-783.

https://arxiv.org/abs/2011.07426

Работа частично поддержана грантом РФФИ 19-07-01198.

Сверхкомпактные мазеры H2O в области звездообразования W49N

Шахворостова Н.Н. | Moran J. | Алакоз А.В. | Imai H. | Соболев А.М. | Литовченко И.Д. | АКЦ ФИАН | Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics | АКЦ ФИАН | Center for General Education, Kagoshima University | УрФУ | АКЦ ФИАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Мазеры водяного пара являются важным инструментом для изучения областей звездообразования в Галактике. Благодаря компактной структуре и высокой яркости мазеры H2O видны с больших расстояний как в нашей Галактике, так и в других галактиках. Для исследования структуры мазерных пятен необходимо высокое угловое разрешение. Линейные размеры галактических мазеров H2O составляют примерно 1−100 а.е., и, следовательно, они часто не разрешаются при наблюдениях с угловым разрешением в тысячную долю угловой секунды. Космический интерферометр РадиоАстрон обеспечил высочайшее угловое разрешение до 7 μas, что позволило оценить размеры наиболее компактных структур в областях звездообразования.

Наблюдения области звездообразования W49N на частоте 22 ГГц в линиях водяного пара на РадиоАстроне состоялись в 2014-2015 гг. Всего было проведено 5 сеансов наблюдений. Область W49N находится на расстоянии около 11 кпк в плоскости Галактики. Интерференционные лепестки на космических базах были обнаружены с угловым разрешением, равным 23 μas, что соответствует базе интерферометра в 9.6 диаметра Земли. Функция видности была измерена в диапазоне баз от 100 до 5000 Mλ для нескольких мазерных деталей. Распределение яркости мазерного пятна по небу, полученное по наземным данным на базах менее 1000 Mλ, хорошо описывается двумерной гауссианой с параметрами: амплитуда функции видности V(0)=0.95, большая ось 240 μas, малая ось 180 μas и позиционный угол 100 градусов. Предполагается, что такая структура представляет собой ядро рассеяния вследствие турбулентности в межзвездной среде. Это первое измерение анизотропии рассеяния в мазере H2O. На очень больших космических базах функция видности имеет форму плато и остается примерно постоянной на уровне около 0.005 для баз от 1500 до 5000 Mλ. Это явление, вероятно, связано с рефракционным рассеянием. Это первое обнаружение рефракционного рассеяния в мазере водяного пара.

Было также проанализировано распределение сотен пространственных компонентов мазера W49N с помощью метода частоты интерференции. Сравнение полученной карты мазерных пятен с предыдущими работами показало, что основные мазерные кластеры остались прежними, однако присутствуют небольшие временные структурные различия.

Наблюдения метанольных мазеров I класса в темных инфракрасных облаках на 20-метровом радиотелескопе в Онсале

Шахворостова Н.Н. | Алакоз А.В. | Баяндина О.С. | Вальтц И.Е. | Олофссон А.О.Х. | АКЦ ФИАН | АКЦ ФИАН | Joint Institute for VLBI ERIC | АКЦ ФИАН | Onsala Space Observatory

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Астрономические мазеры часто служат средством для исследования различных структур межзвездной среды. С этой целью, в частности, проводятся обзоры мазеров различных молекул в направлении объектов различного типа, в основном в направлении областей звездообразования. Метанольные мазеры I класса (cIMM) на частоте 44 ГГц, самые яркие из метанольных мазеров миллиметрового диапазона в межзвездной среде, считаются индикаторами ударных волн в межзвездном газе и часто ассоциируются с биполярными потоками около формирующихся массивных протозвезд. Целью данного исследования являлся поиск cIMM в молекулярных ядрах в инфракрасных темных облаках (IRDC) на самой ранней стадии звездообразования и получение статистики обнаружения cIMM в ядрах различных типов ("активные", "промежуточные" или "тихие", в соответствии с классификацией в среднем инфракрасном диапазоне (Chambers et al. 2009, ApJS, 181, 360)).

Выборка из 42 молекулярных ядер наблюдалась на 20-метровом радиотелескопе в Онсале (Швеция) в линии метанола I класса 7_0−6_1 A+ на частоте 44 ГГц. В выборке присутствуют ядра на ранних стадиях звездообразования, но в разном состоянии активности: от спокойного состояния без каких-либо признаков ИК излучения до состояния с выраженной инфракрасной активностью. Излучение метанола обнаружено в 29 из 42 источников (69%). Как "активные", так и "промежуточные" молекулярные ядра в нашей выборке содержат cIMM с одинаковой вероятностью. Во всех достаточно "тихих" ядрах мазеры cIMM обнаруживаются с наименьшей вероятностью в наших наблюдениях. Наши результаты подтверждают, что cIMM с большей вероятностью обнаруживаются в областях с признаками более активного текущего процесса звездообразования, в которых присутствует как средневолновое ИК излучение, так и, вероятно, молекулярные потоки и фронт ударных волн.

Проверка возможности определения орбит звезд, вращающихся вокруг центра Галактики и оценка некоторых релятивистских эффектов

Шахт Н.А. | Горшанов Д.Л. | Измайлов И.С. | ГАО РАН

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Рассмотрены результаты наблюдений звезд, вращающихся вокруг центрального тела нашей Галактики, имеющего по последним данным массу около $4.15´10^6$ $M_{\odot}$.

Ранее (АЖ, 2007) мы, по предложению Ю.Н.Гнедина, используя разработанные в Пулкове методы определения орбит двойных звезд, проверили возможность определения орбит звезд, вращающихся близко к центру нашей Галактики (Киселев, Гнедин, Рощина и др., 2007). Использовались высокоточные наблюдения на телескопах Keck и VLT. В качестве примера была исследована звезда S02, у которой в то время был наиболее короткий период обращения – 16 лет. Сейчас появилось много информации о движении еще более близких звезд, т.н. “сквизаров” (squeezars) с еще более короткими периодами. Представляло интерес определение орбиты независимым образом для некоторых звезд, имеющих точные относительные положения “звезда – центральное тело”, но неоднозначные результаты, полученные на разных телескопах (Keck и VLT). Мы выбрали звезду S102, у которой, согласно литературным данным, имеются расхождения в параметрах орбиты. Нами определена орбита по объединенному ряду Keck и VLT. Также мы перевычислили орбиту звезды S02, используя относительно короткую дугу из наблюдений на VLT. Ошибка O – C оказалась равной 0".0037.

Дополнительно по полученным нами элементам орбиты S102, а также S02, произведена проверка возможности оценки некоторых релятивистских параметров. Приводятся значения величин, характеризующих расстояние от центра до периастра– r_p, скорость в периастре – *Vp,* релятивистское красное смещение – *Z*gr*C* и прецессию Шварцшильда – d*w*.

Сделан вывод о возможности применения пулковских методов – ПВД и геометрического метода Киселева – для получения предварительных орбит S-звезд скопления Sgr A* в согласии с точностью представленных их относительных координат.

Исследование V3101 Cyg – звезды типа WZ Sge

Шугаров С.Ю. | Катышева Н.А. | Кирсанкина А.П. | ГАИШ МГУ , институт астрономии Словацкой академии наук | ГАИШ МГУ | МГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Вспышка звезды V3101 Cyg произошла в 2019 году, система была классифицирована как катаклизмическая переменная типа WZ Sge. Были проведены наблюдения в полосах UBVRcIcC во время вспышки и в спокойном состоянии блеска. Проанализировано поведение кривых блеска и показателей цвета от времени, интерпретированы треки на различных двухцветных диаграммах.

Показано, что у V3101 Cyg произошло пять повторных поярчаний (ребрайтенинги) после сверхвспышки. Ранее (Tampo et al., 2020) было высказано предположение, что 3й и 5й ребрайтенинги схожи по свойствам со сверхвспышками звезд типа WZ Sge. Наиболее детально нами была изучена эволюция структуры сверхгорбов во время 3-го поярчания. Определена скорость изменения периода сверхгорбов, так называемый Pdot = $\dot{P}/P$. Также были изучены и интерпретированы сверхгорбы и иная оптическая переменность как в начале супервспышки, так и на спаде кривой блеска и в состоянии покоя. Отметим, что в этом состоянии по фотометрическим данным впервые была найдена двойная волна за период, величина которого совпала с орбитальным, определенной ранее Неустроевым и др. (2019) по кривой лучевых скоростей.

Затмения звёзд типа UX Ori крупномасштабными возмущениями диска

Шульман С.Г. | Гринин В.П. | СПбГУ | ГАО РАН, СПбГУ

Секция: Звёзды и межзвёздная среда

Рассматриваются затмения звезд типа UX Ori компактными газопылевыми облаками и крупномасштабными возмущениями околозвёздных дисков. Проводится сравнение моделей затмений. Изучается влияние формы возмущения диска на глубину затмения и параметры линейной поляризации. В работе рассмотрены две модели околозвёздного диска: flared диск и диск с утолщением в зоне сублимации пыли. При рассмотрении диска с утолщением в зоне сублимации пыли оказываются возможны затмения без существенного изменения степени поляризации, различная ориентация плоскости поляризации системы в разных спектральных полосах и затмения звезды без её покраснения. Такие особенности наблюдались во время некоторых затмений. Показано, что затмение крупномасштабным возмущением может быть значительно глубже, чем затмение компактным облаком. В таком случае у системы также будет наблюдаться более высокая степень линейной поляризации. Получено, что позиционный угол поляризации может существенно измениться как во время затмения крупномасштабным возмущением диска с утолщением на внутренней границе, так и после прохождения минимума блеска. Такие изменения действительно наблюдаются у звезд типа UX Ori.

Всероссийская астрономическая конференция

Планеты и планетные системы

2021

Поиск метана в атмосфере Марса и другие чувствительные измерения TGO ExoMars

Трохимовский А.Ю. | Кораблев О.И. | Федорова А.А. | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Метан в атмосфере Марса привлекает большое внимание как потенциальный биогенный или вулканический газ. Первые положительные результаты, полученные в 2003 г. (Formisano et al. 2004; Krasnopolsky et al. 2004), показали ~ 10 частей на миллиард метана по спектрам PFS / MEx и наземным спектрам. В 2009 Mumma et al. сообщили о шлейфе метана 0–45 частей на миллиард. Последующие наблюдения показали обнаружение 3 и 25 частей на миллиард и верхний предел ~ 8 частей на миллиард (Krasnopolsky 2012; Villanueva et al. 2013).

Прибор TLS / SAM на борту марсохода Curiosity измеряет образцы атмосферы с 2011 года. В начале миссии метана зарегистрировано не было (≤1,3 ppbv), а затем последовали положительные всплески (Webster et al. 2013, 2015). Более чувствительные измерения (с обогащением) установили сезонно изменяющийся фон метана на уровне 0,2–0,6 ppbv (Webster et al. 2018). Наибольшее значение 19 ppbv, измеренное TLS в кратере Гейла, сообщается в Moores et al. (2019). Один из всплесков был подтвержден PFS / MEx (Giuranna et al., 2019).

Измерения в режиме солнечных затмений российским прибором ACS на борту космического аппарата ExoMars TGO позволили провести чувствительный мониторинг полосы метана 3,3 мкм с орбиты. Однако на высотах от 3 до 20 км метан не обнаружен. Был установлен верхний предел концентрации в 0,05–0,06 ppbv для первого года научной миссии TGO (Korablev et al. 2019). Недавняя обработка данных ACS (Montmessin et al. 2021) снижает верхний предел до 0,02 частей на миллиард.

Между тем, в спектральном диапазоне полос поглощения метана ACS может различать тонкие спектральные линии, такие как слабая и ранее неизвестная полоса магнитного диполя CO2 (Trokhimovskiy et al. 2020), и слабая инфракрасная сигнатура озона, никогда ранее не наблюдавшаяся на Марсе (Olsen et al., 2020). Впервые в атмосфере обнаружен газ HCl (Korablev et al. 2021; Olsen et al., 2021; Aoki et al., 2021; Trokhimovskiy et al. 2021).

Аэрономия верхних атмосфер горячих экзопланет

Шематович В. И. | Институт астрономии РАН

Секция: Планеты и планетные системы

В протяженных водородных атмосферах горячих экзопланет, таких как суб-нептуны, планеты-океаны, супер- и экзо- земели на близких к родительской звезде орбитах, протекают как тепловые так и нетепловые процессы, приводящие к эволюции и потере первичной 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 H2O и CO2 (Shematovich et al., 2015). Эти частицы с избыточной кинетической энергией играют существенную роль в аэрономии верхних атмосфер и являются важными драйверами нетепловых процессов потери атмосферы горячими экзопланетами.

Для исследования данной проблемы был разработан комплекс кинетических моделей Монте-Карло для изучения аэрономии надтепловых частиц в атмосферах горячих экзопланет (Бисикало и др., 2020), который, в частности, позволил рассчитать скорости потери атмосферы для экзопланет на близких к родительской звезде орбитах и, соответственно, оценить какая доля исходных H2-He оболочек может сохраниться на ранних стадиях эволюции остаточного диска. В докладе представлен обзор оригинальных результатов исследований автора и коллег по проблеме эволюции и потери первичной водород-гелиевой атмосферы горячими экзопланетами. На примере горячих экзопланет - нептуна GJ 436b и супер-земли Pi Men c, - 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".

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).

Сравнение нетепловых атмосферных потерь для горячих экзопланет

Автаева А.А. | Шематович В.И. | ГАИШ МГУ | ИНАСАН

Секция: Планеты и планетные системы

Процессы диссоциации, такие как фотодиссоциация, диссоциация электронным ударом, диссоциативная ионизация и др., 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 атомы водорода образуются в процессах диссоциации с избытком кинетической энергии, следовательно их распределение в переходной $H_2 \rightarrow H$ области верхней атмосферы горячей экзопланеты должно определяться из решения кинетического уравнения Больцмана с фотохимическим источником (Автаева, Шематович, 2020).

При помощи численной стохастической модели горячей планетной короны на примере горячей экзопланеты *π Men c* исследованы на молекулярном уровне кинетика и перенос надтепловых атомов водорода в верхней атмосфере, и рассчитан нетепловой поток убегания. Нетепловой поток убегания в направлении планета-звезда оценивается величиной в $3.7*10^{12}$ $см^{-2}с^{-1}$для умеренного уровня звездной активности, что превышает тепловой поток убегания $4.5*10^{11}$ $см^{-2}с^{-1}$.

Тщательное изучение потери атмосферы для *π Men c* имеет особое значение, учитывая, что это единственная планета супер-земля с известной убегающей атмосферой.

Работа выполнена при поддержке проекта №075-15-2020-780 «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет» Министерства науки и высшего образования РФ.

[1] Автаева А. А., Шематович В. И. Нетепловая потеря атмосферы экзопланеты GJ436b за счет процессов диссоциацииH2 // Астрономический Вестник. т.55. С. 172.

[2] Shematovich V. I., Marov M. Ya. Escape of planetary atmospheres: physical processes and numerical models // Physics Uspekhi. 201 V. 61. P. 217

Распределение RV- и транзитных экзопланет по массам и орбитальным периодам с учетом наблюдательной селекции

Ананьева В.И. | Тавров А.В. | Кораблев О.И. | Берто Ж.-Л. | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | LATMOS/IPSL/CNRS/UVSQ

Секция: Планеты и планетные системы

К настоящему моменту обнаружено около 4.5 тыс. экзопланет, свыше 95% из них открыто транзитным методом и методом лучевых скоростей. Однако наблюдаемые распределения планет по массам и орбитальным периодам существенно искажены разнообразными факторами наблюдательной селекции, различными для разных методов и разных наблюдательных программ.

Построены статистические распределения экзопланет по массам и орбитальным периодам для трех групп экзопланет: I: транзитных экзопланет, обнаруженных «Кеплером», чьи массы были измерены методом лучевых скоростей, II: транзитных экзопланет, обнаруженных наземными наблюдательными программами (SuperWASP, HATNet, NGTS, XO, KELT, и т.д.), III: экзопланет, обнаруженных методом лучевых скоростей. Скорректированное распределение по массам RV-планет следует кусочному степенному закону с изломами при 0.14 и 2 масс Юпитера и показателем степени -2 для масс меньше 0.087 масс Юпитера, -0.7...-0.8 для масс 0.21-1.7 масс Юпитера, -1.7..-2 для масс больше 2.2 масс Юпитера. В целом полученное распределение согласуется с предсказаниями теории популяционного синтеза (Mordasini, 2018). Скорректированное распределение по орбитальным периодам в целом следует степенному закону с показателем степени -0.75 и свидетельствует о преимущественном (усредненном) структурировании планетных систем.

Скорректированное распределение по массам RV-планет с орбитальными периодами 2-58 суток полностью согласуется с аналогичным распределением планет «Кеплера». Распределение по массам транзитных экзопланет, обнаруженных наземными обзорами, согласуется с аналогичным распределением RV-планет с периодами 1-20 суток. Вместе с тем распределение по массам RV-планет демонстрирует особенность, не наблюдающуюся в распределении по массам транзитных планет «Кеплера». Обсуждаются возможные причины этого различия.

Алгоритм поиска событий покрытия пятен и факелов в экзопланетных прохождениях

Балуев Р.В. | Соков Е.Н. | Шайдулин В.Ш. и международная команда EXPANSION | СПбГУ | ГАО РАН, СПбГУ | СПбГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Рассматривается задача поиска событий покрытия планетой звёздного пятна или факела в кривой блеска экзопланетного прохождения. Такое событие вызывает в фотометрической кривой короткоживущее искажение, по форме близкое к гауссиане. Оно приводит к смещению получаемых параметров прохождения, в том числе к искажению тайминга прохождения, т.е. центрального момента. Нужно выявить как можно больше пятенных аномалий, чтобы иметь адекватную фотометрическую модель каждого прохождения, но одновременно необходимо избегать ошибочной интерпретации различных шумовых эффектов в качестве таких аномалий. Таким образом, наш метод ищет лишь статистически обоснованные транзиенты, которые существенно выделяются над шумом в принятой его модели. Построенный нами алгоритм был применён к ~1600 фотометрическим кривым из проекта EXPANSION, в которых было найдено около сотни статистически значимых гауссовых аномалий. При этом наблюдается асимметрия 2:1 (по количеству) в пользу именно пятенных аномалий, т.е. относительных уярчений, в противовес аномалиям противоположного знака, которые могли бы указывать на покрытия планетой факелов. Такое соотношение находится далеко за пределами возможных статистических погрешностей и указывает на физическое преобладание числа пятен над факелами. В подвыборке пятенных аномалий также прослеживается положительная корреляция между амплитудой аномалии и её шириной, что объясняется физической связью с размером пятна (больше пятно - шире гауссиана - выше её амплитуда). В то же время, доля различных шумовых искажений в полученной выборке аномалий всё же высока, так как алгоритм настроен выявлять различные транзиенты, не вписывающиеся в рамки принятой статистической модели шума (стационарность, гауссовость, корреляционная функция в виде экспоненты и др.) Алгоритм пытается описать любое статистически невероятное отклонение через пятенную аномалию, и такая попытка оказывается формально успешной не только на физических событиях покрытия пятна, но и на различных инструментальных сбоях, ошибках детрендинга, погодных явлениях и т.п. Помимо этого, частота покрытий получается не более нескольких процентов, что не позволяет объяснить повышенную дисперсию тайминга, обнаруженную ранее для некоторых активных звёзд (HD189733 и др.)

Работа выполнялась при поддержке РНФ, проект 19-72-10023, а также Министерства науки и высшего образования, проект 075-15-2020-780.

Галактические циклы в Солнечной системе

Баренбаум А.А. | Институт проблем нефти и газа РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Показано, что установленная геологами цикличность глобальных геологических событий на Земле с периодами ≈30, 250 и 2000 миллионов лет распространяется на все процессы в Солнечной системе и ее планетах. Причиной циклов являются кратковременные бомбардировки Солнечной системы галактическими кометами в периоды нахождения Солнца в струйных потоках и спиральных рукавах Галактики. Разработана теоретическая модель движения Солнца в Галактике, позволяющая с высокой точностью рассчитать моменты таких бомбардировок. Адекватность модели подтверждена данным астрономии, геологии и метеоритики.

Баренбаум А.А., Титоренко А.С. Галактическая модель геологической цикличности: оптимизация параметров и тестирование по данным геологии и астрономии // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2020). - М: ГЕОХИ РАН, 2020, 210-215.

Barenbaum A.A., Titorenko A.C. Optimized galactic model of geological cyclicity and its testing on geology and astronomy data // Experiment in Geosciences. 2020. V.26, No.1, 15-19.

Barenbaum A.A. Stratigraphic scale as proof of cyclicity bombardments of Solar system by galactic comets // 10-th Moscow Solar System Symposium. Space Research Institute RAS. 2019. 10MS3-PS-49.

Barenbaum A.A. Complexing data of astronomy, geology and meteoritics at development of the adequate spiral model of Galaxy // Experiment in Geosciences. 2018. V.24, No.1, 12-15.

Barenbaum A.A. On the modern state of Comparative Planetology // 7-th Moscow Solar System Symposium. Space Research Institute RAS. 2016, 7MS3-PS-65

Barenbaum A.A., Shpekin M.I. Estimation of the flux density of galactic comets in the Orion-Cygnus branch based on number of shield volcanoes on Venus, craters on Mars and marine basins on the Moon // Journal of Physics: Conf. Ser. 2021, 1787 012021.

Barenbaum A.A. Geological structures created by falls of galactic comets // Journal of Physics: Conf. Ser. 2015, 653 012073.

Баренбаум, А.А., Шпекин М.И. О возрасте поверхности Луны // Вестник ОНЗ РАН, 2011, 3, NZ6011.

Проблема интерпретации кратерных данных в сравнительной планетологии

Баренбаум А.А. | Шпекин М.И. | ИПНГ СО РАН | КФУ

Секция: Планеты и планетные системы

Считается, что кратеры диаметром D > 10 км и лавовые моря с D > 180 км на Луне, Марсе и Меркурии созданы падениями крупных межпланетных тел в первый миллиард лет после возникновения Солнечной системы. В связи с открытием явления струйного истечения вещества из центра Галактики установлено, что такие кратеры и моря образованы галактическими кометами и возникли в основном при последней кометной бомбардировке в период 5.0÷0.7 млн лет назад. В отличие от кратеров, созданных падениями астероидов, импактные структуры, образованные галактическими кометами, имеют экспоненциальное распределение по размерам. При этом: 1) континенты Луны, Марса и Меркурия полностью насыщены кратерами с D ≈10÷180 км, вне этого диапазона кометные кратеры отсутствуют. Кратеры с D < 7–10 км нивелированы более поздними падениями комет, а структуры с D > 180 км являются морями. 2) Моря образуются при наложении кометных кратеров. С увеличением числа наложений диаметр морей растет, и в них возникают масконы. 3) Кратеры с D < 1 км в морях созданы падениями астероидных тел, возраст этих кратеров не превышает 700 тысяч лет, а распределение по размерам следует обратной квадратичной зависимости. Образование таких кратеров продолжается сегодня.

Баренбаум А.А.. Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии. М.: Изд. дом ЛИБРОКОМ, 2010, 544 с.

Баренбаум А.А., Шпекин М.И. О возрасте поверхности Луны // Вестник ОНЗ РАН, 2011, **3**, NZ6011

Barenbaum A.A. Geological structures created by falls of galactic comets. *Journal of Physics: Conf. Ser.* 2015, **653** 012073.

Barenbaum A.A., Shpekin M.I. Origin and formation mechanism of craters, seas and mascons on the Moon. *Journal of Physics: Conf. Ser.* 2019, **1147** 012057

Barenbaum A.A., Shpekin M.I. Estimation of the flux density of galactic comets in the Orion-Cygnus branch based on number of shield volcanoes on Venus, craters on Mars and marine basins on the Moon. *Journal of Physics: Conf. Ser.* 2021, **1787** 012021.

Активные астероиды Главного пояса как реликты процессов формирования планет-гигантов

Бусарев В.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Представлены новые подтверждения ранее выдвинутой гипотезы о происхождении астероидов «С» и близких к ним примитивных типов (Busarev, 2012). Обнаружение и изучение в течение последнего десятилетия кометной активности у астероидов Главного пояса (ГП) позволило установить, что основная причина этого явления – значительное содержание водяного льда в подповерхностных слоях астероидов. Изучение минералогии метеоритов астероидного происхождения показывает, что присутствие воды в связанном состоянии характерно для вещества малых тел примитивных типов, сформировавшихся с внутренней стороны снеговой линии (СЛ), тогда как следы присутствия в веществе замерзших летучих соединений является свидетельством формирования таких тел за СЛ. Как следует из аналитических расчетов, выполненных более 50 лет назад (Сафронов, 1969), резкий рост количества и общей массы каменно-ледяных тел за СЛ обеспечил ускоренный рост там всех планет-гигантов, особенно Юпитера, ядро которого сформировалось благодаря аккреции на него меньших тел за ~1 млн. лет. Однако важно иметь ввиду, что тот же процесс постепенно менял свою направленность и превращался в свою противоположность. По достижении ядрами планет-гигантов нескольких масс Земли (Сафронов, 1969), захват и поглощение ими тел меньшего размера сменялся гравитационным выбросом последних далеко за пределы зон формирования планет посредством действия механизма, известного сейчас как «гравитационный маневр» или универсальная закономерность «очистки» планетами орбит на завершающей стадии роста. Таким образом, планеты-гиганты поочередно превращались (начиная с Юпитера и заканчивая наиболее далеким Нептуном в соответствии с хронологией их формирования) в «транспортеры» малых тел каменно-ледяного состава из их зон роста в другие области ранней Солнечной системы, включая зону формирования родительских тел астероидов, расположенную с внутренней стороны СЛ. Благодаря этому, могли образоваться не только астероиды ГП всех примитивных типов, но и семейства Троянцев Юпитера вблизи точек Лагранжа L4 и L5. Необходимо подчеркнуть, что устойчивое и сравнительно сохранное существование перечисленных семейств астероидов на протяжении ~4,5 млрд. лет было обеспечено системой наиболее сильных гравитационных резонансов с Юпитером.

Эффект Ярковского: связь между ускорением A2 и скоростью дрейфа большой полуоси для астероидов главного пояса

Васильева М.А. | Кузнецов Э.Д. | УрФУ

Секция: Планеты и планетные системы

Для надежного исследования орбитальной эволюции астероидов необходимо учитывать негравитационные эффекты. В различных программных комплексах, позволяющих моделировать движение тел Солнечной системы, такие эффекты могут учитываться различными способами. Например, в Orbit9 влияние негравитационных эффектов задается с помощью скорости дрейфа большой полуоси da/dt, в интеграторе Mercury6 – путем задания негравитационного ускорения A_2. Скорость дрейфа da/dt может быть оценена на основе физических и динамических параметров астероидов. Также оценки ускорения A_2 и скорости дрейфа da/dt могут быть получены на основе анализа наблюдений. Для решения некоторых задач возникает необходимость перехода от негравитационного ускорения A_2 к дрейфу большой полуоси. Для осуществления этого перехода необходимо использовать функцию $g(r)$, где r – гелиоцентрическое расстояние астероида. Для астероидов, сближающихся с Землей, было предложено использовать функцию $g(r) = (r_0 / r)^d$, где нормализующий параметр $r_0 = 1$ а.е., параметр d определяется теплофизическими свойствами астероидов и принимает значения в диапазоне $0.5 < d < 3.5$ (Farnocchia et al., Icarus, 224 (2013) 1). Численные эксперименты показывают, что при заданных значениях негравитационного параметра A_2 для астероидов главного пояса скорость дрейфа оказывается на порядок меньше, чем на основе аналитических оценок, использующих функцию $g(r)$.

В настоящей работе представлены результаты установления связи между A_2 и da/dt для астероидов главного пояса путем оценки параметров функции $g(r)$ для астероидов главного пояса на основе результатов численного моделирования в Mercury6. Было выполнено интегрирование на интервале 1 млн лет для модельных астероидов с круговыми эллиптическими орбитами с большими полуосями орбит от 1.5 до 3.5 а.е. с шагом 0.01 а.е. при значениях параметра $A_2 = 1\cdot10^{-15}$, $1\cdot10^{-14}$, $1\cdot10^{-13}$ а.е./сут.^{2}. Для каждого астероида на основе результатов моделирования оценена скорость дрейфа da/dt. Обсуждаются варианты записи функции $g(r)$ для астероидов главного пояса и оценки входящих в нее параметров.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Измерение сернистых компонент разрежаемой атмосферы Венеры: эксперимент ИСКРА-В на посадочном аппарате миссии «Венера-Д»

Виноградов И.И. | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

В продолжение многолетних экспериментальных исследований фотохимии атмосферы Венеры предложен эксперимент ИСКРА-В (Измерение Сернистых Компонент Разряжаемой Атмосферы Венеры), целью которого является определение вертикальных профилей состава атмосферы Венеры, её сернистых компонент и малых газовых составляющих на траектории снижения посадочного аппарата отечественной миссии «Венера-Д». Активная фаза эксперимента ИСКРА-В начнётся в момент сброса защитной полусферы посадочного аппарата на высоте около 73 км и продолжится вплоть до касания поверхности Венеры. Продолжение измерений возможно и вблизи поверхности, в зоне посадки аппарата, вплоть до исчерпания его физических ресурсов. Многоканальный лазерный абсорбционный спектрометр (МЛАС) – основа прибора ИСКРА-В. Поочерёдное циклическое включение монохроматичных перестраиваемых диодных и квантовых каскадных лазеров обеспечит детальное изучение состава окружающей атмосферы. Зондирующее лазерное излучение будет просвечивать рабочий объём многопроходной аналитической оптической кюветы, заполняемой газовой пробой атмосферы Венеры, разряжаемой в аналитическом объёме оптической кюветы МЛАС до рабочего давления 50 мбар. Планируются измерения содержания следующих основных молекул и их изотопных соотношений, список которых может быть дополнен в зависимости от доступности лазерных излучателей, соответствующих спектральным диапазонам молекулярного поглощения:

– диоксид серы SO2, монооксид углерода CO, углекислота CO2 , карбонилсульфид OCS, вода H2O;

– изотопные соотношения 13C/12C для CO и CO2 , 16O/17O/18O для CO2 , D/H и 16O/17O/18O для H2O, 34S/33S/32S для OCS.

Присущее МЛАС высокое спектральное разрешение λ/Δλ ~ 10E^7 способствует высокой чувствительности аппаратуры ИСКРА-В. Расчётная аппаратная чувствительность к относительному поглощению, порядка 10E^(-4...-5), отвечает за динамический диапазон в несколько порядков величины при ожидаемом поглощении в максимумах линий на уровне нескольких процентов. Выбор спектральных линий с различной силой поглощения позволит расширить эффективный динамический диапазон для измерений выбранных молекул и их изотопологов.

Исследование альбедо облаков Венеры в УФ диапазоне по измерениям спектрометров SPICAV и VIRTIS на борту KA Venus Express

Власов П.В. | Игнатьев Н.И. | Беляев Д.А. | Берто Ж.-Л. | Баджио Л. | ДАверса Э. | Пиччони Дж. | Карлсон Р. | Яковлев О.Я. | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | LATMOS-CNRS | LATMOS-CNRS | INAF-IAPS | INAF-IAPS | CalTech JPL | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

В ультрафиолетовом (УФ) диапазоне сферическое альбедо Венеры в 2-3 раза ниже, чем в видимом, а планета выглядит довольно контрастной с тёмными областями на изображениях, указывающими на поглощение солнечного излучения компонентами атмосферы в диапазоне 200-400 нм. Кроме известного нам SO_2, играющего важную роль в фотохимии облачного слоя Венеры [1], присутствует также пока не установленный поглотитель излучения в УФ диапазоне. Однако, несмотря на многочисленные исследования, ещё не было получено полных непрерывных спектров альбедо в диапазоне 200-600 нм, что позволило бы установить точный химический состав неизвестных поглотителей. В данной работе мы представляем результаты обработки надирных измерений двух спектрометров – SPICAV и VIRTIS, наблюдавших облака Венеры на борту KA Venus Express (VEx) с 2006 по 2014 гг. UV-канал SPICAV работал в диапазоне 115-320 нм [2], в то время как UV-VIS-канал VIRTIS покрывал диапазон 300-1000 нм [3]. Для обработки данных VIRTIS были использованы калибровки по измерениям отражательной способности Луны, поскольку лабораторные калибровки сильно неточные из-за некорректно определённой функции чувствительности и наличия паразитной засветки в диапазоне 300-500 нм. Был отобран ряд одновременных измерений двух спектрометров и проведена работа по частичной коррекции засветки и калибровке длины волны спектров VIRTIS по линиям поглощения солнечного спектра. Полученные комбинированные спектры УФ альбедо были сопоставлены с данными камеры VMC на борту VEx [4].

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РФ №075-15-2020-780.

[1] Marcq E. et al. Variations of sulphur dioxide at the cloud top of Venus’s dynamic atmosphere. Nature Geoscience. 2013. Vol.6. P.25-28, [2] Bertaux J.-L. et al. SPICAV on Venus Express: Three spectrometers to study the global structure and composition of the Venus atmosphere. Planet. Space Sci. 2007. Vol.55. P.1673-1700, [3] Drossart P. et al. Scientific goals for the observation of Venus by VIRTIS on ESA/Venus express mission. Planet. Space Sci. 2007. Vol.55. P.1701-1711, [4] Markiewicz W.J. et al. Venus Monitoring Camera for Venus Express. Planet. Space Sci. 2007. Vol.55. P.1653-1672

Определение орбит спутников и параметров вращения Нептуна

Долгаков И.А. | Павлов Д.А. | ИПА РАН | СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Секция: Планеты и планетные системы

Эфемериды спутников планет необходимы при планировании полетов космических аппаратов. Кроме того, точные численные теории движения естественных спутников дают возможность улучшить точность эфемерид их центральных планет по позиционным наблюдениям их спутников. В настоящей работе получены численные теории спутников Нептуна — Тритона и Нереиды, уточнены их массы, а также масса, гармоники гравитационного потенциала и параметры вращения Нептуна. В решении использовались все наземные наблюдения, находящиеся в свободном доступе. Проведено сравнение с решением Лаборатории Реактивного Движения (JPL).

Роль планет-гигантов родительских звезд в генерации свободных планет

Дремова Г. Н. | Дремов В. В. | Тутуков А. В. | РФЯЦ-ВНИИТФ | РФЯЦ-ВНИИТФ | ИНАСАН

Секция: Планеты и планетные системы

В середине 90-х XX века, когда начался экзопланетный бум, были высказаны предположения, что в межзвездном пространстве могут обитать экзопланеты без родительских звезд. Методы гравитационного микролинзирования, активно освоенные в начале XXI века, очень скоро подтвердили эту гипотезу открытиями свободных планет в нашей Галактике и околоквазарных планет в других галактиках. Особенно плодотворными в изучении оказались открытия межзвездного астероида Oumuamua и межзвездной кометы Borisov, траектории которых на время пересекли границы Солнечной Системы. Богатая наблюдательная статистика открытий межзвездных планет закономерно поставила вопрос о механизмах их образования. Среди возможных вариантов: Галактический Прилив; единичные близкие (100 *а.е.*) прохождения звезд поля, возмущающих периферийные планеты родительской звезды; стадия планетарной туманности, на которой звезда испытывает значительную и быструю потерю своей массы, что может повлечь освобождение периферийных планет. Нас же будет интересовать вариант, связанный с механизмом гравитационного рассеяния объектов планетного диска (астероидов, комет, малых планетных тел – АКП). Это универсальный механизм в коллективных системах имманентно встроен в процесс планетной «сборки». Он становится наиболее эффективным после образования планет-гигантов, которые дают значительный вклад в перераспределение углового момента системы за счет их гравитационного взаимодействия со звездой. В результате часть планет может оказаться свободной. Именно этот аспект было интересно проверить в рамках численного моделирования. В данной работе мы провели 3D- моделирование начальной стадии «разогрева» системы Солнце-Юпитер, погруженную в АКП-тор, центрированный по орбите Юпитера. Даже при сравнительно небольшой заселенности тора (10 000 АКП) удалось воспроизвести характерные эффекты механизма гравитационного рассеяния, обусловленные гравитационным взаимодействием планеты-гиганта с родительской звездой. К ним относятся подсистема периферийных околосолнечных планет (прототип облака Оорта), подсистема захваченных спутников Юпитера (миниатюрная копия облака Оорта), появление ретроградных спутников у планеты-гиганта, а также население свободных планет. Все эти выводы были получены в упрощенной постановке задачи с акцентом на начальные условия, фактор «тонкой настройки» которых забывается системой, а также на сравнение модельных орбитальных распределений захваченных Юпитером спутников с реальными их распределениями.

Астрономические ограничения на первичные черные дыры в Солнечной системе

Ерошенко Ю.Н. | ИЯИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Показано, что если во внешней области Солнечной системы на расстоянии ~300 А.Е. от Солнца находится захваченная планета или первичная черная дыра, то она должна возмущать орбиты находящихся в той области пылевых частиц. Часть пыли при этом переходит на орбиты, достигающие Земли. При массе захваченного объекта порядка 10 масс Земли поток пыли вблизи Земли оказывается близким к наблюдаемому потоку. Этот эффект может дать ограничение на наличие захваченных черных дыр или планет во внешних областях Солнечной системы.

Пылевые частицы безатмосферных тел: изучение in-situ и лабораторное моделирование

Захаров А.В. | Кузнецов И.А. | Бедняков С.А. | Бычкова А.С. | Дольников Г.Г. | Дубов А.Е. | Карташева А.А. | Ляш А.Н. | Шашкова И.А. | Шеховцова А.В. | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Приповерхностная плазменно-пылевая экзосфера безатмосферных тел Солнечной системы и её динамика представляют собой как интересные с точки зрения фундаментальной науки, так и важные явления с точки зрения исследования и освоения. Активность пылевой составляющей (отрывающиеся от поверхности пылевые частицы) возникает вследствие воздействия на реголит таких факторов, как солнечный ветер, солнечное УФ-излучение, микрометеоритная бомбардировка и других, в том числе и их изменений во времени.

В рамках ряда миссий по исследованию безатмосферных тел предлагается изучение динамики и проявлений плазменно-пылевой экзосферы. Главные задачи состоят в следующем:

- измерение параметров пылевой компоненты (импульс частицы, скорость, заряд, а также оценка потоков частиц в зависимости от условий; в том числе на разных высотах и при различной освещенности поверхности);
- измерение плазменной составляющей (а именно, определение свойств плазмы зондовыми методами на различных расстояниях от поверхности и посадочного аппарата; измерение свойств солнечного ветра).

Также важной задачей является изучение пылевых скоплений на орбитах планет Солнечной системы. Такие данные необходимы как для изучения динамики пыли на поверхностях, так и для технического обеспечения безопасности миссий - равно как и корректности интерпретаций данных, получаемых с различных приборов.
Для выполнения данных целей разрабатывается ряд приборов для миссий Луна-25 и Луна-27, прорабатываются приборы для лунных орбитальных и межпланетных миссий. Для изучения плазменно-пылевой динамики также проводится ряд лабораторных и численных моделирований, призванных как проводить калибровки приборов, так и воссоздавать свойства приповерхностной экзосферы тел Солнечной системы для наблюдения упомянутых эффектов.

Данная работа частично выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации по проекту Минобрнауки России № МК-2001.2021.6

Импактные вспышки экзоастероидов в оптике

Ибрагимов М.А. | ИНАСАН

Секция: Планеты и планетные системы

По доступной литературе и оригинальным данным собраны и представлены оптические наблюдения нового феномена - импактных вспышек экзоастероидов в оптике. Такие вспышки проявляются как «красные вспышки» на звездах. Отличительные особенности этих вспышек следующие: 1) это «медленные» вспышки, 2) это вспышки с «красным» максимумом, 3) это вспышки с «красными» оптическими цветами, 4) это вспышки с обратным («красным») распределением амплитуды вспышек.

Создан первый каталог красных импактных вспышек. Он включает 3 объекта и 5 наблюдавшихся на них вспышек: UU CrB (1 вспышка в 1980 г.), FF Ori (2 вспышки в 1991 и 1992 гг.), IX Oph (2 вспышки в 1992 и 1993 гг.). Проанализированы физические проявления красных импактных вспышек. Показано, что они заметно отличаются от хорошо исследованных «синих вспышек» типа UV Cet, наблюдаемых у красных карликов солнечной окрестности. Основные отличия сводятся к следующим: 1) красные вспышки наблюдаются в системах со звездами F-K типов, 2) красные вспышки демонстрируют большую мощность (10^{36}-10^{39} *эрг*), 3) красные вспышки «медленные» (длительности максимумов составляют больше 30 *мин*).

Распределение энергии в оптическом спектре красной импактной вспышки также отличается от такового у вспышек типа UV Cet: импактные вспышки демонстрируют «красный» максимум, «красные» цвета и обратное («красное») распределение амплитуд. Например, импактная вспышка 1992 г. у IX Oph показала для максимума и распределения амплитуд $\Delta R>\Delta V>\Delta B>\Delta U \approx 1.8>1.0>0.3>-1.3$ *mag*, а для цветов (U-B)≈(B-V)≈(V-R) ≈ 2.0 *mag*.

Предложена возможная интерпретация феномена красных импактных вспышек на звездах. Наиболее непротиворечивым и естественным образом красные импактные вспышки могут быть объяснены в рамках представлений об экзоимпактах (*exoimpacts*) - столкновениях малых экзотел (экзоастероидов и экзокомет) в системах экзосолнечных планет между собой и с имеющимися в системе экзопланетами/экзолунами.

Миграция планетезималей к планетам в зоне обитаемости в Солнечной системе и системе Проксима Центавра

Ипатов С.И. | ГЕОХИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

При изучении миграции планетезималей к Земле с различных начальных расстояний R от Солнца из-за линии льдов учитывалось гравитационное влияние планет. Рассмотренный интервал времени достигал миллиардов лет. На основании полученных массивов элементов орбит мигрировавших планетезималей вычислялись вероятности столкновений планетезималей с планетами. Полученные значения вероятности столкновения планетезимали с Землей составляют $\sim 10^{-6}$ при $12<R\leq 40$ а.е., до $\sim 10^{-5}$ при $4\leq R\leq 12$ а.е., до 0.001-0.01 при $3\leq R\leq 4$ а.е. Зона внешнего астероидного пояса могла быть одним из источников поздней тяжелой бомбардировки. Общая масса воды, доставленной на Землю из-за орбиты Юпитера, могла примерно равняться массе земных океанов. Возможно, сравнимое количество воды также могло быть доставлено с $3\leq R\leq 4$ а.е. Столкновения планетезималей с Землей происходили в основном в течение десяти миллионов лет при $4\leq R\leq 12$ а.е., причем происходили в течение первого миллиона лет для планетезималей, которые первоначально пересекали орбиту Юпитера. При $3\leq R\leq 4$ а.е. отдельные тела могли выпадать на Землю через миллиарды лет. Эта зона могла быть одним из источников поздней тяжелой бомбардировки. Скорости столкновений с Луной тел, пришедших из зоны Юпитера и Сатурна, в основном составляли 20-23 км/с. При $R\geq 3$ а.е. отношение количества тел, сталкивающихся с Землей и Луной, в основном находилось в интервале от 16.4 до 17.4. Проведены расчеты миграции планетезималей в системе Проксима Центавра от внешней планеты c, расположенной за линией льдов, к небольшим внутренним планетам b и d, которые могут находиться в зоне обитаемости. Суммарная масса планетезималей, выброшенных на гиперболические орбиты, в несколько раз превышала массу планетезималей, вошедших в планеты. Поэтому в системе Проксима Центавра может существовать аналог облака Оорта. Вероятность столкновения планетезимали с планетами b и d, усредненная по 6000 планетезималям, составила $\sim 10^{-3}$. На эти экзопланеты могло быть доставлено много ледяного материала и летучих веществ.

Исследования формирования планет Солнечной системы поддержаны госзаданием ГЕОХИ РАН №0137-2021-0004. Исследования формирования Луны были выполнены за счет гранта РНФ №21-17-00120, https://rscf.ru/project/21-17-00120/. Исследования формирования экзопланет поддержаны грантом 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039) Минобрнауки.

Формирование планет земной группы и Луны

Ипатов С.И. | ГЕОХИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Численно моделировалась эволюция орбит планетезималей в зоне питания планет земной группы [1]. При этом учитывалось гравитационное влияние планет или их зародышей. Вероятности столкновений планетезималей с планетами или с их зародышами вычислялись на основе массивов элементов орбит мигрировавших планетезималей. Внутренние слои каждой земной планеты аккумулировали в основном планетезимали из окрестности орбиты этой планеты. Внешние слои Земли и Венеры могли аккумулировать аналогичные планетезимали из разных областей зоны питания планет земной группы. Земля и Венера могли приобрести более половины своей массы за 5 млн. лет. Формирование зародыша Марса с массой, в несколько раз меньшей массы Марса, в результате сжатия разреженного сгущения может объяснить относительно быстрый рост основной массы Марса. Особенности формирования планет земной группы можно объяснить даже при относительно плавном уменьшении большой полуоси орбиты Юпитера за счет выброса им планетезималей на гиперболические орбиты.

Зародыши Земли и Луны могли образоваться в результате сжатия общего родительского разреженного сгущения [2]. Угловой момент родительского сгущения, необходимый для такого формирования, мог быть в основном приобретен при столкновении двух разреженных сгущений, при котором образовалось родительское сгущение. С учетом последующего роста масс зародышей Земли и Луны для достижения современного момента количества движения системы Земля-Луна суммарная масса зародышей, образовавшихся при сжатии родительского сгущения, могла не превышать 0.01 массы Земли. Большая часть вещества, вошедшего в зародыш Луны, могла быть выброшена с Земли при многочисленных столкновениях планетезималей (и меньших тел) с Землей.

Исследования аккумуляции планет выполнены в рамках госзадания ГЕОХИ РАН № 0137-2021-0004. Исследования формирования Луны были выполнены за счет гранта РНФ № 21-17-00120, https://rscf.ru/project/21-17-00120/.

1. Ипатов С.И. Вероятности столкновений планетезималей из различных областей зоны питания планет земной группы с формирующимися планетами и Луной // Астрономический вестник, 2019, т. 53, № 5, с. 349-379.
2. Ипатов С.И. Формирование зародышей Земли и Луны из общего разреженного сгущения и их последующий рост // Астрономический вестник, 2018, т. 52, № 5, с. 411-426.

Об убегании атмосферы экзопланеты Pi Men c

Калиничева Е. С. | Шематович В. И. | ИНАСАН | ИНАСАН

Секция: Планеты и планетные системы

Первая подтвержденная экзопланета, открытая по наблюдения космической миссии TESS, - суперземля Men c, находящаяся на близкой орбите по отношению к родительской звезде. На основе архивных данных наблюдений космических миссий ROSAT и Swift было показано, что в части мягкого рентгена и жесткого ультрафиолета спектр звезды Men повторяет солнечный. Фотометрический радиус планеты Men c составляет чуть больше двух радиусов Земли, это означает, что на диаграмме количество-радиус эта планета находится вблизи ущелья фотоиспарения. Описанные особенности делает выбранную планетную систему особенно интересной для изучения.

В данной работе с помощью ранее разработанной одномерной самосогласованной аэрономической модели были получены высотные профили температуры, скорости и плотности верхней атмосферы экзопланеты Men c. Преимуществом используемой модели по сравнению с другими является возможность учета вклада надтепловых частиц, что значительно уточняет функцию нагрева атмосферы. На высотном профиле плотности обнаружено присутствие двух шкал высоты в структуре атмосферы: первая отвечает относительно плотной стационарной атмосфере, вторая - более разреженной протяженной планетной короне.

Сравнение с высотными профилями, полученными при помощи других моделей, демонстрирует сниженный нагрев. Этот результат является ожидаемым, так как учет вклада надтепловых частиц, реализованный в нашей модели, позволяет получить более аккуратный расчет нагрева атмосферы, уменьшенный по сравнению с результатами более простых моделей. Установлено также, что темп потери массы атмосферы планеты, полученный в данной работе, существенно снижен по сравнению с работами других авторов.

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).

Задача о вращении планеты относительно центра масс в зафиксированном полюсе

Котов П.А. | НИИМ ВГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Рассматривается вариант динамической модели пространственного вращения несимметричного сплошного твердого тела – планеты относительно зафиксированного полюса описываемый системой связанных координатных уравнений с постоянными моментами инерции относительно главных осей инерции в подвижной системе координат и предлагается конструктивное решение исходной системы координатных уравнений.

Тепловая эволюция ядер ледяных спутников планет-гигантов

Кронрод Е.В. | Кронрод В.А. | Кусков О.Л. | ГЕОХИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Современные модели спутников планет-гигантов включают водно-ледяную оболочку и железосиликатное ядро с возможным наличием внутреннего Fe-FeS ядра. В ходе миссий к Юпитеру и Сатурну (“Галилео”, “Кассини–Гюйгенс”) были получены новые данные, накладывающие ограничения на строение ледяных спутников-гигантов Ганимеда, Каллисто и Титана. Однако вопросы о составе, размерах и физических свойствах ядер спутников и их тепловой эволюции до сих пор остаются предметом многочисленных дискуссий. Распределения температуры в ядрах спутников в значительной степени определяют степень гидратации их силикатной компоненты, наличие или отсутствие внутренних металлических ядер.

Тепловая эволюция ядер определяется их размерами, а также физическими свойствами – плотностью, теплопроводностью, теплоемкостью, радиогенным тепловыделением. В настоящей работе были рассмотрены две максимально различающиеся по физическим свойствам геохимические модели состава ядер и их комбинации: силикатные модели с составом вещества обыкновенных (L / LL) хондритов и гидросиликатные модели, близкие к составу углистых (CI) хондритов. Представлены результаты расчетов нестационарных температурных режимов в ядрах ледяных спутников с учетом состава, конвективного теплопереноса и возможных процессов дегидратации гидросиликатов в недрах ядер спутника. Проведены расчеты тепловой эволюции и процессов дегидратации в ядрах с концентрациями гидросиликатов C = 0–1 и радиусами R_{core}=500–2000 км. По результатам численных экспериментов можно заключить, что начальная концентрация гидросиликатов (C_{Hs}) и радиус ядра (R_{core}) существенно влияют на тепловую эволюцию и дегидратацию ядра.

О негравитационном эффекте в движении астероидов Главного пояса

Кузнецов В.Б. | Чернетенко Ю.А. | ИПА РАН | ИПА РАН

Секция: Планеты и планетные системы

В работах [1, 2] высказывается предположение о проявлении в движении астероидов Главного пояса и астероидов некоторых семейств дополнительного негравитационного ускорения (ДНУ), зависящего от альбедо астероидов. ДНУ приводит к увеличению со скоростью 3–12 км/год значений больших полуосей орбит астероидов с диаметрами до 40 км и альбедо $p_v < 0.1$. Эти оценки получены сравнением значений больших полуосей орбит астероидов, основанных на различных интервалах наблюдений. В настоящей работе мы оценили величины негравитационного ускорения для 11289 нумерованных астероидов семейства 8 Flora [3]. Выбор этого семейства обусловлен тем, что для него оценивается статистически значимая зависимость значений альбедо от значений большой полуоси. Предполагалось, что величина ускорения зависит от гелиоцентрического расстояния как $1/r^2$. Параметры негравитационного ускорения получены совместно с уточнением орбитальных параметров. При этом координаты больших планет вычислялись по эфемериде DE440 и использовались наблюдения астероидов, представленные в каталоге Международного планетного центра. Анализ результатов показывает, что примерно для 600 астероидов, имеющих значительное число наблюдений в течение больших интервалов времени, получены достаточно уверенные значения параметров негравитационного ускорения. Для них изменение больших полуосей по абсолютной величине не превышает 1 км/год, что примерно на порядок меньше величины, которая получена в [1, 2]. Не выявлена значимая корреляция величины ускорения со значениями альбедо астероидов и значениями больших полуосей их орбит. Применение других видов зависимости негравитационного ускорения от гелиоцентрического расстояния, $1/r$ и $1/r^3$, незначимо влияет на оценки скорости изменения больших полуосей. По-видимому, обнаруженное в [1, 2] для семейств астероидов 004, 005, 135, 221 пространственное разделение светлых и темных астероидов вызывается не действием ДНУ, а другими причинами.

1. *А.М.Казанцев, Л.В.Казанцева* Дополнительные критерии выделения семейств астероидов и подтверждение эффекта пространственного разделения членов семейства по альбедо. Кинематика и физика небесных тел, 2014, т.30, №5, 72–80.
2. *А.М.Казанцев, Л.В.Казанцева* Специфический негравитационный эффект в поясе астероидов. Астрономический Вестник, 2017, т.51, №6, 562–570.
3. *T.A.Vinogradova* Empirical method of proper elements calculation and identification of asteroid families. 2019, MNRAS,Vol. 484, Issue 3, 3755–3764.

Масса астероида (7348), определённая динамическим методом

Кузнецов В.Б. | Чернетенко Ю.А. | ИПА РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Выполнено определение массы астероида (7348) динамическим методом, основанным на анализе гравитационных возмущений, оказываемых астероидом (7348) на движение астероида (7562) Kagiroino-Oka. Выбор указанных астероидов обусловлен тем, что 25 марта 1993 года они сблизились друг с другом на расстояние ~1.5 тыс. км. Диаметр астероида (7348) оценивается в 10 км. Координаты больших планет вычислялись по эфемериде DE440, производился также учёт возмущений от 343 заложенных в модель эфемериды астероидов со значениями масс, принятыми в это эфемериде. Кроме того, учитывались возмущения от астероидов (656) и (1027), имеющих тесные сближения с (7562). При анализе орбиты (7562) было использовано 2864 оптических наблюдений на интервале с 1986 по 2021 годы, представленных в каталоге Minor Planet Center. К этим наблюдениям были добавлены 90 наблюдений космической обсерватории Gaia (DR2) на интервале с 2014 по 2016 годы. В результате решения взвешенной нормальной системы относительно поправок орбитальных параметров астероида (7562) Kagiroino-Oka и поправки массы (7348) было получено значение массы (7348) равное $(1.02\pm0.27)10^{-15}$ $M_{¤}$. На настоящий момент времени, это самый малый астероид, масса которого определена динамическим методом.

Оценка возраста пар транснептуновых объектов на близких орбитах

Кузнецов Э.Д. | Аль-Шиблави О.М. | Гусев В.Д. | Устинов Д.С. | УрФУ

Секция: Планеты и планетные системы

Выполнено исследование динамической эволюции пар транснептуновых объектов (ТНО) на близких орбитах с целью определения их возраста. Основными механизмами, приводящими к формированию пар ТНО на близких орбитах, являются распад двойных и кратных систем ТНО, разрушение крупных ТНО в результате соударений, кратерирование ТНО. Не исключаются и случайные сближения орбит ТНО.

Ранее в результате поиска пар динамически коррелированных транснептуновых объектов с большими полуосями орбит более 30 а.е. было выделено 27 пар, состоящих из одиночных ТНО, 22 пары, в которых один из ТНО является двойным, и 11 пар двойных ТНО. Все ТНО относятся к холодным объектам пояса Койпера. Для исследования динамической эволюции и оценки возраста пар использовались результаты численного моделирования с помощью программы Orbit9, входящей в комплекс OrbFit. При моделировании учитывались возмущения от восьми больших планет и карликовой планеты Плутон. Интервал интегрирования составил 10 млн лет. Для оценки возраста пар выполнен поиск низкоскоростных сближений ТНО пары. Условия такого сближения: расстояние между ТНО порядка радиуса сферы Хилла, относительная скорость ТНО порядка второй космической скорости относительно более массивного ТНО на расстоянии, равном относительному расстоянию между объектами.

На первом этапе, основываясь на номинальных орбитах, получены оценки моментов времени возможных сближений ТНО, моменты сближений орбит, соответствующих минимальным значениям метрики Холшевникова, моменты сближений плоскостей орбит и линий апсид с целью ограничения интервала интегрирования для последующего моделирования с учетом ошибок определения элементов орбит.

Исследование вероятностной эволюции выполнено для двух пар ТНО: 2004 VA131 – 2004 VU131 и 1999 HV11 – 2015 VF172. Пара 2004 VA131 – 2004 VU131, возможно, является самой молодой из известных на сегодняшний день пар ТНО. Оценки ее возраста составляют 460 ± 260 лет по условию низкоскоростного сближения и 875 ± 150 лет по условию минимума метрики Холшевникова. Столь большой разброс оценок возраста связан с тем, что орбита ТНО 2004 VA131 определена на короткой дуге.

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

Орбитальная эволюция молодых пар астероидов главного пояса, сближающихся с планетами, в окрестности резонансов

Кузнецов Э.Д. | Васильева М.А. | Розаев А.Е. | Плавалова Е. | УрФУ | УрФУ | ЯрГУ | Математический институт Словацкой АН

Секция: Планеты и планетные системы

Динамическая эволюция астероидов окрестности резонансов может сопровождаться переходом астероидов главного пояса в астероиды, сближающиеся с Землей. Картина существенно усложняется, когда рассматривается эволюция пар астероидов на близких орбитах. Для молодых пар во внутренней части главного пояса астероидов к резонансным взаимодействиям могут также добавляться сближения Марсом, которые могут ускорить переход астероида в группу астероидов, сближающихся с Землей. Исследование выполнялось на основе результатов численного моделирования с использованием пакетов Mercury6 и Orbit9. Учитывались гравитационные возмущения от больших планет и эффект Ярковского. Интервал интегрирования составил 1 млн лет. Среди пар астероидов, исследованных в (Pravec, Icarus, 333 (2019) 429), обнаружены четыре молодые пары, которые кроме резонансного взаимодействия могут также испытывать тесные сближения с Марсом: (9068) 1993 OD – (455327) 2002 OP28, (88666) 2001 RP79 – (501710) 2014 UY23, (313701) 2003 UN3 – (531260) 2012 KL9, (348452) 2005 RU20 – (418312) 2008 FF88. Сближения с Марсом оказывают наиболее сильное влияние на орбитальную эволюцию пар (9068) 1993 OD – (455327) 2002 OP28, (88666) 2001 RP79 – (501710) 2014 UY23, движущихся в окрестности трехтельного резонанса 10–7S–3J с Сатурном и Юпитером. Сближения с Марсом значительно затрудняют оценку возраста пар. Для пары (88666) 2001 RP79 – (501710) 2014 UY23 первое тесное сближение с Марсом происходит через 36400 лет после начала моделирования и во всех рассмотренных вариантах интегрирования приводит к резкому изменению больших полуосей орбит обоих астероидов пары. Аналогичный характер поведения реализуется и для пары (9068) 1993 OD – (455327) 2002 OP28, у которой сближения с Марсом начинаются спустя 47 лет после начала интегрирования. Для четырех отобранных пар выполняется исследование вероятностной эволюции с целью исследования условий, способствующих сохранению или распаду пар астероидов на близких орбитах при переходе из главного пояса астероидов в группу астероидов, сближающихся с Землей. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0030 (Э.Д.Кузнецов), тема FEUZ-2020-0038 (М.А.Васильева).

Выпадение горячих юпитеров под действием приливной диссипации

Лазовик Я.А. | Попов С.Б. | ГАИШ МГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Одним из наиболее существенных механизмов миграции горячих юпитеров после исчезновения протопланетного диска является приливная диссипация. Возмущения, возникающие в родительской звезде в результате действия гравитационного поля планеты и затухающие под влиянием различных факторов, являются эффективным средством обмена угловым моментом в планетарной системе. Для наиболее близких горячих юпитеров подобное перераспределение момента импульса приводит к орбитальному распаду и последующему выпадению планеты на звезду.

Настоящий доклад посвящен моделированию миграции горячих юпитеров под действием диссипации приливов различных типов. Использованы наиболее современные теоретические оценки темпов приливной диссипации, изучен вид орбитальных треков экзопланеты в зависимости от её начальной массы и положения, а также от характеристик звезды. При помощи наблюдаемых распределений планетарных и звездных параметров были получены темпы выпадения горячих юпитеров в Галактике. Последующее совершенствование нашей модели позволит сделать шаг вперед в понимании того, как эволюционирует популяция горячих юпитеров.

Исследование метеоров с субсекундном временным разрешением в широкоугольном оптическом мониторинге небесной сферы

Ляпсина Н.В. | САО РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Представлены результаты изучения метеорных треков, зарегистрированных в процессе сканирования неба с помощью широкоугольной системы высокого временного разрешения Мини-МегаТОРТОРА (ММТ-9). Роботизированный 9-канальный инструмент ММТ-9 расположен в САО РАН вблизи 6-метрового телескопа БТА, Поле зрения системы составляет 900 квадратных градусов, 100 кв. градусов – у отдельного канала на базе объектива Canon EF 85 f/1.2, снабженного целостатом, BVR-фильтрами, поляроидом и детектором Andor Neo sCMOS с временным разрешением 0.1 с. ММТ-9 предназначена для обнаружения и исследования оптических транзиентных явлений различной природы — оптических компаньонов гамма-всплесков, гравитационно-волновых событий, быстрых радиовсплесков, вспышек новых, сверхновых и переменных звезд, вариаций блеска квазаров и активных галактик, метеоров, спутников и космического мусора.

Метеорная база ММТ-9 насчитывает на май 2021 года более 300 тысяч событий. В среднем за ночь регистрируется 100-200 метеоров, их средний блеск близок к 6 зв.вел. (минимальный — около 10 зв.вел.), а скорости достигают 40 гр./с. Распределение метеорных треков на небе в течение ночи позволяет выделить действующие метеорные потоки, а также спорадические метеорные события. Представлены результаты базисных наблюдений метеоров с помощью ММТ-9 и широкоугольной камеры FAVOR, разнесенных на расстояние 3.8 км, которые позволили определить несколькими методами скорости и траектории объектов.

Модельные нагрузочные числа Лява для Венеры

Менщикова Т.И. | Гудкова Т.В. | ИФЗ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Рассчитаны нагрузочные числа Лява для различных моделей неоднородной упругости Венеры, используя статический подход для нагрузки на поверхности (рельеф планеты) и для заглубленных аномальных волн плотности. Планета моделируется как упругое самогравитирующее тело с зависящими от радиуса плотностью, модулем сжатия и модулем сдвига. Вычисления проводятся для каждой гармоники до степени и порядка n=70, исходя из точности определения гравитационного поля на данный момент.

В работе рассматриваются несколько вариантов моделей неоднородной упругости Венеры. Как первое приближение принимается чисто упругая модель – Модель А. Во втором случае (Модель В) предполагается наличие упругой литосферы. Под литосферой вводится ослабленный слой, который частично потерял свои упругие свойства. Ослабление в этом слое моделируется пониженным в десять раз значением модуля сдвига, слой считается простирающимся до ядра. Толщина упругого литосферного слоя варьируется от 100 до 500 км. В третьей модели – модели С – в ослабленном слое по корой задается градиентное изменение модуля сдвига: пониженное в десять раз значение модуля сдвига непосредственно под корой постепенно увеличивается до значения в упругой модели на границе с ядром. На основе этих моделей проводится интерпретация аномального внешнего гравитационного поля.

Эволюция холодных аккреционных дисков и миграция планет в двойных системах

Некрасов А. Д. | Журавлев В. В. | Попов С. Б. | ГАИШ МГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Изучается эволюция радиального распределения поверхностной плотности и эффективной температуры в аккреционных дисках, образующихся в полости Роша менее массивной компоненты двойной звездной системы в эпоху, когда более массивная главная компонента системы уходит с главной последовательности и, с повышением темпа межзвездного ветра, аккреционный диск существенно увеличивает свою плотность.

В рамках данного сценария рассматривается миграция планет в аккреционном диске с целью выяснить, каким образом меняется архитектура планетной системы на протяжении всей эволюции главной компоненты системы и аккреционного диска.

Анализ цифровых моделей физической поверхности небесных тел, построенных на основе спутниковых альтиметрических измерений

Нефедьев Ю.А. | Андреев А.О. | Ахмедшина Е.Н. | Carlos De La Morena | Нефедьев Л.А. | КФУ

Секция: Планеты и планетные системы

При выполнении космических миссий по исследованию Солнечной системы было получено значительное количество данных о геофизических и морфологических свойствах небесных тел. Целью настоящей работы является исследование цифровых моделей физической поверхности тел Солнечной системы, построенных на измерениях, выполненных в ходе космических миссий. Для построения и анализа таких моделей использовался многопараметрический гармонический анализ оптических и альтиметрических данных, полученных в ходе осуществления спутниковых наблюдений. Разработанный подход предполагает создание регрессионных гармонических моделей на основе разложения альтиметрических данных и анализ их фрактальных свойств. Для исследуемых систем получен спектр фрактальных оценок как для различных локальных зон, так и для полных моделей. В работе использовался авторский метод более точного учета коэффициентов самоподобия и цветовых фрактальных размерностей с целью нахождения самоподобных структур. В частности, для Луны выполнены два вида исследований. 1) Проведен анализ 173 гистограмм распределения параметра SGRB (цветовая фрактальная размерность) по лунной долготе и широте с целью определения идентичных по структуре областей лунной поверхности. 2) Исследованы 253 областей на лунной поверхности для определения максимальных значений коэффициентов самоподобия и распределения параметра SGRB. 3) Построены карты самоподобных областей.

Изменение скорости ветра на верхней границе облачного слоя в экваториальных широтах по результатам многолетних наблюдений VMC (Венера Экспресс) и UVI (Акацуки)

Пацаева М.В. | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Благодаря присутствию в верхнем облачном слое УФ поглотителя детали облачного покрова Венеры на высоте 70 ± 2 км, соответствующей верхней границе облачного слоя, имеют контрастность более 30%. Это позволяет по их перемещению определять скорость ветра. УФ изображения планеты (365 нм), полученные камерой VMC орбитального аппарата «Венера Экспресс» с 2006 по 2013 год, были обработаны с помощью цифрового корреляционного метода. Они предоставили важную информацию о циркуляции атмосферы на уровне верхнего облачного слоя [Khatuntsev et al., 2013; Patsaeva et al., 2015, Patsaeva et al., 2019]. УФ изображения (365 нм), полученные камерой UVI космического аппарата Акацуки с 2016 по 2019 год, были также проанализированы с помощью цифрового метода. Совместный анализ полученных скоростей ветра позволяет исследовать долговременные изменения, происходящие в динамике мезосферы. Анализ скоростей ветра, полученных по изображениям VMC, показал монотонное увеличение средней зональной скорости с 85 to 115 м/с в экваториальных широтах за время миссии [Khatuntsev et al., 2013], в то время, как средняя зональная скорость, полученная нами по изображениям UVI, демонстрирует нисходящий тренд. Анализ долготной зависимости средней зональной скорости, полученной по данным VMC за весь период наблюдений, обнаружил уменьшение скорости ветра, связанного с Землёй Афродиты, которая является наиболее высокой областью в экваториальных широтах [Bertaux et al., 2016, Patsaeva et al., 2019]. Проведённый нами анализ долготной зависимости зональной скорости ветра для ограниченных интервалов наблюдения показывает, что в то время, как для временных интервалов с более высокой средней скоростью (вторая половина миссии «Венера Экспресс» и первые 1.5 года миссии «Акацуки») над Землёй Афродиты наблюдается максимум зональной скорости, для временных интервалов с более низкой средней скоростью, напротив, над Землёй Афродиты наблюдается эффект «торможения» зонального потока.

Исследование орбитальной эволюции компактной трехпланетной системы GJ 357 на длительных интервалах времени

Перминов А.С. | Кузнецов Э.Д. | УрФУ

Секция: Планеты и планетные системы

GJ 357 – красный карлик вокруг которого обращаются три планеты класса «супер-Земля», открытые в 2019 году методом лучевых скоростей. Масса и наклон орбиты внутренней планеты определены транзитным методом. Система является компактной – планеты расположены на расстоянии от 0.03 до 0.2 а.е. от звезды.

Авторами построена численно-аналитическая теория движения второго порядка по массам планет, которая может быть использована для исследования орбитальной эволюции внесолнечных планетных систем с умеренными значениями эксцентриситетов и наклонов орбит на длительных интервалах времени.

Неизвестные элементы орбит (все долготы восходящих узлов и наклоны орбит двух внешних планет) и известные с ошибками элементы орбит планетной системы GJ 357 варьируются для построения набора начальных условий, используемых при моделировании системы. Предположение об устойчивости наблюдаемых планетных систем позволяет исключить начальные условия приводящие в процессе моделирования к экстремальному росту эксцентриситетов и наклонов орбит. Определены наиболее вероятные с точки зрения устойчивости планетной системы значения неизвестных и известных с ошибками элементов орбит.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, грант 075-15-2020-780 (№ 13.1902.21.0039), тема FEUZ-2020-0038.

Орбитальная эволюция системы Солнце – Юпитер – Сатурн – Уран – Нептун на космогонических интервалах времени

Перминов А.С. | Кузнецов Э.Д. | УрФУ

Секция: Планеты и планетные системы

Авторами построена численно-аналитическая теория движения третьего порядка по массам планет для четырехпланетной задачи. Оскулирующий гамильтониан, записанный в системе координат Якоби, разложен в ряд Пуассона до 3 порядка по массам планет и до 6 степени по элементам второй системы Пуанкаре. Осреднение гамильтониана проведено с помощью метода Хори–Депри по быстрым переменным – средним долготам планет. Далее, построенные аналитически, уравнения движения в средних элементах интегрируются численно.

Исследована орбитальная эволюция планет-гигантов Солнечной системы на интервалах времени до 10 млрд лет. Сравнение полученных результатов с другими численно-аналитическими и численными теориями движения показало их отличное соответствие. Например, различия между периодами изменения эксцентриситетов орбит Юпитера и Сатурна, полученными в рамках построенной теории и по результатам прямого численного моделирования, составляют около 0.01%. Для Урана и Нептуна – 0.3% и 0.6% соответственно.

Построенная теория движения может быть применена для исследования орбитальной эволюции внесолнечных планетных систем с умеренными значениями эксцентриситетов и наклонов орбит, находящихся вне острых резонансов средних движений.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0030.

К вопросу о влиянии формирования планетных систем на химический состав атмосфер родительских звезд

Рябчикова Т.А. | Пахомов Ю.В. | Машонкина Л.И. | Ситнова Т.М. | Неретина М.Д. | ИНАСАН | ИНАСАН | ИНАСАН | ИНАСАН | МГУ

Секция: Планеты и планетные системы

В последнее десятилетие вопрос о влиянии формирования планетных систем на атмосферы родительских звезд широко обсуждается в литературе. Наиболее точные результаты дает сравнительный анализ звезд солнечного типа - компонентов широких двойных систем, где у одной из звезд обнаружена планета. По определению компоненты двойных систем формируются из одного облака и, следовательно, химический состав их атмосфер должен быть идентичным. Мы сравнили результаты детального анализа химического состава 3-х широких пар различной металличности, в которых обнаружены гигантские планеты, вращающиеся в непосредственной близости вокруг одного из компонентов, с результатами такого же исследования 2-х пар без обнаруженных планет. Во всех 5-и двойных системах не было получено значимого различия между химическим составом компонентов, что свидетельствует об отсутствии влияния формирования гигантских газовых планет на атмосферы родительских звезд. Однако, дифференциальный анализ химического состава компонентов относительно солнечного показал наличие значимых корреляций с температурой конденсации пыли Tc, причем с ростом металличности корреляции меняют знак в области Tc~700-1000 K, где проходит граница между летучими и тугоплавкими элементами. Следует отметить, что эти корреляции идентичны для компонентов широких пар и для одиночных звезд подобной металличности независимо от наличия планет-гигантов.

Моделирование спектров отражения астероидов и оценка их таксономических типов и состава вещества

Савелова А.А. | Бусарев В.В. | Щербина М.П. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ, ИНАСАН | ГАИШ МГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Определение состава поверхностного вещества подавляющего большинства астероидов в настоящий момент возможно только путем выполнения дистанционных измерений, а также обработки и моделирования полученных данных. В силу всё возрастающего количества открытых астероидов и данных о них необходимо по возможности автоматизировать процесс обработки подобной информации.

Ранее была написана программа, основанная на аппроксимации спектров отражения астероидов комбинациями спектров отражения минералов и метеоритов из имеющихся баз данных, позволяющая получить количественные оценки состава вещества поверхности астероидов. Кроме того, ранее была написана, а к настоящему моменту доработана, программа, позволяющая оценить таксономический класс астероида по форме его спектра отражения и геометрическому альбедо. С помощью этих программ получены новые результаты для астероидов 93768 и 137199.

Участие крупных не дифференцированных тел в формировании Земли

Сергеев В.Н. | Институт динамики геосфер РАН

Секция: Планеты и планетные системы

В контексте развития ко-аккреционной (статистической) модели происхождения Луны с учетом столкновений крупных ударников с растущей Землей [1] рассмотрен вопрос о возможности участия крупных недифференцированных тел размером в сотни км в формировании Земли. В настоящее время одними из наиболее вероятных механизмов образования планетезималей считаются модели гравитационной неустойчивости в пылевом слое протопланетного диска [2] и «мягкого» гравитационного коллапса, концентрированного за счет потоковой неустойчивости [3] облака пылевых «камешков» [4]. Последний механизм из выше перечисленных допускает образование «рыхлых» планетезималей с заполнением твердым веществом относительно общего объема порядка 40%, размером порядка и менее 1000 км [3]. В качестве подтверждения адекватности модели в [3] приводится пояс астероидов, где относительно небольшие тела с размерами менее 100 км считаются ударными обломками крупных тел, а более крупные – первичными планетезималями. Главными условиями плавления и дифференциации планетезималей являются время их образования относительно времени образования CAI и их состав. Для нагрева планетезималей теплом, выделяемым при радиоактивном распаде короткоживущих изотопов ^{26}Al (период полураспада 7,17•10^{5} лет) и ^{60}Fe (период полураспада 2,62•10^{6} лет), необходимо, чтобы планетезимали образовались в течение не более двух времен полураспада. В последнее время появились модели, допускающие относительно более длительное время образования планетеземалей, чем считалось ранее. В работе [5] приводятся данные, подтверждающие это. По совокупности данных можно считать, что возможность участия крупных недифференцированных тел размером в сотни км в формировании Земли вполне вероятна.

[1] Печерникова Г.В., Сергеев В.Н. Динамические процессы в геосферах. Сборник научных трудов ИДГ РАН. 2019. Вып.11. С. 92–99., [2] Макалкин А.Б. и др. Физика Земли. 2019. № 1. С. 104–121., [3] Колесниченко А.В., Маров М.Я. Астрономический Вестник. 2019. Т. 53. № 3. С. 195–213., [4] Blum J. Space Sci Rev 214, 52 (2018)., [5] Maurel C. et al., Sci. Adv. 2020. 6, eaba 1303.

Анализ многопараметрической модели генетически связанных околоземных метеороидов

Сергиенко М.В. | КФУ

Секция: Планеты и планетные системы

Работа посвящена анализу многопараметрической модели (Сергиенко и др., 2020) для поиска генетических связей между околоземными объектами, которые, возможно, имеют общее происхождение. Поиск возможных генетических связей выполнялся между астероидами, пересекающими орбиту Земли, и малыми метеорными потоками. В работе при идентификации метеороидов, имеющих близкие орбитальные параметры, применялся метод сопоставления многопараметрических критериев. В результате был выполнен поиск родительских тел для потоков k-Цикниды, d-Канкриды и h-Виргиниды с использованием D - критерия Драммонда (Drummond, 1981), метрики Холшевникова (Kholshevnikov и др., 2016), и эволюционных динамических орбитальных параметров. Для значений D-критерия Драммонда и критерия Холшевникова, характеризующих близость орбит астероида и метеоров в пятимерном фазовом пространстве, было исследовано влияние на орбиты астероидов гравитационных возмущений. При идентификации метеороидов были использованы все имеющиеся в открытом доступе каталоги метеорных орбит (КМО), построенные по фотографическим и телевизионным наблюдениям. Следует отметить, что критерии применялись в совокупности, что повысило достоверность результатов поиска генетических связей между малыми телами Солнечной системы. При выполнении отождествления по орбитальным критериям вычислялись пороговые значения с учетом дисперсии орбит метеороидов в потоке, вызванной как неточностью начальных условий при их выбросе родительским телом (РТ), так и последующей эволюции их орбит. С целью исключения инструментальных ошибок, возникающих в процессе наблюдений метеоров, пороговые значения критериев определялись внутри каждого используемого в исследованиях КМО. Для потоков-сирот нахождение возможных РТ производилось на основе анализа мер соответствия критериям интервальными оценками их СКО. Полученные результаты позволили более строго обосновать D-критерии по выделению астероидов, являющихся РТ метеорных потоков. Работа поддержана грантами РНФ 20-12-00105 (разработан метод анализа данных) и РНФ 21-72-10024 (проведены численные расчеты).

1. Сергиенко М.В., и др. Астрономический журн. 2020. № 97/5. С. 432–440.
2. Drummond J.D. Icarus. 1981. V. 45. P. 545–553.
3. Kholshevnikov K.V., et al. MNRAS. 2016. V. 462/2. P. 2275–2283.

Исследование возможных сценариев вековой эволюции орбитальных движений в системе, состоящей из звезды и двух планет

Сидоренко В.В. | Иванова А.В. | ИПМ РАН | МФТИ

Секция: Планеты и планетные системы

Рассматривается экзопланетная система, в которой вокруг центральной звезды вращаются две планеты. В рамках двукратно осредненной плоской неограниченной задачи трех тел изучается эволюция орбитального движения планет, обусловленная их взаимным притяжением. Масса планет существенно меньше массы звезды. Подробно описаны разные сценарии эволюции, указаны стационарные режимы (апсидальные резонансы). Обсуждается реализация этих сценариев в реально существующих экзопланетных системах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 20-01-00312А).

Формирование и особенности первичных пылевых кольцевых структур в протопланетных дисках

Скляревский А.М. | Воробьёв Э.И. | ЮФУ | Институт Астрофизики Университета Вены

Секция: Планеты и планетные системы

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 звезды, 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.

Обнаружение молодого маломассивного бурого карлика GPX-1b транзитным методом

Соков Е.Н. | Paul Benni | Бурданов А.Ю. | Крушинский В.В, | Bonfanti, A. | Hébrard G. | Almenara J. M. | Dalal S. | Demangeon O. D. S. | Tsantaki M. | Pepper J. | Stassun K. G. | Vanderburg A. | Белинский А.А, | Кашаев Ф.В. | Barkaoui K. | Сокова И.А. | Валявин Г. Г. | Дьяченко В.В, | Бескакотов А.С. | Кузнецов Э.Д. | Антонюк К.А. | Pozuelos, F. J. | Kiefer, F. | ГАО РАН | Acton Sky Portal | MIT | УрФУ | Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences; STAR Institute, Université de Liège | Institut d'Astrophysique de Paris, UMR7095 CNRS, Université Pierre & Marie Curie; Observatoire de Haute-Provence, CNRS, Université d'Aix- Marseille | Université Grenoble Alpes | Institut d'Astrophysique de Paris, UMR7095 CNRS, Université Pierre & Marie Curie | Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Universidade do Porto | INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri | Department of Physics, Lehigh University | Department of Physics and Astronomy, Vanderbilt University | Department of Astronomy, The University of Texas at Austin; NASA Sagan Fellow | ГАИШ МГУ | физический факультет МГУ | Astrobiology Research Unit, Université de Liège; Oukaimeden Observatory, High Energy Physics and Astrophysics Laboratory, Cadi Ayyad University | ГАО РАН, СПбГУ | САО РАН | САО РАН | САО РАН | УрФУ | КрАО РАН | Astrobiology Research Unit, Université de Liège; Space sciences, Technologies and Astrophysics Research (STAR) Institute, Université de Liège | Institut d'Astrophysique de Paris, UMR7095 CNRS, Université Pierre & Marie Curie

Секция: Планеты и планетные системы

В рамках интеграции между проектами The Galactic Plane eXoplanet (GPX) survey и EXPANSION нами был открыт новый транзитный коричневый карлик GPX-1 b с массой 19,7 ± 1,6 M_{Jup} и радиусом 1,47 ± 0,10 R_{Jup}. Коричневый карлик был обнаружен фотометрическим методом у умеренно яркой звезды 12,3 звездной величин. Уникальность данного обнаружения заключается в том, что родительская звезда является быстро вращающейся звездой F-типа с прогнозируемой скоростью вращения $v \sin i_* = 40 \pm 10$ км/с. Был использован алгоритм анализа изохрон для определения характеристики родительской звезды, которая имеет эффективную температуру 7000 ± 200 K, массу 1,68 ± 0,10 M_{Sol}, радиус 1,56 ± 0,10 R_{Sol} и приблизительный возраст 0,27 + 0,09−0,15 млрд лет. GPX-1b имеет орбитальный период ~ 1,75 дня и глубину прохождения 0,90 ± 0,03%. Чтобы проверить окрестности звезды GPX-1 на предмет наличия звёздных компонент были проведены спекл-интерферометрические наблюдения на телескопе БТА, а также спектральные измерения на спектрографе SOPHIE, которые - позволили установить наличие субзвездного объекта вокруг звезды-хозяина. Открытый нами GPX-1b - один из примерно двух десятков транзитных коричневых карликов, известных на сегодняшний день, с массой, близкой к теоретической границе перехода массы планеты коричневый карлик – газовый гигант.

Вертикальное распределение водяного пара на Марса, насыщение и потеря воды по данным затменных экспериментов на орбите Марса

Федорова А.А. | Кораблев О.И. | Montmessin F. | Трохимовский А.Ю. | Беляев Д.А. | Лугинин М.С. и ACS и SPICAM teams | ИКИ РАН | ИКИ РАН | LATMOS IPSL, France | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Считается, что на Марсе потеря воды в космос является результатом переноса воды в верхние слои атмосферы, где она диссоциирует на водород и покидает планету. Недавние наблюдения свидетельствуют о значительных сезонных вторжениях воды в верхние слои атмосферы, повышающих содержание водорода. Измерения вертикального распределения водяного пара проводились в течение 8 марсианских лет (2005-2020) в эксперименте СПИКАМ на КА Марс-Экспресс и с 2018 года в эксперименте ACS на КА Trace Gas Orbiter. Такой долгих временной ряд измерений позволил наблюдать подъем воды во время двух глобальных пылевых бурь на Марсе 2007 и 2018 годов, проследить многолетние сезонные вариации высотной воды, а также отклик водородной короны по данным УФ спектрометров на КА Марс-Экспресс, MAVEN и HST. Одновременные наблюдения температур и водяного пара в средней атмосфере позволили показали, что вода во многих случаях присутствует в сильно перенасыщенном состоянии даже при наличии облаков. Это означает, что вероятность утечки воды с Марса выше, чем считалось ранее. В докладе будет представлен обзор результатов по вертикальному распределению водяного пара и его связи с диссипацией водорода на Марсе, полученных за последние годы на КА Марс-Экспресс и TGO.

Поиск неоднородностей профилей блеска экзопланет в инфракрасном спектре на основе анализа вторичных затмений

Федотов А.А. | Балуев Р.В. | СПбГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Картирование экзопланет является следующим шагом для инфракрасных фотометрических исследований этих объектов, которые помогут нам глубже понять физику их атмосфер. Наилучшим кандидатом для подобных исследований являются горячие юпитеры. Они получают большой поток энергии от своих родительских звёзд и должны находится в приливном захвате, что, согласно моделям, должно обеспечивать стационарную картину их атмосферы.

Существует серия статей по картографированию HD189733b. Эта работа ставит своей целью расширение подобных исследований на другие экзопланеты.

Для анализа были выбраны вторичные затмения экзопланет (события, когда планета заходит за звезду для наблюдателя). Подобные затмения позволяют «сканировать» распределение яркости по поверхности планеты, когда её диск постепенно скрывается за звездой. В работе использовались предобработанные данные (BCD) прибора IRAC космического телескопа Spitzer. Для наблюдаемых объектов проводилась апертурная фотометрия с использованием пакетов *astropy* и *photutils*.

На текущем этапе основной задачей было не построение карты, а поиск отклонений наблюдательных данных от модели равномерно яркого планетарного диска. При моделировании вторичного затмения использовались данные планетных систем, полученные другими авторами. Приближение к имеющимся наблюдениям производилось при помощи двух параметров: смещение центра вторичного затмения и отношения яркости планеты и звезды.

Так как инструмент IRAC не был предназначен для высокоточной фотометрии ярких точечных объектов, в данных имеется значительная шумовая составляющая. Её природа различна для разных каналов, но в целом она сводится к росту считываемого сигнала со временем для объектов постоянной яркости (так называемый «detector ramp») и неоднородной чувствительности поверхности отдельных пикселей, дающей колебания яркости объекта при коррекции наведения телескопа. Основная часть работы заключалась в моделировании этих эффектов. Моделирования шума проводилось в рамках гауссового случайного процесса.

Миграция воды в полярные области Луны

Феоктистова Е.А. | Пугачева С.Г. | Шевченко В.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Планеты и планетные системы

Отложения летучих соединений, в том числе водяного льда, были обнаружены в полярных районах Луны при наземных исследованиях и космическими аппаратами. Летучие соединения в полярных районах Луны могли накапливаться в результате деятельности как эндогенных (дегазация недр и вулканическая деятельность) так и экзогенных процессов (солнечный ветер и столкновения с поверхностью метеоритов, астероидов и комет).

Моделирование миграции молекул воды в экзосфере Луны велось методом Монте-Карло. Начальное положение и время начала движения молекул выбиралось произвольно, с одним ограничением – движение частиц всегда начиналось на освещенной стороне Луны. Скорость взлета молекулы определялась распределением Максвелла в зависимости от температуры поверхности, направление и угол старта молекулы определялись случайным образом. Взлетевшие молекулы мигрировали в экзосфере Луны по баллистическим траекториям. Взлетевшие молекулы мигрировали в экзосфере Луны по баллистическим траекториям. Если молекула не была разрушена в полете в результате фотолиза и если ее скорость оказалась недостаточной, чтобы покинуть экзосферу, она опускалась на поверхность. Если частица приземлялась на «ночной» стороне, то принималось, что она остается в данном месте до восхода Солнца. Для оценки вероятности попадания молекул воды в постоянно затененные области в полярных районах Луны мы использовали оценки площади таких областей.

В моделировании в данной работе участвовало 2 000 000 частиц (молекул воды). Согласно полученным результатам, около 0,5% молекул воды покинут экзосферу Луны в результате превышения их скоростью скорости убегания.

В результате фотолиза, будет разрушена большая часть – 69,8 % участвовавших в моделировании молекул. В постоянно затененных областях полярных районов по нашим оценкам осядет около 29,7 % молекул воды. Значительное влияние на возможность попадания молекул воды в «холодные ловушки» в полярных районах Луны оказывает место старта: наибольший вклад в отложения в постоянно затененных областях полярных районов вносят частицы, место старта которых расположено на широтах $\varphi \geq \pm 60°$.

Анализ морфологических особенностей кратеров меркурия на основе новой базы данных

Феоктистова Е.А. | Родионова Ж.Ф. | Жаркова А.Ю. | Завьялов И.Ю. | Коленкина М.М. | Коханов А.А. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ, МИИГАиК | МИИГАиК | МИИГАиК | МИИГАиК

Секция: Планеты и планетные системы

Новый глобальный каталог кратеров Меркурия, содержащий морфологическую и морфометрическую информацию, включает данные о местоположении (широте, долготе), диаметре, глубине и о таких особенностях кратеров, как степень сохранности вала, наличии террас и обрушений на внутреннем склоне, наличие пиков, горок и хребтов, трещин и цепочек, характере дна, лавы на дне, лучевой системы, характере подстилающей поверхности. Новый каталог основан на измерениях координат и диаметров кратеров, выполненных в университете имени Брауна (США) для кратеров диаметром 20 км и более и дополнен кратерами с диаметрами 10-20 км.

Циркуляция облачного слоя Венеры по многолетним наблюдениям дневной стороны планеты камерой VMC/Venus Express в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах

Хатунцев И.В. | Пацаева М.В. | Титов Д.В. | Игнатьев Н.И. | Засова Л.В. | Тюрин А.В. | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ESA/ESTEC | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Venus Monitoring Camera (VMC), работавшая на борту Venus Express вела непрерывные наблюдения облачного покрова южного полушария Венеры на протяжении 9 лет (2006-2015). Был получен беспрецедентный по продолжительности ряд изображений облачного покрова планеты в УФ (365±20 нм), видимом (513±25 нм) и ИК (965±20 нм) спектральных диапазонах. По отслеживанию смещения деталей облачного покрова в УФ диапазоне получена информация по динамике атмосферы на верхней границе облаков (70±2 км) (Khatuntsev et al., 2013; Patsaeva et al., 2015). ИК изображения (965 нм) предоставили информацию о циркуляции в среднем облачном слое (55±4 км) (Khatuntsev et al., 2017). Изображения видимого диапазона позволили получить данные о динамике слоя между УФ и ИК слоями на высотах 57-62 км. Глобальная циркуляция атмосферы соответствует режиму суперротации. Средняя зональная скорость направленного на запад горизонтального потока на экваторе на верхней границе облаков составляет 98 м/с. С погружением в глубину облаков зональная скорость падает на 2 $м \cdot с^{-1} \cdot км^{-1}$. Экспериментально подтверждено наличие на дневной стороне Венеры внутри облаков ячейки Хэдли. На верхней границе наблюдается восходящая от экватора к полюсу ветвь ячейки. Внутри облаков наблюдаются меридиональные потоки, соответствующие нисходящей ветви ячейки с переносом атмосферных масс от полюса к экватору. Скорости горизонтального потока демонстрируют зависимость от местного времени. Эта зависимость наиболее выражена на верхней границе облаков и быстро снижается по мере погружения в глубину венерианских облаков. Обнаружен эффект «торможения» горизонтального потока над материковой возвышенностью Земли Афродиты. На верхней границе облаков степень торможения зависит как от рельефа подстилающей поверхности (Bertaux et al., 2016), так и от местного солнечного времени (Patsaeva et al., 2019). В ИК, в глубине облачного слоя, влияние рельефа на динамические процессы в атмосфере на дневной стороне также присутствует, но в меньшей степени. В видимом диапазоне влияние рельефа присутствует в большей степени, чем в ИК, но эффект менее выражен, чем в УФ.

Роль магнитного поля Сатурна в происхождении колец. Магнитная анизотропная аккреция ледяных диамагнитных частиц протопланетного облака

Черный В.В, | Капранов С.В. | Институт современной науки, SAIBR | Институт биологии южных морей А.О. Ковалевского РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Мы показываем, как возникновение осесимметричного магнитного поля Сатурна могло способствовать образованию колец. Предложен новый механизм происхождения колец Сатурна. Он включает появление дополнительной третьей силы, силы диамагнитного выталкивания частицы диамагнитного льда после возникновения магнитного поля Сатурна и механизма магнитной анизотропной аккреции. Эта сила действует вместе с силой тяжести и центробежной силой на частицы внутри протопланетного облака. Модель позволила понять многие необъясненные до сих пор явления, наблюдаемые в кольцах. Кассини обнаружил 93% льда в частицах колец. Полных знаний о льде в кольцах Сатурна и о льде в космосе нет. Мы знаем 17 видов льда на Земле. Лед XI типа имеет стабильные параметры при температуре колец и является диамагнитным. Наличие магнитного поля Сатурна и низкие температуры вблизи колец приводят нас к идее диамагнетизма частиц колец. Кольца могли возникнуть из частиц льда, движущихся под действием центробежной силы и силы тяжести по хаотическим орбитам вокруг Сатурна в протопланетном облаке после возникновения магнитного поля планеты. После появления силы диамагнитного выталкивания частиц льда все их хаотические орбиты начинают смещаться в плоскость магнитного экватора, где наблюдается минимум магнитной энергии частиц. Каждая частица на магнитном экваторе занимает стабильное положение, и это предотвращает ее горизонтальное и вертикальное смещение. Частицы оказываются разделенными и запертыми в ловушке внутри трехмерной магнитной ямы. Этим объясняется сильная плоскостность колец Сатурна. Существующие теории происхождения колец не подвергаются декомпозиции, их учет вносит некоторые особенности в окончательную картину формирования колец. Известные теории дополняются появлением третьей силы диамагнитного выталкивания и дополнительного механизма магнитной анизотропной аккреции, связанным с возникновением магнитного поля Сатурна на определенном этапе эволюции планеты.

Зональная коррекция ВФ для наблюдения экзопланеты на фоне дифракционной окрестности звезды без применения датчика волнового фронта. Лабораторный эксперимент

Юдаев А.В. | Тавров А.В. | МФТИ | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Для получения астрономических изображений экзопланеты в дифракционной окрестности звезды в видимом диапазоне длин волн требуется зарегистрировать сигнал планеты на фоне 10^9 ... 10^{10} рассеянного сигнала звезды. Такие методы называют высококонтрастными. *Коронографическое* изменение видимого контраста звезды и планеты до возможности регистрации в *коронографическом* изображении окрестности звезды сигнала экзопланеты продиктовано ограниченным динамическим диапазоном фотоприемной камеры ССД (~10^4).

Для целей прецизионной коррекции ВФ в режиме слабых начальных аберраций «p/v» λ/1000 доказано, что пиксельный фазовый модулятор (деформируемое зеркало или фазовый SLM), размещенные в плоскости зрачка оптической системы могут скорректировать спекл-поле *зонально* т. е. в ограниченной области плоскости изображения.

Мы исследовали в лабораторном эксперименте возможность зональной коррекции волнового фронта, используя ССД в плоскости изображения.

Новые спектры отражения астероидов Главного пояса: уточнение таксономических типов и состава вещества

Щербина М.П. | Бусарев В.В. | Барабанов С.И. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ИНАСАН

Секция: Планеты и планетные системы

Астероиды, как безатмосферные тела, являются идеальными объектами для спектрофотометрических наземных исследований в видимом и ближнем ИК диапазонах. Особенности их спектров отражения, а именно минералогические полосы поглощения, достаточно широки, чтобы использовать низкое спектральное разрешение (R ~ 100). Это позволяет значительно увеличить диапазон яркости (и соответственно размеров) объектов, спектральные наблюдения которых осуществляются на 2-3-м телескопах. С помощью анализа общей формы спектров отражения астероидов можно качественно оценить их спектральные классы в соответствии с общепринятыми таксономическими классификациями Толена и Бас-Бинзела, а также по характерному набору минералогических полос поглощения преобладающую минералогию вещества (высокотемпературную или низкотемпературную), указывающую на физико-химические условия происхождения рассматриваемого объекта. В качестве базовой информации используются спектры отражения и данные о составе вещества метеоритов и распространенных в космических условиях минералов из открытых баз данных, таких как ReLAB (США) и база университета Виннипег (Канада). Таким образом, качественная оценка преобладающего минералогического состава вещества астероида контролируется дважды: сравнением его спектра отражения со спектрами минералов, относящихся к предполагаемому минералогическому типу, и со спектрами отражения метеоритов, родительскими телами которых могут быть представители предполагаемого спектрального класса астероидов. Кроме того, нельзя исключить возможность обнаружения новых связей между существующими классами астероидов и химическими группами метеоритов.

ГАИШ МГУ и Институт астрономии РАН совместно участвуют в международной программе «Астрономия в Приэльбрусье» в части спектральных наблюдений астероидов и ядер комет, в том числе сближающихся с Землёй, на основе использования телескопа «Цейсс-2000» со спектрографом низкого разрешения в Терскольском филиале ИНАСАН. В декабре 2020 года нами были получены новые спектры отражения астероидов Главного пояса 13 Эгерия, 19 Фортуна, 52 Европа, 102 Мириам, 177 Ирма, 200 Динамена, 201 Пенелопа, 203 Помпея, 250 Беттина, 266 Алина,

379 Гуенна и 383 Янина. Удалось подтвердить или уточнить ранее установленный спектральный класс каждого из астероидов, а для астероида 203 Помпея определить его впервые. Проведено сравнение спектров отражения астероидов со спектрами метеоритов и минералов, что в некоторых случаях позволило уточнить состав вещества астероидов.

Эволюция пыли в гравитовязких протопланетных дисках

Элбакян В.Г. | Южный Федеральный Университет, Университет Лестера

Секция: Планеты и планетные системы

Формирования планет необходимо изучать начиная с самих ранних этапов роста пыли в молодом протопланетном диске. Частицы пыли играют решающую роль в эволюции протопланетных дисков. Нами изучена динамика и рост пылевых частиц в гравитационно неустойчивых протопланетных дисках в течение начального 1 млн. лет эволюции диска. С использованием кода FEOSAD проведено двухмерное гидродинамическое моделирование самогравитирующих, вязких протопланетных дисков с пылевой компонентой. Рассмотрена эволюция пылевой компоненты, учитывающая коагуляцию, фрагментацию, обмен импульсом с газом и самогравитацию. Обнаружено, что уровень турбулентности в диске сильно влияет на эволюцию пыли. Пыль растет до миллиметровых размеров в диске с параметром вязкости равным $\alpha = 10^{-2}$, а в диске с $\alpha = 10^{-4}$ образуются гальки (pebbles) размером в несколько сантиметров. Показано, что кольцевая структура, содержащая гальку сантиметрового размера, образуется во внутреннем (2-6 а.е.) диске при $\alpha = 10^{-4}$, из-за наличия там сильного пика давления, вызванного значительным изменением вязкости в этой области. Обнаружена, близкая к линейной, корреляция между потоками газа и гальки в диске с $\alpha = 10^{-3}$, тогда как в диске с $\alpha = 10^{-4}$ существует отклонение от корреляции из-за образования кольцевой структуры. Показано, что кольцевая структура может приводить к образованию планетезималей с помощью потоковой неустойчивости и к раннему росту планетарных эмбрионов за счет аккреции гальки.

Сравнение распределения по массам транзитных экзопланет по моделям масса-радиус с эмпирическими и теоретическими данными

Яковлев О.Я. | Ананьева В.И. | Тавров А.В. | ИКИ РАН

Секция: Планеты и планетные системы

Методом транзитной фотометрии обнаружено 76% экзопланет, из них масса измерена только для 15%. В работе исследуются распределения по массе экзопланет, в которых наряду с экзопланетами с измеренным массами учитываются вычисленные массы экзопланет с неизмеренными массами по эмпирическим зависимостям массы от радиуса. Полученные распределения корректировались для снижения эффекта наблюдательной селекции транзитного метода, после чего аппроксимировались степенным законом. Параметры найденных степенных законов согласуются с полученными ранее для эмпирических распределений экзопланет, обнаруженных транзитным методом и (отдельно) обнаруженных методом измерения лучевых скоростей, а также с распределением для теоретической выборки, сгенерированной методом популяционного синтеза. Таким образом, распределения экзопланет, полученные разными методами, в целом согласуются между собой. Не согласуются распределения транзитных планет по массам, чьи массы измерены TTV методом.

Всероссийская астрономическая конференция

Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

2021

Радиопульсары

Бескин В.С. | ФИАН, МФТИ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

В теории радиопульсаров сейчас имеет место явное оживление. Уже двадцать лет активно развивается теория магнитосферы нейтронных звезд, а в последние несколько лет появилось с десяток серьезных работ и по теории радиоизлучения, чего не было лет двадцать-тридцать. Тем не менее, до сих пор многие ключевые вопросы, сформулированные на самом деле еще в семидесятых годах прошлого века, остаются без ответов. К ним, например, относится вопрос о том, в область малых или больших (порядка 90 градусов) углов эволюционирует угол наклона оси магнитного диполя к оси вращения. До сих пор неизвестно также, наблюдаются ли радиопульсары при произвольном угле наклона, или же только при углах больших или меньших 90 градусов, как, впрочем, и вопрос о 'линии смерти' на диаграмме P-Pdot. В докладе предполагается сделать подробный обзор, посвященный этим вопросам, основанный на подробном анализе закона эволюции радиопульсаров. В частности, обсуждаются возможные тесты, которые могли бы пролить свет на эти вопросы.

Ультраяркий рентгеновский источник с нейтронной звездой в старом звездном скоплении

Атапин К.Е. | Винокуров А.С. | ГАИШ МГУ | САО РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Ультраяркими рентгеновскими источниками (ULX) называются аккрецирующие двойные системы вне нашей Галактики, светимость которых превышает Эддингтоновский предел для чёрной дыры массой 15Msun. Несколько лет назад стало известно, что как минимум часть ULX является нейтронными звездами. В большинстве случаев вывод о наличии нейтронной звезды в них был сделан благодаря детектированию когерентных пульсаций их рентгеновского излучения. Но также известен один источник (M51 ULX-8), у которого пульсаций не наблюдается, но о присутствии нейтронной звезды говорит обнаружение линии циклотронного поглощения в рентгеновском спектре, свидетельствующей о мощном магнитом поле объекта. Мы сообщаем об открытие ещё одного объекта такого типа. Данный ULX имеет жесткий спектр с мощной абсорбционной линией в районе ~7.5кэВ, что соответствует магнитному полю 10^12Гс. Дополнительный интерес представляет тот факт, что объект проецируется на старое скопление (или находится в нем) с возрастом, по крайней мере, несколько сотен миллионов лет.

Влияние мелкомасштабного поля на нагрев полярной шапки радиопульсара J0250+5854

Барсуков Д.П. | Воронцов М.В. | Морозов И.К. | Попов А.Н. | Матевосян А.А. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | СПбПУ | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | СПбПУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Пульсар J0250+5854 имеет период вращения P = 23.5 сек и является наиболее медленно вращающимся среди одиночных радиопульсаров. Мы рассматриваем влияние величины мелкомасштабного магнитного поля в моделе смещенного диполя на обратный ток позитронов во внутреннем зазоре и связанный с ним нагрев полярной шапки пульсара. Пульсар рассматривается в модели "внутреннего зазора" со свободным истечением частиц с поверхности нейтронной звезды. Учитывается только рождение электрон-позитронных пар при поглощении квантов изгибного излучения в магнитном поле. При этом предполагается, что часть пар может рождаться в связанном состоянии -- в виде позитрониев, которые затем фотоионизируются тепловыми фотонами с поверхности звезды.

Средние профили радиопульсаров, генерируемых необыкновенной модой

Бескин В.С. | Андрианов А.С. | Михайленко А.Г. | ФИАН, МФТИ | ФИАН | МФТИ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Проведено детальное исследование преломления обыкновенной волны в магнитосфере радиопульсаров. Для этого была построена последовательная теория генерации вторичных частиц, существенно учитывающая зависимость плотности и энергетического спектра вторичных частиц от расстояния от магнитной оси. Это позволило с высокой точностью определить преломление обычной О-моды в центральной области истекающей плазмы, что позволяет объяснить центральный пик трехгорбых средних профилей радиопульсаров, имеющих трехгорбый средний профиль.

Эволюция магнитного угла у аккрецирующих нейтронных звёзд

Бирюков А.В. | Аболмасов П.К. | ГАИШ МГУ | Университет Турку

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

В работе исследуется эволюция магнитного угла (между осью вращения и магнитной осью) нейтронной звезды в ходе дисковой аккреции. Эволюция вращения звезды рассматривается с механической точки зрения, с учётом внешних моментов сил со стороны аккреционного диска. Обсуждается учёт пульсарного механизма замедления в ходе аккреции. Также учитывается подавление магнитного поля аккрецирующим веществом.

Показывается, что если в начальный момент времени ось вращения НЗ не совпадает с осью диска, то существует сравнительно короткий (в несколько тысяч лет) период, в течении которого магнитный угол звезды увеличивается на величину до 10-25 градусов. То есть аккреция способствует магнитной ортогонализации звезды. После чего эволюция угла практически останавливается.

Моделирование эволюции угла было проведено для разных комбинаций замагниченности звезды и темпа аккреции на неё. В работе дополнительно обсуждается ряд возможных модификаций использованной модели, а также эволюция магнитного угла в рамках ветровой аккреции. Результаты сопоставляются с существующими наблюдательными данными.

Подробнее о работе в arXiv:2105.00754

Построение нулевых геодезических в поле кротовой норы

Бугаев М.А. | Новиков И.Д. | Репин С.В. | Шелковникова А.А. | МФТИ | АКЦ ФИАН | АКЦ ФИАН | Физико-математическая школа № 2007

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Для построения тени кротовой норы необходимо вычислить большое количество (несколько миллионов) траекторий квантов, т.е. нулевых геодезических. Самым удобным с точки зрения производительности является численное решение системы шести обыкновенных дифференциальных уравнений. Эта система во многих случаях оказывается жесткой и для ее интегрирования нужно применять метод Гира или разностные схемы высокого порядка.

Анализ показывает, что сложнее всего интегрируются траектории, проходящие вблизи горловины кротовой норы с прицельным параметром, близким к радиусу горловины. Это относится как к квантам, которые остаются в нашем пространстве-времени, так и к тем, что проходят сквозь кротовую нору. Такие кванты могут совершать несколько оборотов прежде чем уйти на бесконечность или пройти сквозь горловину кротовой норы. В работе приведены самые сложные из найденных траекторий, и проанализировано количество шагов интегрирования, необходимых для получения этих траекторий с заданной относительной точностью. Для сравнения приведены аналогичные траектории в поле черной дыры Шварцшильда.

Тени черных дыр и кротовых нор на фоне стандартного экрана: сходства и отличия

Бугаев М.А. | Новиков И.Д. | Репин С.В. | Шелковникова А.А. | МФТИ | АКЦ ФИАН | АКЦ ФИАН | Физико-математическая школа № 2007

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Рассматривается задача об искривлении и рассеянии лучей света, проходящих снаружи входа в кротовую нору с нулевой гравитационной массой. Исследуется процесс захвата лучей кротовой норой и процесс образования тени при освещении ее стандартным экраном. Проводится сравнение этих процессов со случаем движения света в окресности черной дыры Шварцшильда.

В работе построена тень безмассовой кротовой норы на фоне далекого бесконечного экрана, равномерно излучающего по всем направлениям (ламбертовский источник) и распределение наблюдаемой интенсивности излучения вблизи ее границы. Показано, что тень является кругом с кольцами (бесконечным количеством колец) сблизи внутреннего края тени. Прицельный параметр луча, определяющего край тени равен 1.092q, где q - радиус горловины кротовой норы. При приближении к внешним границам тени интенсивность излучения в короне возрастает на несколько порядков и в логарифмическом масштабе оказывается нелинейной.

Сравнения с тенью черной дыры Шварцшильда на фоне такого же экрана показывает, что положение яркого кольца внутри силуэта тени сильно различается для черной дыры и кротовой норы и это может служить одним из признаков, по которым эти объекты можно отличить друг от друга. Еще одним признаком может служить распределение интенсивности излучения в экваториальном сечении тени. Возрастание интенсивности видимого излучения короны при приближении к границам тени оказывается более резким для кротовой норы и более пологим для черной дыры Шварцшильда.

Мера вращения и вертикальная структура аккреционных дисков

Булдаков М.А. | Васильев Е.О. | Андрианов А.С. | АКЦ ФИАН | ЮФУ | АКЦ ФИАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Мера вращения может характеризовать свойства МГД-турбулентности, которая возникает в аккреционных дисках различных типов. Измеряемая в аккреционных дисках мера вращения усредняется по большим объемам и может иметь сложную знакопеременную структуру. С помощью МГД-кода Pluto было проведено моделирование фрагмента аккреционного диска в приближении shearing box до 160 оборотов диска. Получены карты меры вращения для случая лучей зрения, перпендикулярных плоскости диска. Исследована временная эволюция турбулентных характеристик диска (α-параметра, напряжения Максвелла), потока массы газа через вертикальные границы и усредненной по объему меры вращения. Временные эволюции этих величин имеют сходную структуру, которая определяется высокочастотными турбулентными флуктуациями и квазипериодическими структурами с периодом порядка 10 оборотов диска, которые могут быть связаны с динамо-эффектом. Обнаружены корреляции между временными зависимостями α-параметра, потока массы газа и меры вращения. Такие корреляции видны в моделях с тремя различными конфигурациями магнитного поля и значениями плазменного β от 1 до 10^3. Рассматривается вопрос о происхождении корреляций и их связи с динамо-эффектом.

Глобальная конфигурация магнитного поля в джетах активных ядер галактик

Бутузова М.С. | Пушкарев А.Б. | КрАО РАН / АКЦ ФИАН | КрАО РАН / АКЦ ФИАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Мы анализируем данные наблюдений более чем 400 парсековых джетов активных ядер галактик, полученных в 1996 – 2019 годах на VLBA в рамках проекта MOJAVE и других поляриметрических программ на частоте 15 ГГц. Для каждого источника были восстановлены хребтовые линии выброса в полной интенсивности и проведен анализ поперечных к локальному направлению струи профилей полной и поляризованной интенсивности, степени и направления линейной поляризации. Как правило, поперечные профили степени поляризации за пределами области РСДБ-ядра показывают U-образную форму, а объект BL Lacertae – W-образную. При этом во многих источниках наблюдается канал-оболочечная поляризационная структура, в которой электрический вектор сонаправлен выбросу в центральном канале и перпендикулярен на краях джета. Это может объясняться как наличием реальной канал-оболочечной структуры выброса, так и спиральным характером магнитного поля в релятивистском джете.

Моделирование свойств поляризации проводилось с учетом (i) релятивистского движения излучающей области; (ii) винтовой формы джета (и частного случая линейной струи); (iii) нерадиального движения деталей джета. При этом мы задавали как полностью спиральное магнитное поле с различным углом закрутки силовых линий, так и тороидальное поле в центре (канал) и продольное на краях джета (оболочка). В последнем случае мы рассматривали как различную толщину оболочки, так и различную ее скорость, которая задавалась как равной скорости канала, так и существенно меньшей. Установлено, что теоретические распределения интенсивности полного и поляризационного потока, степени поляризации и направления электрического вектора согласуются с наблюдаемыми, если поперечная структура джета включает в себя быстро движущийся канал и более медленную оболочку. При этом сам джет имеет винтовую форму и движется не только наружу, но и проворачивается вокруг своей оси. (Исследование поддержано грантом РНФ 21-12-00241).

Возможность регистрации гравитационных волн от галактических тесных двойных массивных звездных систем

Вольвач А.Е. | Вольвач Л.Н. | Ларионов М.Г. | КрАО РАН | КрАО РАН | АКЦ ФИАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Рассмотрена возможность обнаружения гравитационных волн от тесных двойных массивных звездных систем. Галактические тесные двойные массивные звездные системы могут составить конкуренцию самым мощным сверхмассивным черным дырам по регистрации гравитационных волн на поверхности Земли, а при определенных условиях они могут значительно превосходить их. На примере W49N показано, что такая система может излучать гравитационные волны, плотность потока которых на Земле сравнима с плотностью потока от перспективного внегалактического источника OJ 287. Чтобы получить идентичные плотности потока гравитационных волн на поверхности Земли из OJ287 и W49N, достаточно иметь массивные звезды в W49N. Регистрация гравитационных волн от источников в течение длительных периодов времени в диапазоне от наногерц до нескольких десятков микрогерц более предпочтительна для детекторов International Pulsar Timing Array.

Volvach et. al., MNRAS 496, L147-L151 (2020).

Двойная черная дыра 3C 434.3 и мощное гравитационное волновое излучение

Вольвач А.Е. | Вольвач Л.Н. | Ларионов М.Г. | КрАО РАН | КрАО РАН | АКЦ ФИАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

На основе полученных данных рассмотрены характеристики гравитационного излучения двойной системы из сверхмассивных черных дыр 3C454.3, а также время жизни до слияния и возможные вариации орбит компаньона. Из-за постоянного присутствия компаньйона в плотной неоднородной среде аккреционного диска возрастает роль динамического трения для динамики всей системы. В первую очередь это связано с процессом расчета уровня излучения гравитационных волн, который в этом случае возрастает. Эта ситуация позволяет предположить увеличение вероятности обнаружения гравитационных волн, исходящих от 3C 454.3. Рассмотрены варианты излучения электромагнитных и гравитационных волн, идущих от 3C 454.3 в различных состояниях активности объекта. Оценки уровня гравитационных волн, исходящих от блазара 3C 454.3, показывают, что 3C 454.3 в настоящее время является самым мощным излучателем гравитационных волн. Двойные системы из сверхмассивных черных дыр излучают гравитационные волны на частотах 10^{-8} – 10^{-9} Гц. В этом случае для регистрации таких «растянутых» событий лучше всего подходят детекторы установки IPTA, работающие как раз в этом диапазоне частот.

Volvach et. al., A&A 648, A27 (2021).

Слияния первичных черных дыр в компактных кластерах

Ерошенко Ю.Н. | ИЯИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Рассмотрено слияние первичных черных дыр (ПЧД) в компактных кластерах в предположении, что ПЧД составляют всю темную материю во Вселенной. При слиянии двух ПЧД часть их массы трансформируется в гравитационные волны, и ПЧД в кластерах могли испытать по несколько последовательных слияний. Если перекачка массы происходила после рекомбинации, но на красных смещениях z>10, то плотность темной материи в сопутствующем объеме уменьшилась. В то же время, сгенерированное гравитационное излучение испытало к настоящему времени космологическое красное смещение и не дает заметного вклада в современную плотность Вселенной. Этот процесс повышает темп космологического расширения в эпоху рекомбинации по сравнению с моделями без перекачки массы. Соответственно, изменяется постоянная Хаббла, получаемая по измерениям в ранней Вселенной, что может служить решением проблемы "Hubble tension".

Ограничения на природу оптической излучающей области блазара S5 0716+714 из долговременной переменности

Горбачев М.А. | Бутузова М.С. | Сергеев С.Г. | Назаров С.В. | КФУ, КрАО РАН | КФУ, КрАО РАН | КрАО РАН | КрАО РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Мы анализируем данные B-, V-, R-, I-фотометрии блазара S5 0716+714, полученные в Крымской астрофизической обсерватории РАН с 2002 по 2019 год в предположении образования долговременной переменности за счет изменения допплер-фактора излучающей области. При этом спектр излучения полагаем отклоняющимся от степенного закона из-за действия синхротронного самопоглощения или вследствие сильных радиационных потерь ультрарелятивистскими электронами энергии. А именно, мы рассматриваем несколько различных предположений на излучающую область. Прежде всего, по аналогии с результатами исследования джетов с помощью РСДБ, считаем, что область, из которой приходит практически все наблюдаемое излучение, представляет собой часть джета, где среда становится оптически прозрачной для излучения данной частоты (оптическое ядро). Так как в джете возможно наличие неустойчивостей и турбулентности, то некоторые части излучающей области отклоняются от общей траектории движения, при этом их допплер-фактор изменяется, что позволяет рассматривать их ответственными за переменность. Другой вариант предполагает, что наблюдаемое излучение приходит от оптического ядра (переменный компонент) и более протяженного джета (постоянный компонент), где среда уже оптически прозрачная. Тогда переменность в основном создается изменением допплер-фактора ядра. В заключении рассматриваем предположение, что оптически излучающая область прозрачна, а изогнутый спектр излучения образуется за счет присутствия излома в спектре излучающих электронов. Как и в первом случае, за переменность ответственны части излучающей области, отклоняющиеся от общей траектории движения. Мы получили, что наблюдающиеся устойчивые на протяжении примерно 20 лет цветовые характеристики переменности блазара S5 0716+714 хорошо объясняются в предположении образования переменности за счет изменения Допплер-фактора при условии сопоставимых вкладов в общий поток излучения от областей с оптически толстой и тонкой средой. Это означает наличие у блазара яркого оптического джета. При этом оценки магнитного поля в предположении размера оптического ядра в один гравитационный радиус черной дыры массой 10^8-10^9 масс Солнца согласуются с другими независимыми оценками магнитного поля вблизи начала джета.

Фазово-разрешенная спектроскопия транзиентного рентгеновского пульсара XTE J1946+274

Горбан А.С. | Мольков С.В. | Цыганков С.С. | Лутовинов А.А. | НИУ ВШЭ, ИКИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

В настоящей работе представлены результаты анализа транзиентного рентгеновского пульсара XTE J1946+274 по данным наблюдений в июне 2018 года обсерваторией NuSTAR в широком диапазоне энергий от 3 до 79 кэВ и Swift/XRT в диапазоне 0.2 - 10 кэВ. Спектральный анализ подтвердил наличие циклотронной особенности на энергии ~38 кэВ в среднем энергетическом спектре. С помощью фазово-разрешенной спектроскопии были исследованы спектральные параметры излучения в зависимости от фазы вращения нейтронной звезды. Также фазированная спектроскопия показала, что энергия циклотронной линии значительно меняется от фазы пульсаций, при этом оптическая ширина и толща линии также демонстрируют переменность. Обнаружено, что величина эквивалентной ширины линии железа меняется в зависимости от фазы импульса. Временная задержка между излучением в линии железа и основным излучением, позволяет предположить, что излучение отражается от внешних областей аккреционного диска.

Оптическое отождествление рентгеновских источников, обнаруженных телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского в ходе обзора всего неба

Зазнобин И.А. | Сазонов С.Ю. | Буренин Р.А. | Усков Г.С. | ИКИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Представлены результаты отождествления 11 объектов из каталога рентгеновских источников, зарегистрированных в диапазоне энергий 4-12 кэВ телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ в ходе обзора всего неба. Из них три открыты телескопом ART-XC, а восемь уже были известны ранее как рентгеновские источники, но их природа оставалась не установленной. Последние восемь источников были зарегистрированы также в мягких рентгеновских лучах телескопом eROSITA обсерватории СРГ. Оптические наблюдения проводились на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150). Все исследованные объекты оказались активными ядрами галактик (АЯГ) на красных смещениях от 0.019 до 0.283 и катаклизмическими переменными звездами со светимостями в рентгеновском диапазоне, превышающим 10^32 эрг/с. Из числа АЯГ шесть - сейфертовские галактики второго типа, один - "скрытое" АЯГ (в галактике, наблюдаемой с ребра) и один сейфертовская галактика первого типа с узкими линиями. Последний объект характеризуется высокой рентгеновской светимостью и, согласно полученной оценке массы черной дыры, близким к эддингтоновскому пределу темпом аккреции. Все три АЯГ, открытые телескопом ART-XC (которые не регистрируются телескопом eROSITA), характеризуются большим поглощением на луче зрения Nh > 3 x 10^23 см-2. Полученные результаты подтверждают ожидания, что телескоп ART-XC является эффективным инструментом для поиска катаклизмических переменных звезд нашей галактики, а также сильно поглощенных и других интересных АЯГ в близкой (z<0.3) Вселенной. Обзор неба обсерватории СРГ продлится еще больше 3 лет, что должно позволить открыть еще много таких объектов.

Связь переменности и усредненных по эпохам свойств линейной поляризации парсековых радиоджетов активных ядер галактик

Зобнина Д. | Пушкарев А. | Пащенко И. | Ковалев Ю.Ю. | Lister Matthew | Savolainen Tuomas | Aller Margo | Aller Hugh | Hodge Mary | АКЦ ФИАН | КрАО РАН | АКЦ ФИАН | АКЦ ФИАН | Purdue University | Aalto University Metsähovi Radio Observatory | University of Michigan | University of Michigan | Purdue University

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Целью нашего исследования является изучение магнитного поля парсековых джетов активных ядер галактик с помощью метода усреднения данных о линейной поляризации по эпохам наблюдений (так называемый стакинг). Мы использовали РСДБ наблюдения, проведенные в рамках программы мониторинга активных ядер MOJAVE (Monitoring of Jets in AGN with VLBA Experiments), а также архивные наблюдения на частоте 15 ГГц с 1996 по 2019 гг. Были построены усредненные по эпохам (стаковые) карты поляризационного потока, степени и направления поляризации (EVPA) для нескольких сотен объектов. Одним из результатов анализа распределения этих величин вдоль хребтовой линии в полной интенсивности является увеличение степени поляризации с расстоянием от ядра. Были также построены карты переменности степени поляризации и EVPA. Совместный анализ стаковых карт и карт переменности показал наличие значимых антикорреляций вдоль хребтовой линии: (i) переменность EVPA против усредненной степени поляризации, (ii) переменность степени поляризации относительно стакового значения против усредненной степени поляризации. Полученные результаты можно объяснить уменьшением переменности и увеличением однородности магнитного поля вниз по джету.

Диффузия тепла во внешней коре и рентгеновские сверхвсплески аккрецирующих нейтронных звезд

Каминкер А.Д. | Яковлев Д.Г. | Потехин А.Ю. | Haensel P. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | Nicolaus Copernicus Astronomical Center PAS

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Развита упрощенная модель диффузии тепла, выделяемого во время сверхмощной термоядерной вспышки в глубоких слоях внешней коры (10^7 \lesssim \rho \lesssim 4 \times 10^{11} г/см^3) аккрецирующей нейтронной звезды. Показано, что теплая (T \sim 10^8 - 10^9 K) внешняя кора обладает большой теплоемкостью и действует как резервуар тепла, который способен удерживать выделившееся тепло в течение нескольких месяцев. Сформулированы основные особенности удержания и распространения тепла, которые могут быть полезны для интерпретации сверхвсплесков аккрецирующих нейтронных звезд в маломассивных рентгеновских двойных.

Работа АП и ДЯ поддержана РНФ (грант 19-12-00133)

РАТАН-600 спектры как индикаторы протонных струй в блазарах — источниках нейтрино

Ковалев Ю.А. | Ковалев Ю.Ю. | Сотникова Ю.В. | Троицкий С.В. | Попков А.В. | Плавин А.В. | Эркенова А.К. | АКЦ ФИАН | АКЦ ФИАН | САО РАН | ИЯИ РАН | МФТИ | АКЦ ФИАН | САО РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Представлены основные типы мгновенных 5-частотных 2-22 ГГц спектров для полной по плотности РСДБ-потока выборки около 600 активных галактик и квазаров. Объекты наблюдаются на РАТАН-600 с 2020 года по нейтринному проекту. Показано, что большинство спектров обладает компонентом, который успешно моделируется радиоизлучением струи релятивистских протонов в сильном продольном магнитном поле (модель, феноменологически предложенная Н.С.Кардашевым в 1969 г.). Используя известную базу данных CATS САО РАН, наблюдения дополняются до интервала частот 0.1-1000 ГГц. Оценивается величина магнитного поля и яркостная температура. Наблюдается синхротронное радиоизлучение ГэВ-ных протонов. Предполагается, что протоны струи из ТэВ-ной области энергетического распределения могут рождать нейтрино согласно Plavin et al. Aph.J. (2020).

Новые результаты по рентгеновским наблюдениям Her X-1 на спутниках SRG и Fermi

Колесников Д.А. | Шакура Н.И. | Постнов К.А. | Медведев П.С. | Сюняев Р.А. | Гильфанов М.Р. | Молков С.В. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ИКИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

На российско-немецком спутнике Спектр-Ренген-Гамма (СРГ), были проведены две серии наблюдений рентгеновской двойной системы Her X-1/HZ Her в ходе первого и второго обзора всего неба. Оба наблюдения произошли в низком состоянии рентгеновского источника, при котором внешние части аккреционного диска закрыли нейтронную звезду. В обоих наблюдениях была зарегистрирована орбитальная модуляция рентгеновского потока. В работе показано, что зарегистрированное рентгеновское излучение было рассеяно (1) оптически тонкой горячей короной с температурой 2-4 миллиона К над облучённой частью звезды-донора, (2) оптически тонкой горячей короной над аккреционным диском и (3) оптически толстой холодной атмосферой звезды-донора.

Наблюдения на спутнике Fermi/GBM показали, что период рентгеновского пульсара Her X-1 подвержен периодическим суб-миллисекундным вариациям с периодом 35 дней. Мы объясняем эти вариации в рамках модели свободной прецессии нейтронной звезды с параметрами, независимо определёнными из анализа эволюции рентгеновских пульсов с 35-дневным периодом. Вместе с физически обоснованным взаимодействием магнитосферы нейтронной звезды и аккреционного диска, модель также воспроизводит модуляцию рентгеновского потока.

Диффузия как источник мощной диссипации в сверхпроводящих нейтронных звездах

Краав К. Ю. | Гусаков М. Е. | Кантор Е. М. | ФТИ им. Иоффе

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Несмотря на то, что различные сорта частиц в ядрах нейтронных звезд могут диффундировать друг относительно друга, влиянием этой диффузии на различные физические явления, связанные с колебаниями нейтронных звезд, как правило пренебрегается. В данной работе мы показываем, что диффузия может быть крайне мощным диссипативным механизмом в сверхпроводящих нейтронных звездах. В частности, она может быть значительно эффективнее, чем сдвиговая и объемная вязкости. Этот результат может оказать значительное влияние на времена затухания колебаний нейтронных звезд, развитие и насыщение в них динамических неустойчивостей, а также на возбуждение и взаимодействие колебательных мод в нейтронных звездах, находящихся на последних стадиях эволюции в двойных системах системах перед слиянием.

Локализация области генерации гамма-излучения в активных ядрах галактик по данным многолетних наблюдений РСДБ и Fermi

Крамаренко И.Г. | Пушкарев А.Б. | Ковалев Ю.Ю. | Lister M.L. | Hovatta T. | Savolainen T. | МФТИ | КрАО РАН | ФИАН | Purdue University | University of Turku | Aalto University

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Целью работы было определение местоположения области формирования гамма-излучения в активных ядрах галактик на основе выборки из более чем трехсот источников, наблюдавшихся космическим гамма-телескопом Fermi с момента его запуска в 2008 году. Для этого проверялось наличие статистически значимой временно́й задержки между спектральной плотностью потока радиоизлучения на 15 ГГц, полученной на радиоинтерферометре VLBA, и гамма-потоком в диапазоне 0.1–300 ГэВ. Корреляционный анализ показал, что в системе отсчета источника излучение в радиодиапазоне отстает от гамма-излучения, как правило, на два-три месяца. При этом джет вне центральной компактной области привносит вклад в значимую корреляцию на бо́льших временны́х задержках. Сделан вывод о том, что гамма-излучение преимущественно рождается в пределах VLBA ядра на 15 ГГц. Совместный анализ результатов измерений временны́х задержек излучения, кинематики выбросов, а также частотного сдвига положения ядра позволил установить, что зона формирования гамма-излучения находится на расстоянии нескольких парсек от черной дыры, т.е. за пределами области широких эмиссионных линий. При этом ее размер не превышает нескольких сотых парсек, что в несколько раз меньше типичной ширины радиоструи на данном расстоянии от центра активной галактики.

Рентгеновская морфология пульсарных туманностей: влияние движения локальной среды

Левенфиш К.П. | Пономарёв Г.А. | Петров А.Е. | ФТИ им. А.Ф.Иоффе | СПбПУ, ФТИ им. Иоффе | ФТИ им. А.Ф.Иоффе

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Исследовано движение пульсара относительно локальной среды родительского остатка сверхновой. Показано, что даже дозвуковое движение радикально меняет видимую картину рентгеновского излучения его пульсарной туманности. Учет этого движения помогает избежать ложного отождествления туманностей как одноторовых (как Крабовидная), либо же двухторовых (как Вела) объектов. Найдено, что рентгеновская морфология пульсарных туманностей позволяет обнаружить движение локальной среды и, при известном собственном движении пульсара, оценить его направление и скорость, даже в отсутствии эмиссионных линий в излучении самой среды

Моделирование вспышек вязких аккреционных дисков вокруг компактных объектов

Липунова Г. | Маланчев К. | Авакян А. | Шакура Н. | Цыганков С. | Тавлеев А. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ, КФУ | Университет Турку, ИКИ РАН | ГАИШ МГУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Увеличения темпа аккреции в дисках вокруг компактных объектов наблюдаются как вспышки в широком диапазоне спектра. В распоряжении современных исследователей есть и аналитические и численные модели нестационарных дисков, причем последние позволяют учесть комплекс важных эффектов. Среди них - самооблучение диска излучением его центральных областей, ветер с поверхности диска, взаимодействие диска и магнитосферы центральной звезды. В докладе обсуждаются результаты моделирования вспышек двух рентгеновских транзиентов - с черной дырой (4U 1543-47) и нейтронной звездой (Aql X-1).

Анализ неопределённости измерения светимости рентгеновских пульсаров с аккреционной колонкой

Маркозов И.Д. | Муштуков А.А. | Нагирнер Д.И. | СПбГУ | Leiden University | СПбГУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Рентгеновские пульсары - это нейтронные звёзды в двойных системах, на которые происходит аккреция со стороны звезды компаньона. При больших темпах аккреции над поверхностью полюсов пульсара должна возникать светящаяся аккреционная колонка, размеры которой могут достигать радиуса самой нейтронной звезды. Излучение от колонки частично уходит на бесконечность, частично попадает в поверхность нейтронной звезды и отражается от неё. Таким образом, наблюдатель видит как прямое излучение колонки, так и отражённое поверхностью. Суммарное излучение нейтронной звезды имеет сильно анизотропную диаграмму направленности, причём изначальная анизотропия значительно усиливается эффектом гравитационного линзирования. Поток, приходящий к конкретному наблюдателю сильно зависит от угла между осью вращения нейтронной звезды и магнитной осью, а также между осью вращения и направлением луча зрения. Для измерения светимости проводится усреднение потока по профилю пульса, однако точное определение вышеупомянутых углов, от которых должна зависеть полученная светимость, в данный момент не является возможным. В данной работе представлен анализ возможных ошибок в измерении светимости рентгеновского пульсара с аккреционной колонкой, связанных с невозможностью точно измерить ориентацию нейтронной звезды в пространстве. Для этих целей создана программа, моделирующая профили пульса с учётом гравитационного линзирования и отражения излучения колонки от поверхности нейтронной звезды. Показано, что дисперсия наблюдаемой светимости растёт с увеличением высоты колонки, однако не превышает истинной светимости, а вероятность ошибиться на порядок является крайне маловероятным событием для всех возможных значений размера колонки.

Рентгеновская переменность источников вблизи Северного полюса эклиптики по данным обзора СРГ/eROSITA

Медведев П. С. | ИКИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Космическая обсерватория "Спектр-Рентген-Гамма", успешно стартовавшая с космодрома Байконур летом 2019 года, завершает третий рентгеновский обзор всего неба. Космический аппарат выполняет съемку неба путем непрерывного сканирования, обращаясь вокруг оси аппарата ориентированной в направлении на Солнце. В результате такой стратегии, небольшие регионы вблизи северного и южного полюсов эклиптики (~10 кв. градусов) оказываются в области непрерывной видимости обсерватории, за счет чего в них достигается наибольшая глубина обзора. В докладе будут представлены первые результаты исследования переменности рентгеновских источников в области северного полюса эклиптики (NEP) --- особенно важного региона неба для внегалактических исследований. Непрерывные рентгеновские кривые блеска, полученные телескопом eROSITA в диапазоне энергий 0.2-8 кэВ, представляют еще больший интерес в свете богатого набора многоволновых данных, как уже завершенных глубоких обзоров NEP (таких как ROSAT, AKARI, Herschel, HEROES, CFHT), так и планируемых миссий (например, Euclid, SPHEREx, James Webb). Эти и другие данные позволяют точно определять и классифицировать источники рентгеновского излучения, предоставляя мощный инструмент исследования переменности рентгеновского излучения разного класса внегалактических объектов.

Космическая гравитационно-волновая обсерватория TianQin: концепция и современное состояние реализации проекта

Милюков В.К. | международная коллаборация TianQi | ГАИШ МГУ | Университет им. Сунь Ят Сена, Гуанчоу, Китай

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Проект TianQin - это космическая гравитационно-волновая (ГВ) обсерватория, состоящая из трех космических аппаратов на геоцентрической круговой орбите радиусом около 105 км. Группировка космических аппаратов образует равносторонний треугольник, плоскость которого почти перпендикулярна плоскости эклиптики. Научная цель TianQin – обнаружение гравитационных волн в диапазоне от 10-4 Гц до 1 Гц, которые могут генерироваться широким спектром важных астрофизических и космологических источников. Чтобы обсерватория могла начать научную деятельность примерно в 2035 году, разработана дорожная карта («План 0123»), цель которой доведение ключевых технологий TianQin до требуемого уровня точности. Для реализации этой цели создан ряд исследовательских центров. В настоящее время осуществляются два первых этапа «Плана 0123». В ходе реализации проекта станция лазерной локации Луны, оснащенная 1.2 м телескопом, которая успешно лоцировала все пять ретрорефлекторов, находящихся на Луне. С целью тестирования создаваемых технологий 20 декабря 2019 года был запущен экспериментальный спутник TianQin-1. Первые результаты показывают, что научное оборудование, установленное на спутнике, превосходит технологические требования миссии. В настоящее время ведется подготовка следующего этапа – TianQin-2: основной целью которого является запуск спутников-близнецов для тестирования и демонстрации готовности межспутниковой лазерной интерферометрии – ключевой технологии будущей гравитационно-волновой обсерватории.

Работа выполнена в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ “Фундаментальные и прикладные исследования космоса” и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-29-11008)

Моделирование наблюдений теней черных дыр с помощью наземно-космических интерферометров

Михеева Е.В. | Репин С.В. | Лукаш В.Н. | АКЦ ФИАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

В докладе рассматриваются изображения теней черных дыр (ЧД), которые могут быть восстановлены путем обработки наблюдательных данных планируемых проектов по радиоинтерферометрии со сверхбольшими базами (РСДБ). Для радиоисточников – керровских ЧД с массами и координатами SgrA*, M87* и M31*, подсвеченных находящимися за ними источниками света, мы рассмотрели три типа наблюдений: наземный интерферометр (подобный Телескопу Горизонта Событий), наземно-космический интерферометр, космическое плечо которого обеспечено искусственным спутником Земли на геоцентрической орбите, и наземно-космический интерферометр со спутником в точке Лагранжа L2. Значительное различие между восстановленными изображениями для наземного и наземно-космического радиоинтерферометра со спутником на геоцентрической орбите обусловлено как увеличением проекции базы, так и улучшением покрытия (u,v)-плоскости. Околоземные конфигурации радиоинтерферометра для наблюдения теней ЧД являются наиболее предпочтительными среди рассмотренных случаев. При дальнейшем увеличении высоты орбиты до точки L2 плотность заполнения (u,v)-плоскости понижается, и результаты становятся менее представительными. Представлены модельные изображения для всех рассмотренных случаев.

Двухчастотное изучение джета галактики M87 с суб-парсековым разрешением в радио диапазоне

Никонов А.С. | Ковалев Ю. Ю. | Кравченко Е. В. | Лобанов А. П. | Kellermann K. I. | АКЦ ФИАН | АКЦ ФИАН, МФТИ | МФТИ, АКЦ ФИАН | MPIfR, IfE, МФТИ | NRAO

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Представляем результаты наблюдений высокого разрешения релятивистской струи галактики Дева А в диапазонах 8 и 15 ГГц. Данные были получены благодаря использованию антенной решетки Very Long Baseline Array, одной антенны Very Large Array (США) и радиотелескопа Effelsberg (Германия). Восстановленные изображения имеют динамический диапазон более 20000:1. На них наблюдается уярчение к краю джета и область малой интенсивности в направлении против джета. Карта распределения спектрального индекса рекордной чувствительности и разрешения демонстрирует уплощение радиоспектра вдоль хребта джета и у его края. Это указывает на большую оптическую толщу в центре джета по сравнению со внешними областями. Данный вывод может служить поддержкой модели хребет-оболочка и объяснением эффекта уярчения к краю стратификацией течения вещества релятивистской струи. По результатам измерения спектра джета, наблюдаемая область малой интенсивности является контр-джетом, а не оптически толстым началом джета. Получены карты линейной поляризации, которые могут дать возможность восстановить структуру магнитного поля.

Указания на параболическую форму выбросов в области ядер по кинематике

Нохрина Е.Е. | Пащенко И.Н. | Кутькин А.М. | МФТИ | АКЦ ФИАН | ASTRON

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Прямые измерения ширины выбросов из близких активных ядер галактик показали параболическую форму их границ для десятка близких (красное смещение <0.1) источников. Это явление может быть связано как с изменением внешней среды, коллимирующей джет (Asada & Nakamura 2012, Levinson & Globus 2017, Boccardi et al. 2021), так и с изменением внутреннего состояния выброса (Lyubarsky 2009, Beskin et al. 2017).

Мы предлагаем новый метод неявного определения формы выбросов для тех источников, для которых прямые измерения формы ограничены конечным линейным разрешением приборов. Метод основан на анализе максимального Лоренц фактора в выбросе в зависимости от расстояния вдоль выброса. Мы используем данные скорости, полученные в статье Кутькин и др. (2019) по времени задержек вспышек в ядрах на 8 и 15 ГГц для выборки из 11 источников с высокой переменностью. Так как рост Лоренц фактора плазмы универсально зависит от радиуса, то такие измерения позволяют сделать вывод о форме выбросов на расстояниях ядер.

Мы показали, что если области ядер на 8 и 15 ГГц находятся в параболической части формы с эффективным ускорением плазмы, то Лоренц факторы различных источников должны иметь корреляцию с расстоянием, найденную ранее (Kutkin et al. 2019). Показано, что найденная корреляция Лоренц фактор - расстояние хорошо согласуется с параболической формой джета и эффективным ускорением плазмы, тогда как сценарий с конической формой выбросов или с неэффективным ускорением маловероятны. Полученные результаты показывают, что максимальные скорости в выбросах могут быть больше наблюдаемых сейчас (Lister et al. 2019). Вывод о параболической форме джетов повлияет на моделирование сдвига ядра.

Магнитные поля аккреционных дисков и их вертикальная структура

Пашенцева М.В.* | *Михайлов Е.А.* | *МГУ им. М.В. Ломоносова* | *МГУ им. М.В. Ломоносова

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Большой интерес в астрофизике представляют аккреционные диски, образующиеся около компактных объектов, таких как черные дыры, нейтронные звезды и белые карлики. Большую роль в процессах их эволюции играют магнитные поля, которые могут быть связаны, например, с переносом момента импульса между различными частями объектов [1]. Существуют различные подходы к исследованию данных магнитных полей и объяснению механизма их генерации. Можно отметить перенос магнитного поля аккрецирующей средой, взаимодействие с полем центрального объекта и т.д. Тем не менее, представляется весьма вероятным, что генерация магнитного поля в аккреционном диске связана с действием механизма динамо подобно тому, который присутствует на Солнце, в звездах, галактиках. Ввиду формы аккреционных дисков, можно ожидать, что процесс эволюции магнитных полей качественно схож с тем, что имеет место в галактических дисках. В случае галактических дисков широкое применение получило планарное приближение, основанное на том, что диск является тонким, и основной вклад в магнитное поле дает составляющая, лежащая в плоскости диска. Ранее планарное приближение позволило получить ряд результатов, связанных со структурой магнитного поля аккреционного диска и характером его эволюции со временем [2]. Вместе с тем, представляют интерес такие явления, как конвекция, требующая учета вертикальной структуры диска. Кроме того, полутолщина диска меняется по мере увеличения расстояния до центра. Все это требует от нас расширения представлений, используемых при моделировании. В случае галактик такой подход получил название RZ-модели [3]. В настоящем докладе мы планируем представить первые результаты, полученные в рамках применения данных подходов для аккреционных дисков.

Список литературы.

1. Shakura N.I., Sunyaev R.A. Black holes in binary systems. Observational appearance //Astronomy and Astrophysics,1973, 24,337
2. Boneva D., Mikhailov E., Pashentseva M., Sokoloff D. Magnetic fields in the accretion discs for various inner boundary conditions// Astronomy and Astrophysics (accepted)
3. *Mikhailov E. A., Pushkarev V. V.* Research on magnetic fields of galaxies using rz-model // *Research in Astronomy and Astrophysics*,2021,21,3,56

Радиоспектр РСДБ-струи M87: систематические эффекты

Пащенко И.Н. | Кравченко Е.В. | Нохрина Е.Е. | АКЦ ФИАН, МФТИ | МФТИ, АКЦ ФИАН | МФТИ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Близкая радиогалактика M87 является уникальным объектом для изучения природы релятивистских струй активных ядер галактик. Наземные и наземно-космические РСДБ-наблюдения позволяют исследовать её выброс, начиная с масштабов ~ 10 гравитационных радиусов, демонстрируя как двугорбую поперечную структуру, так и уярчение в центре джета. Природа такой картины пока не понятна. Несмотря на обилие РСДБ-карт струи M87 на разных частотах, опубликованные спектральные карты крайне редки. Однако именно радиоспектр струи может пролить свет на природу её структуры. Как имеющиеся наземные, так и наземно-космическая РСДБ-карта спектрального индекса демонстрируют уплощение радиоспектра в центральных и/или внешних областях струи, которые интерпретируются как реальный физический эффект.

Мы провели симуляции многочастотных РСДБ-наблюдений с различными моделями релятивистской струи на различных РСДБ-сетях (включая наземно-космический интерферометр) и обнаружили, что наблюдаемый радиоспектр значительно искажается систематическим образом. В этой работе мы рассматриваем причины возникновения такой систематики и ее астрофизические приложения.

Наблюдательные свидетельства рождения нейтрино высоких энергий в блазарах

Плавин А.В. | Ковалев Ю.Ю. | Ковалев Ю.А. | Троицкий С.В. | АКЦ ФИАН, МФТИ | АКЦ ФИАН, МФТИ, MPIfR | АКЦ ФИАН | ИЯИ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Астрофизические нейтрино с энергиями от ТэВ до ПэВ детектируются различными телескопами уже более десятка лет, однако обнаружить их источники до последнего времени не удавалось. Мы подходим к этому вопросу статистически: показываем, что блазары вблизи направлений прихода нейтрино имеют более яркие парсековые джеты, чем объекты в других областях неба. Вероятность, что такое могло получиться случайно, составляет всего 4*10^-5 (4.1σ). Предварительные выводы из детектирований обсерватории ANTARES указывают на связь блазаров с нейтрино ещё более широкого диапазона энергий. Вдобавок к этим ассоциациям, мы обнаружили радиовспышки квазаров во время прихода нейтрино от них с помощью мониторинга на телескопе РАТАН-600. Наши результаты показывают, что нейтрино образуются в центральных областях квазаров с яркими струями, направленными на нас. Рождение этих частиц происходит при взаимодействии ультрарелятивистских протонов с фотонами. Компактными блазарами можно объяснить весь поток астрофизических нейтрино, оцененный по мюонным трекам IceCube.

Связь между экстремальной яркостью квазаров и их вспышками в радиодиапазоне

Попков А.В. от группы обзора активных ядер галактик проекта «Радиоастрон» | МФТИ, АКЦ ФИАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Наземно-космический радиоинтерферометр «Радиоастрон» выполнил обзор 248 активных ядер галактик (АЯГ) на частотах 1.7, 4.8 и 22 ГГц с рекордным угловым разрешением до 10 микросекунд дуги. В результате были обнаружены экстремально высокие яркостные температуры вплоть до T_b~10^14 K, превышающие обратный комптоновский предел. Были предложены различные объяснения этого явления. В одних моделях экстремальная яркость формируется в ядре джета — видимом начале струи, зачастую доминирующем в полном радиоизлучении объекта. Превышение обратного комптоновского предела объясняется в этом случае синхротронным излучением протонов или очень сильным доплеровским усилением. Из таких моделей следует связь между экстремальной яркостью и вспышками полного радиоизлучения от источника. Другие модели предполагают, что области с экстремальной яркостью формируются в джете за счёт магнитного пересоединения или ускорения частиц на стоячих ударных волнах вдали от ядра. В таком случае, появление экстремально яркой и компактной области не будет связано со вспышкой полного радиоизлучения, так как данная область вносит относительно малый вклад в полную плотность потока.

Нами было проведено исследование связи между яркостными температурами АЯГ, измеренными «Радиоастроном», и переменностью широкополосного радиоспектра по наблюдениям одиночных радиотелескопов: РАТАН-600 на частотах 2, 5, 8, 11 и 22 ГГц, OVRO-40m на 15 ГГц и ATCA от 2 до 21 ГГц. Мы обнаружили статистически значимые положительные пики функций корреляции между T_b и полной плотностью потока источников, а также между T_b и спектральным индексом, вблизи нулевого временного сдвига между наблюдениями «Радиоастрона» и одиночных антенн. Это показывает, что экстремальная яркость АЯГ возникает в ядре или вблизи него и обусловлена активностью ядра.

Функция рентгеновской светимости аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр в галактиках

Постнов К.А. | Куранов А.Г. | Юнгельсон Л.Р. | Гильфанов М.Р. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ИНАСАН | ИКИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Методом гибридного популяционного синтеза проводится расчет аккрецирующих замагниченных нейтронных звезд и черных дыр в двойных системах. Сначала быстрым кодом BSE рассчитываются области параметров двойных систем, в которых потенциально ожидается наличие исследуемых источников. Затем кодом MESA проводится расчет по сетке исследуемых параметров для аккуратного определения темпа перетекания вещества через внутреннюю точку Лагранжа при заполнении оптическим компонентом полости Роша. Учитываются особенности дисковой докритической и сверхкритической аккреции на нейтронные звезды с магнитным полем, а также транзиентный характер рентгеновской светимости при аккреции на черные дыры из-за тепловой неустойчивости дисков (DIM). Строятся функции рентгеновской светимости для модельной истории звездообразования в диске нашей Галактики. Проводится сравнение с наблюдаемой популяцией ультраярких пульсирующих и непульсирующих рентгеновских источников в других галактиках. Обсуждается применение полученных результатов для диагностики популяций рентгеновских источников в других галактиках.

Формы релятивистских струй активных ядер галактик: от параболы к конусу

Пушкарев А.Б. | Ковалев Ю.Ю. | Листер М.Л. | Нохрина Е.Е. | Плавин А.В. | Савалайнен Т. | Бескин В.С. | Черноглазов А.В. | КрАО РАН, МФТИ | АКЦ ФИАН, МФТИ | Purdue University | МФТИ | АКЦ ФИАН, МФТИ | Aalto University | АКЦ ФИАН, МФТИ | АКЦ ФИАН, МФТИ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Мы представляем результаты исследования геометрии и степени коллимации внегалактических выбросов от суб- до килопарсековых масштабов и их эволюцию с расстоянием от центрального источника активности. Для проведения анализа поперечных профилей джетов мы построили стаковые изображения струй 367 активных ядер галактик, имеющих не менее пяти эпох VLBA-наблюдений на частоте 15 ГГц, полученных в интервале до 20 лет. Обнаружено, что усредненные за несколько лет карты позволяют восстанавливать полное поперечное сечение выбросов. Для зондирования более протяженных областей радиоструктуры 135 источников использовались наблюдения на частоте 1.4 ГГц. Установлено, что форма струй большинства источников близка к конической с истинным углом раскрыва около 1 градуса. Мы провели автоматический поиск значимого изменения формы джета и обнаружили его в 10 из 29 близких источниках, расположенных на красных смещениях, не превышающих 0.07. Это объекты 0111+021, 0238−084, 0415+379, 0430+052, 0815−094, 1133+704, 1514+004, 1637+826, 1807+698, 2200+420. Геометрия струй этих активных галактик меняется с параболической на коническую. При этом излом профиля происходит на масштабах 10^5-10^6 гравитационных радиусов центральной сверхмассивной черной дыры. Мы делаем вывод, что этот эффект должен быть общим в струях активных галактик. Он происходит в той области выброса, где плотность энергии магнитного поля уменьшается до уровня плотности энергии релятивистских частиц. При этом место излома может как совпадать, так и не совпадать с радиусом Бонди.

Мы также представим результаты анализа геометрии выброса, полученные на основе наземно-космических РСДБ-наблюдений объекта BL Lacertae, проведенных с помощью Радиоастрона на частоте 22 ГГц и новой наблюдательной программы по большой выборке близких активных галактик.

[Работа поддержана грантом Российского Научного Фонда № 20-62-46021]

События приливного разрушения, открытые в ходе рентгеновского обзора всего неба обсерватории СРГ

Сазонов С.Ю.* | *ИКИ РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

В ходе обзора всего неба обсерватории СРГ регистрируется большое количество сильно переменных и транзиентных рентгеновских источников, среди которых особый интерес представляют события приливного разрушения (СПР) звезд в ядрах галактик. Уже в первый год обзора телескоп еРОЗИТА, при поддержке оптических телескопов, обнаружил несколько десятков СПР - больше, чем было открыто всеми предыдущими рентгеновскими обсерваториями. В докладе будет представлен краткий обзор этих уникальных результатов. В частности, будет обсуждаться взаимосвязь рентгеновских и оптических свойств СПР.

Моделирование вертикальной структуры аккреционных дисков вокруг нейтронных звёзд и чёрных дыр

Тавлеев А. С. | Липунова Г. В. | Маланчев К. Л. | ГАИШ МГУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Для моделирования вспышек в рентгеновских двойных чрезвычайно важен анализ устойчивости аккреционного диска в системе методом построения так называемых S-кривых. Для построения S-кривых необходимо рассчитывать вертикальную структуру диска. В работе представлен программный код, моделирующий вертикальную структуру диска для широкого диапазона масс центральных объектов и темпов аккреции на них. Особенностью кода является возможность использовать численные значения коэффициента непрозрачности вещества и уравнения состояния, а также учёт конвективного переноса тепла в вертикальном направлении. Результаты работы кода помогут в более точном моделировании вспышек в двойных системах.

Обнаружение изменения структуры и физических характеристик оптических пульсаций переходного миллисекундного пульсара J1023+0038

Танашкин А. С. | Бескин Г. М. | Зюзин Д. А. | Карпов Д. В. | Плохотниченко В. Л. | Шибанов Ю. А. | ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН | САО РАН, КФУ | ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН | САО РАН, КФУ, Институт физики Чешской АН | САО РАН | ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Переходные пульсары представляют собой подкласс миллисекундных пульсаров в тесных двойных системах, которые демонстрируют смены режимов взаимодействия нейтронной звезды со своим компаньоном: эпизоды активной аккреции, во время которых система наблюдается как маломассивная рентгеновская двойная, чередуются со "спокойными" состояниями, во время которых нейтронная звезда проявляет себя как миллисекундный радиопульсар. В 2017 году у J1023+0038 в состоянии рентгеновской двойной были обнаружены оптические пульсации, обладающие двухпиковой структурой переменной амплитуды, достигающей в максимуме 1 процента [1]. В ряде последующих работ этот результат был подтвержден, а также была установлена связь между оптическими пульсациями и активностью системы в рентгеновском диапазоне (например [2,3]). В докладе представлены результаты детального анализа оптических данных, полученных с помощью панорамного фотоспектрополяриметра MPPP на телескопе БТА в течение 7 ночей, общей продолжительностью около 35 тысяч секунд и временным разрешением 1 мкс. Помимо двухпиковых пульсаций, схожих по характеристикам с наблюдавшимися другими авторами, в одну из ночей нами была обнаружена резкая смена состояния пульсара. В течение приблизительно 230 секунд вместо типичной двухпиковой структуры наблюдались однопиковые пульсации с увеличенной в несколько раз амплитудой. При этом одновременные наблюдения в двух фильтрах позволили также зарегистрировать в данном эпизоде изменение распределения энергии в спектре источника. Кроме того, результаты временного анализа указывают на хаотичные изменения орбитальной фазы источника пульсирующего излучения с максимальной амплитудой около 25 секунд, что соответствует линейному расстоянию порядка 3 тысяч километров. В работе также предлагается физическая модель, качественно описывающая указанные наблюдаемые особенности.

[1] F. Ambrosino et al., 2017, Nature Astronomy, 1, 854, [2] L. Zampieri et al., 2019, MNRAS, 485, L109, [3] A. Papitto et al., 2019, ApJ, 882, 104

Начальное распределение магнитных углов классических радиопульсаров

Токарева Е.А. | Переверзев Г.А. | Бирюков А.В. | НИЯУ МИФИ | РУДН | ГАИШ МГУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Магнитный угол - угол между осью вращения и магнитным моментом нейтронной звезды. Теория предсказывает, что этот угол эволюционирует к меньшим значениям, заставляя магнитную ось становиться сонаправленной с осью вращения. В настоящей работе приводятся результаты расчета начальных значений магнитных углов 39 классических радиопульсаров, для которых известны наблюдаемые оценки текущих значений этих углов, а также кинематические возраста. А именно, возраста, полученные из наблюдаемой скорости движения пульсара в Галактике и предположения о локализации пространственной области его рождения. Кроме того, совместно оценивались начальные периоды пульсаров выборки.

Предполагалось, что эволюция периода пульсара и эволюция его магнитного угла описываются моделью, следующей из МГД-симуляций (Филиппов и др. 2014), которая была дополнена эволюцией величины магнитного поля звезды.

Показывается, что начальные магнитные углы пульсаров следуют скорее изотропному распределению. А распределение начальных периодов согласуется с нормальным распределением со средним ~0.4 сек и стандартным отклонением ~0.3 сек. При этом, однако, качество исходных данных не позволяет обнаружить возможную корреляцию между начальными магнитным углом и периодом пульсара.

Дополнительно в работе показывается, что применяемая модель замедления совместно с данными о кинематических возрастах пульсаров требует слабого затухания их магнитных полей - менее чем на 1 порядок величины за 10-100 млн. лет. Знание начальных распределений магнитных углов и периодов радиопульсаров с известными возрастами также позволяют получить отдельное ограничение на темп затухания магнитного поля. Так, используя оценки кинематических возрастов для расширенной выборки из 82 классических пульсаров мы находим, что наблюдаемое затухание их магнитных полей согласуется со степенным законом $B(t) \sim t^{(-b)}$, где $b < 0.3$.

Подтверждение кандидатов в черные дыры промежуточной массы при помощи рентгеновских наблюдений

Топтун В.А. | Чилингарян И.В. | Гришин К.А. | Катков И.Ю. | Золотухин И.В. | Гораджанов В.С. | Демьяненко М.В. | Кузьмин И.А. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | МФТИ | ГАИШ МГУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

В центрах многих галактик располагаются сверхмассивные черные дыры, происхождение которых все еще остается не до конца известным. Есть два возможных пути их формирования - из массивных (10^5-10^6 $M_\odot$) и маломассивных (100 $M_\odot$) зародышей ЧД. Последний сценарий должен оставлять после себя большое количество черных дыр промежуточной массы (IMBH, 100-$2\cdot10^5$ $M_\odot$). Вплоть до последнего десятилетия такие объекты считались гипотетическими, однако несколько лет назад была представлена первая выборка из 10 объектов с подтверждением природы активных ядер в рентгеновском диапазоне. В докладе будет представлена новая выборка из 15 IMBH, полученная нами путем подтверждения кандидатов в IMBH по наличию излучения от ядра галактики в рентгеновском диапазоне, что увеличивает количество подтвержденных IMBH в центрах галактик в 2.5 раза. Таким же образом были подтверждены 99 черных дыр с массами $2\cdot10^5$-10^6 $M_\odot$. Источниками рентгеновских данных являлись как находящиеся в открытом доступе каталоги и архивы данных, так и наблюдения, проведенные по нашим заявкам на XMM-Newton, Chandra и Swift. Коэффициенты Эддингтона для 30% объектов из обеих выборок оказались близки к критическим, от 0.5 до 1, и это может являться аргументом в пользу того, что основным каналом роста сверхмассивных черных дыр на сравнительно малых массах является именно аккреция газа в фазе активного ядра, а не слияния галактик. Также впервые для маломассивных черных дыр были построены зависимости светимости в эмиссионной линии [OIII] и широкой компоненте линии Hα от светимости в рентгеновском диапазоне.

Магнитовращательная эволюция нейтронных звезд с переменным темпом аккреции

Хохрякова А.Д. | Попов С.Б. | МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Недавно обнаруженная массивная рентгеновская двойная (англ. High-mass X-ray binary, HMXB) в остатке сверхновой (Maitra et al., 2019) поставила перед исследователями ряд вопросов, важнейший из которых следующий: почему так быстро нейтронная звезда начала излучать в рентгеновском диапазоне? Некоторые авторы считают, что эта система слишком молода для стадии аккретора, потому что стадии эжектора и пропеллера должны длиться больше возраста данной сверхновой (Ho et al., 2020).

В этой связи мы рассмотрели магнитовращательную эволюцию нейтронных звезд с учетом переменного темпа аккреции из вещества, оставшегося гравитационно связанным после взрыва сверхновой (возвратная аккреция, fallback accretion). Мы исследуем влияние эффекта “гистерезиса”, связанного с тем, что критический период перехода с эжектора на пропеллер и обратно не равны. В работе показано, что при определенных значениях начального периода и магнитного поля нейтронная звезда может не выходить на стадию эжектора в течение своей эволюции.

Пекулярные объекты из вероятных областей рождения радиопульсаров — кандидаты в черные дыры звездных масс

Чмырёва Е.Г | Бескин Г.М. | САО РАН | САО РАН

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Был проведен поиск кандидатов в черные дыры звездных масс в их предполагаемых местах рождения, вычисленных в предположении, что черные дыры с большой вероятностью могли образоваться в высокомассивных двойных системах, вторым компонентом в которых был радиопульсар. Мы проанализировали источники с доступными спектральными или фотометрическими данными, а также измеренными собственными движениями и расстояниями, локализованные в областях рождения, и провели отбор объектов, чьи характеристики соответствуют теоретическим предсказаниям о наблюдательных проявлениях одиночной черной дыры. Восемь объектов, подходящие по критериям отбора, были отмечены для дальнейшего исследования как кандидаты в черные дыры.

20 лет остывания нейтронной звезды в остатке сверхновой Кассиопея А: ограничения параметров сверхтекучести сверхплотного вещества

Штернин П.С. | Офенгейм Д.Д. | Ho W.C.G. | Heinke C.O. | Wijngaarden M.J.P. | Patnaude D.J. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | Haverford College | University of Alberta | University of Southampton | Smithsonian Astrophysical Observatory

Секция: Релятивистская астрофизика и гравитационные волны

Нейтронная звезда в центре молодого (340 лет) остатка сверхновой Кассиопея А демонстрирует ускоренное остывание, не совместимое со стандартным сценарием остывания нейтронных звёзд. Это объясняется всплеском нейтринного излучения, связанным с недавним возникновением нейтронной сверхтекучести в ядре звезды [1].

Нами разработан новый метод анализа остывания сверхтекучих нейтронных звёзд, основанный на модельно-независимых (применимых для широкого класса уравнений состояния) аналитических аппроксимациях мощности нейтринного излучения, связанного с куперовским спариванием нейтронов. Обнаружено, что полная мощность нейтринного излучения, сопровождающего образование куперовских пар, может быть представлена в виде произведения двух сомножителей. Первый из них зависит от массы и радиуса звезды, максимальной критической температуры в ядре нейтронной звезды Tmax, но не зависит от конкретной модели сверхтекучести и описывается универсальной формулой. Второй сомножитель зависит от формы профиля критической температуры в ядре звезды, но не зависит от Tmax. Теория позволяет установить достаточно жёсткие ограничения на этот фактор.

Анализ наблюдений нейтронных звёзд не полностью независим от моделей сверхплотного вещества в их недрах, поскольку спектр атмосфер нейтронных звёзд, помимо температуры и состава, зависит от физических параметров звезды, таких как её масса и радиус. Разработанные в работе универсальные выражения позволяют проводить самосогласованный анализ спектральных наблюдений и остывания нейтронной звезды для широкого класса моделей сверхплотного вещества.

В докладе представлен анализ 19 лет рентгеновских наблюдений нейтронной звезды в Кассиопее А обсерваторией Чандра, проведённый с помощью разработанной методики. Получены ограничения на максимальное значение критической температуры

нейтронов в ядре звезды в диапазоне Tmax=0.5-1 ГК. Эти ограничения являются надёжными. Они слабо зависят от уравнения состояния сверхплотного вещества и не изменятся существенно, если дальнейшие наблюдения выявят более медленный темп остывания. Мы также ограничиваем мощность нейтринного излучения, сопровождающего образование куперовских пар [2].

Работа поддержана грантом РНФ № 19-12-00133.

[1] Shternin et al. 2011, MNRAS, 412, L108; Page et al. 2011, PRL, 106, 08101

[2] P.S. Shternin et al. 2021, MNRAS, принято к печати. doi:10.1093/mnras/stab1695, arXiv:2106.05692

Всероссийская астрономическая конференция

Современная звёздная астрономия

2021

О двух формах аккреции межзведного газа при формировании одиночных звезд

Абдульмянов Т.Р. | КГЭУ

Секция: Современная звёздная астрономия

В данной работе 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 в режиме неустойчивого равновесия оболочки начинается аккреция газа на ядро протозвезды. В режиме устойчивого равновесия происходит фрагментация газопылевой оболочки и экваториального диска протозвезды. В кольцеобразных фрагментах диска начинается процесс формирования «зародышей» планет и начинается аккреция на «зародышей» планеты. Численным интегрированием системы уравнения Навье–Стокса и уравнения неразрывности получены профили плотности экваториальных дисков протозвезд. Определено характерное время аккреции межзвездного вещества на ядро протозвезды.

Определение параметров межзвездного поглощения в высоких галактических широтах

Авдеева А.С. | Малков О.Ю. | Ковалева Д.А. | Некрасов А.Д. | ИНАСАН, НИУ ВШЭ | ИНАСАН | ИНАСАН | ГАИШ МГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Оценка межзвездного поглощения необходима для определения астрофизических параметров галактических и внегалактических объектов. Трехмерные модели поглощения строят, базируясь на спектральных и фотометрических данных о звездах, о звездных скоплениях, звездных подсчетах, моделях распределения пыли в Галактике. Появление специализированных спектроскопических обзоров (LAMOST, RAVE) и данных Gaia позволило начать строить более детальные и точные трехмерные карты межзвездного поглощения.

Предлагаемый в данной работе подход базируется на использовании закона косеканса, как вида зависимости межзвездного поглощения в видимой части спектра Av от значений b,d (галактическая широта и расстояние на луче зрения): Av = a0*beta/sin|b|*(1 – exp(-d*sin|b|)/beta). Данная зависимость имеет два параметра: a0, показывающий поглощение на единицу длины в плоскости Галактики, и beta, выражающий шкалу высот.

В рамках данного исследования получена оценка значений межзвездного поглощения с помощью данных спектроскопического обзора RAVE для выделенных направлений в южной части неба на высоких галактических широтах (|b|> 20). Аппроксимируя полученные значения межзвездного поглощения законом косеканса для различных направлений, мы определили значения a0 и beta для каждого из них, после чего произвели двумерное приближение зависимостей a0(l,b) и beta(l,b) сферическими функциями.

В результате получена аналитическая формула, выражающая зависимость Av от галактических координат и расстояния, которая позволит в первом приближении оценить межзвездное поглощение для любого (в большей части неба) направления и расстояния.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 20-52-53009.

Пространственные детали спирального узора Галактики по мазерным источникам

Веселова А.В. | Никифоров И.И. | СПбГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Выполняется пространственное параметрическое моделирование выделяемых по мазерным источникам сегментов спиральных рукавов Галактики. По данным каталога Reid et al. (2019) на основе процедуры итеративного переприписывания выделены пять сегментов спиральных ветвей; методом наибольшего правдоподобия найдены параметры сегментов, включая углы закрутки, и расстояние до центра спиральной структуры (расстояние до центра Галактики). Обсуждается вопрос о значимости переменности углов закрутки по сравнению со строго логарифмической моделью средней линии сегмента и о возможности описания средней линии моделью с изломом. Также исследуется вопрос о существовании смещения геометрических полюсов системы спиральных ветвей относительно принятого направления отсчета галактических долгот. Каталог мазерных источников в областях формирования массивных звезд (HMSFRs, Reid et al., 2019) был дополнен объектами из каталога VERA (VERA et al., 2020), что также позволило сопоставить параметры спирального узора, выделяемого только по мазерам HMSFRs и по более общей выборке объектов.

Мелкомасштабные секториальные моды возмущений на фоне пульсирующей модели дискообразных самогравитирующих систем

Ганиев Ж.М.* | *Нуритдинов С.Н.* | *НУУз

Секция: Современная звёздная астрономия

До сих пор никем не изучены мелкомасштабные возмущения на фоне нелинейно нестационарных моделей дискообразных самогравитирующих систем. Кроме того, не ясно какие именно моды колебаний ответственны за происхождение тех или других мелкомасштабных объектов или структурных образований в дискообразных самогравитирующих системах. Подобные вопросы возникают прежде всего из–за не изученности вообще мелкомасштабных возмущений высокого порядка в конкретных стационарных и нестационарных моделях. В равновесных же моделях напротив хорошо изучены многие виды неустойчивостей крупномасштабных и умеренно мелкомасштабных мод колебаний, прежде всего, в работах Калнайса, Антонова, Поляченко, Фридмана и др. Ими, в частности, полностью изучена равновесная модель Бисноватого–Когана и Зельдовича (БКЗ), причем рассмотрены также умеренно мелкие моды для «горячих» твердотельно–вращающихся дисков.

Однако, эти неустойчивости исследовались только для строго равновесного состояния самогравитирующего диска. Теперь на повестке дня стоит такая же работа для нестационарных в исходном состоянии дискообразных моделей. В данной работе рассмотрены секториальные мелкомасштабные моды колебаний на фоне нелинейно нестационарной версии равновесной модели БКЗ и найдены соответствующие нестационарные дисперсионные уравнения. Эти уравнения нами найдены для конкретных мелкомасштабных мод возмущений в пульсирующих моделях диска с изотропной и анизотропной диаграммами скоростей. Вычислены дисперсионные уравнения мелкомасштабных возмущений на фоне нелинейно-нестационарной модели для ряда значений волновых чисел $\boldsymbol{m}$; $\boldsymbol{N}$: (m=N) = (10;10), (11;11), (12;12), (13;13), (14;14), (15;15). Нами получены критические зависимости вириального отношения от параметра вращения и найдены значения инкрементов неустойчивостей.

Межзвёздное поглощение в высоких галактических широтах сквозь весь слой пыли в Галактике

Гончаров Г.А. | Мосенков А.В. | Ильин В.Б. | Марчук А.А. | Савченко С.С. | Смирнов А.А. | Усачёв П.А. | ГАО РАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Различными методами нами получены оценки межзвёздного поглощения в высоких галактических широтах сквозь весь слой пыли в Галактике для множества фотометрических фильтров. 1. Мы сравнили оценки покраснения из трёхмерной карты Green-2019-ApJ-887-93 (i) внутри и (ii) вокруг 23 галактических шаровых скоплений, т.е. там, где (i) оценки получены по фотометрии Pan-STARRS для звёзд скоплений и (ii) использованы оценки из карты Schlegel-1998 из-за нехватки звёзд. Оценки (i) оказались на E(B-V)=0.04 систематически больше, чем (ii). Т.е. SFD98 недооценивает малые покраснения на E(B-V)=0.04. 2. Мы оценили поглощения из сопоставления фотометрических наблюдений и теоретических изохрон для 43 галактических шаровых скоплений. Не найдено ни одного скопления с поглощением Av<0.1. 3. Мы проанализировали пространственные вариации наблюдаемых цветов для беспрецедентно большой и полной выборки 101810 гигантов сгущения с точными параллаксами и фотометрией из Gaia EDR3 и фотометрией из WISE. Эта выборка отобрана нами в пространственном цилиндре высотой 3600 и радиусом 700 пк вокруг Солнца, который расположен поперёк галактического слоя пыли. До сих пор полные выборки звёзд с точными расстояниями и фотометрией не рассматривались на столь большом удалении от плоскости Галактики. Этим объясняются полученные нами неожиданные результаты: слой галактической пыли оказался толще, чем считалось - поглощение продолжает расти даже на удалении |Z|>400 пк от плоскости Галактики; поглощение сквозь весь полуслой выше или ниже Солнца в среднем составило Av=0.2. 4. С использованием трёхмерных карт покраснения из статей Гончаров-2017-ПАЖ-43-521, Lallement-2019-A&A-625-A135 и Green-2019-ApJ-887-93 нами вычислены наиболее вероятные параметры новой версии нашей модели трёхмерного распределения пыли в широких галактических окрестностях Солнца. При сравнении с другими моделями, наша модель даёт наиболее точные предсказания наблюдаемых цветов упомянутой выборки 101810 гигантов сгущения. При этом предсказывается медианное покраснение E(B-V)=0.06 для высоких широт |b|>50 градусов, причём до половины этого покраснения даёт пылевой контейнер в поясе Гулда.

Свойства галактических шаровых скоплений по Gaia EDR3 и другим данным, сопоставленным с теоретическими изохронами

Гончаров Г.А. | Мосенков А.В. | Ховричев М.Ю. | Ильин В.Б. | Марчук А.А. | Савченко С.С. | Смирнов А.А. | Усачёв П.А. | ГАО РАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Мы сопоставляем данные для звёзд шаровых скоплений нашей Галактики с предсказаниями теоретических моделей внутреннего строения и эволюции звёзд. Для выявления членов скоплений, размера скоплений и вычисления системных собственных движений используются параллаксы и собственные движения из Gaia EDR3. Для вычисления наиболее вероятного расстояния, возраста, межзвёздного поглощения во множестве фильтров и дифференциального покраснения в поле скопления нами используется фотометрия в более, чем 30 фильтрах от ультрафиолета до среднего инфракрасного диапазона из HST, Gaia EDR, Pan-STARRS DR1, DES, SDSS, unWISE, SAGE и других источников в сопоставлении с изохронами PARSEC, MIST, DSEP, BaSTI-IAC, как для солнечной шкалы металличности, так и для шкалы с обогащением гелием и альфа-элементами. Металличность и обогащение скоплений принимается из спектроскопических наблюдений и тестируется на соответствие фотометрическим результатам. Мы проводим тщательный анализ случайных и систематических ошибок полученных результатов. Найденные поглощения во множестве фильтров позволяют оценить закон поглощения для каждого скопления. Полный анализ выполнен для 5 скоплений (NGC288, NGC362, NGC5904, NGC6205, NGC6218), предварительный анализ на основе только астрометрии и фотометрии Gaia EDR3 - для ещё 38 скоплений. Основные выводы: 1. рекордно точная астрометрия Gaia EDR3 позволила отделить звёзды скоплений и фона, показав, что размеры многих скоплений значительно больше, чем считалось до сих пор; 2. расстояния, полученные нами из сопоставления фотометрии с изохронами, точнее, чем расстояния по параллаксам Gaia EDR3; 3. вопреки популярным двумерным картам покраснения SFD98 и Planck, нами пока не найдено ни одного скопления в высоких галактических широтах с межзвёздным поглощением Av<0.1 величины; 4. для квартета скоплений со вторым параметром горизонтальной ветви NGC288-NGC362-NGC5904-NGC6218 несомненным вторым параметром является возраст.

Генерация свободных планет при участии Сверхмассивной Черной Дыры

Дремова Г.Н. | Дремов В.В. | Тутуков А. В. | РФЯЦ-ВНИИТФ

Секция: Современная звёздная астрономия

Согласно современным представлениям о составе и строении Галактики планеты можно рассматривать как самостоятельный компонент наряду со звездным и газовым. Многочисленные наблюдения полностью подтверждают предсказанную Тутуковым в 80-х годах XX века статистику планетных систем: почти каждая звезда обладает планетами. В ходе динамической эволюции часть этих планет получает освобождение от родительской звезды, формируя общегалактическое планетное поле. Условия дестабилизации коллективной системы могут создаваться и внешними причинами, такими как Галактический Прилив, столкновения и близкие прохождения звезд поля. Отдельный интерес представляет рассмотрение сценария динамического захвата планетной системы Сверхмассивной Черной Дырой (СМЧД), финалом которого могли бы стать свободные сверхскоростные планеты.

В данной работе методом прямого численного моделирования рассчитывается прохождение планетной системы на разных расстояниях (25-100 R_o) от СМЧД с массой 10^6 M_o. Планетная система включает родительскую звезду (Солнце), планету-гигант (Юпитер) и тор малых планетных тел ($N=10^4$), центрированный по орбите Юпитера. Анализ изменения полной энергии всей системы, а также энергий связи малого планетного тела с СМЧД, звездой и Юпитером позволяет диагностировать свободные планеты. Оценка разрушений планетных тел вблизи массивных объектов выполнилась в соответствии с критерием сдвиговой прочности, предельное напряжение которой задавалось 75 МПа. На основе расчетных спектров скоростей была выделена популяция сверхскоростных планет.

Приливная эволюция наклона оси вращения звезды в двойной системе

Иванов П. Б. | ФИАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Будет обсуждаться полностью самосогласованная теория квазистатических приливных взаимодействий в двойной системе, в которой один из компонентов имеет собственное вращение, с осью вращения, наклоненной относительно орбитальной плоскости. Мы покажем, что в дополнение к членам уравнений, описывающим эволюцию на медленном «вязком» времени, самосогласованная теория предсказывает прецессию и изменение угла наклона оси вращения на относительно короткой шкале времени, определяемой вращением. Последнее может иметь непосредственные наблюдательные проявления.

Возможные спутники у визуально-двойной звезды ADS 9346=WDS 14410+5757

Кияева О.В. | Ховричев М.Ю. | ГАО РАН

Секция: Современная звёздная астрономия

В позиционных ПЗС наблюдениях на 26” рефракторе Пулковской обсерватории у звезды ADS 9346 2003-2019гг обнаружено возмущение, которое можно объяснить присутствием невидимого спутника малой массы у компонента A. Определена предварительная орбита фотоцентра звезды ADS 9346A (P=15лет, a=11мсд, e=0.86). Согласно фотометрическим оценкам масса видимого компонента 1.4 массы Солнца. Если принять параллакс из каталога Gaia, то спутник с массой 0.142 солнечной находится на расстоянии 7 а.е. Эта орбита подтверждается независимыми наблюдениями лучевой скорости. При прохождении периастра (T=2009.5) было много позиционных наблюдений, но отсутствовали наблюдения лучевой скорости, которые могли бы уверенно подтвердить или опровергнуть наличие данного спутника. Следующее прохождение периастра ожидается вблизи 2024 года (2023-2025). Данные Gaia позволяют предположить, что есть спутник и у компонента B.

Система рассеянных звездных скоплений Collinder 135 и UBC 7

Ковалева Д.А. | Ishchenko M. | Постникова Е.С. | Berczik P.P. | Пискунов А.Э. | Kharchenko N.V. | Поляченко Е.В. | Reffert S. | Sysolyatina K. | Just A. | Бородина О.И. | ИНАСАН | MAO NANU | ИНАСАН | NAO CAS, ARI ZAH, MAO NANU | ИНАСАН | MAO NANU | ИНАСАН | LSW ZAH | ARI ZAH | ARI ZAH | ИНАСАН, МФТИ

Секция: Современная звёздная астрономия

Исследованы с использованием данных Gaia близко расположенные друг к другу рассеянные звездные скопления Collinder 135 и UBC 7. Выделены вероятные члены скоплений, определены их средние характеристики, выполнено обратное интегрирование орбит скоплений во времени с целью ограничения возможных сценариев их эволюции. Показано, что низка вероятность того, что наблюдаемое совпадение пространственных, кинематических и возрастных характеристик скоплений является случайным. Выделены сценарии, в рамках которых в прошлом скопления находились на меньшем расстоянии друг от друга. Вероятно, потеря скоплениями газа и части звезд в ходе ранней эволюции привела к потере гравитационной связи между компонентами этой двойной системы. Свидетельством такой потери может служить обширная асимметричная звездная корона, обнаруженная вокруг Cr 135 и UBC 7.

Поиск широких двойных систем с разновозрастными компонентами

Малков О.Ю. | ИНАСАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Все возможные механизмы образования двойных систем приводят к созданию пары с компонентами одинакового возраста. Единственное исключение, захват - явление, как предполагается, достаточно редкое. Однако, в густонаселенных областях (в самых плотных звездных скоплениях и в ядре Галактики) вероятность образования двойной системы захватом возрастает. В докладе рассматривается несколько возможных методов сравнить возраст компонентов широкой (т.е. не испытывающей обмена массами ни сейчас, ни в прошлом) двойной, а также представлены несколько кандидатов на роль двойных систем с разновозрастными компонентами. Их эволюционный статус требует дальнейшего изучения.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 19-07-01198.

Исследование интегральных спектров четырех шаровых скоплений M31

Маричева М.И. | Шарина М.Е. | САО РАН | САО РАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Представлены результаты определения металличности, возраста, удельного содержания гелия (Y) и содержаний элементов C, N, Mg, Ca, Mn, Ti, Cr для четырех шаровых скоплений галактики M31: Bol6, Bol20, Bol45 и Bol50. Спектры исследуемых скоплений были получены на 6-м телескопе БТА САО РАН в 2020 г.

Использовалась методика из статьи Sharina et al. (2020AstBu..75..247S). В рамках метода проводится сравнение наблюдаемых спектров с синтетическими, рассчитываемыми с использованием моделей звездных атмосфер. Параметры атмосферы задаются теоретической изохроной звездной эволюции. Звезды складываются в суммарный спектр согласно заданной функции масс.

Проведено сравнение полученных спектров Bol6, Bol20, Bol45 и Bol50 с интегральными спектрами скоплений Галактики: NGC6342, NGC6362, NGC6637, NGC6638 и NGC6652. Выполнено сравнение полученных содержаний с таковыми у шаровых скоплений и звезд Галактики и M31 при металличности [Fe/H]~ -1 dex. Для всех объектов подобраны аналоги по металличности, возрасту и Y. Все исследуемые скопления оказались старше 10 млрд. лет. Полученные нами значения металичности [Fe/H] находятся в диапазоне от -0.75 до -1.1 dex. Для всех 4 скоплений в литературе имеются данные металличности и возраста, оцененные фотометрическими методами и по спектрам умеренного разрешения в основном методом Ликских индексов. Наши результаты неплохо согласуются с литературными. Обсуждаются причины различий в оценках параметров разными авторами. Для Bol45, Bol6 в литературе имеются содержания химических элементов, полученные методом спектроскопии высокого разрешения Sakari et.al(2016ApJ…829..116S) и Colucci et.al(2014ApJ…797..116C). Сравнение с нашими результатами показывает удовлетворительное согласие. Впервые для скоплений выборки получены значения удельного содержания гелия, а также химсостав для скоплений Bol20 и Bol50. Данный стендовый доклад помещен на ftp сайт САО РАН: ftp://ftp.sao.ru/pub/sme/GC4M31/GC4M31.pdf.

Подтверждение симбиотической природы звезды CSS1102 на основании спектральных и фотометрических наблюдений, проведенных в КГО ГАИШ

Масленникова Н.А. | Татарникова А.А. | Татарников А.М. | Иконникова Н.П. | Додин А.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Представлены результаты спектральных и фотометрических наблюдений малоизученной S-звезды CSS 1102. Анализ спектров, полученных 31.08.2020 и 28.10.2020 на спектрографе TDS 2.5-м телескопа КГО ГАИШ, позволил классифицировать CSS 1102 как симбиотическую звезду. В спектре звезды наблюдались не только эмиссионные линии Бальмеровской серии водорода, но и линии HeI, а так же слабые запрещенные линии [NeIII]. В спектре поглощения присутствовали молекулярные полосы TiO(λλ7054, 5847 и др.), ZrO (λλ6473, 6345 и др.) и YO (λ6132). Спектральное распределение энергии с достаточной точностью моделируется системой, состоящей из холодного компонента – циркониевой звезды спектрального класса S4.5/2 (Teff~3400 K), туманности с Te~10000 K и аккреционного диска (T0=20000 K, Rin=0.008 R⊙ и Rout=0.4 R⊙). Отсутствие линий ионов с высокими потенциалами ионизации позволило получить лишь оценку температуры горячего компонента 40000≤Thot<55000K. Средняя лучевая скорость холодного компонента CSS1102 составила 94±20 км/с. Фотометрический мониторинг, проведенный 01.09.2020 в полосе B на 60-см телескопе RC600 КГО ГАИШ, показал, что у CSS 1102 наблюдается фликкер-эффект, редкое явление у симбиотических звезд. Характерная величина и время изменения блеска 0.043±0.010m и 37 мин, соответственно. Если эта переменность связана с аккреционным диском, то относительное изменение потока от него составляет при этом ~20%.

Влияние бара на кинематику звезд диска Галактики вблизи внешнего линдбладовского резонанса бара. Сравнение с данными Gaia EDR3

Мельник А.М. | Подзолкова Е.Н. | Дамбис А.К. | Бердников Л.Н. | ГАИШ МГУ | МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Модель Галактики с внешним резонансным кольцом R_1R_2 может объяснить наблюдаемые распределения радиальных V_R и азимутальных V_T скоростей звезд диска вдоль галактического радиуса R. Мы отобрали звезды Gaia EDR3 с надежными параллаксами, измеренными собственными движениями и лучевыми скоростями, лежащие вблизи плоскости Галактики ($|z|<200$ pc) и в секторе галактоцентрических углов $|\theta|<15°$. Для полученной выборки звезд мы вычислили медианные радиальные V_R и азимутальные V_T скорости в малых интервалах по расстоянию R. Наблюдаемое распределение радиальных скоростей демонстрирует плавное падение от +5 км/с на расстоянии $R=R_0$-1.5 kpc до -3 км/с на расстоянии $R=R_0$+1.0 кпк, а наблюдаемые азимутальные скорости VT показывают резкое падение на 7 км/с на интервале расстояний $R_0<R<R_0$+1.0 кпк, где R_0 – Галактоцентрическое расстояние Солнца. Мы построили модель Галактики, включающую бар, балдж, экспоненциальный диск и гало, которая воспроизводит наблюдаемые распределения радиальных и азимутальных скоростей в диапазоне расстояний $|R-R_0|<$ 1.5 кпк. Наилучшее согласие между модельными и наблюдаемыми скоростями соответствует времени 1.8±0.5 млд лет с начала моделирования и формирования бара. Модель Галактики с баром, вращающимся с угловой скоростью Ω_b=55±3 км/с/кпк, что соответствует положению внешнего линдбладовского резонанса (OLR) на расстоянии $R=R_0$-0.5±0.4 кпк, дает наилучшее согласие модельных и наблюдаемых скоростей. Позиционный угол бара, соответствующий наилучшему согласию моделей с наблюдениями, составляет θ_b=45±15°.

Батарея Бирмана как источник космических магнитных полей

Михайлов Е.А. | Андреасян Р.Р. | МГУ | БАО НАН РА

Секция: Современная звёздная астрономия

В настоящий момент существование магнитных полей у таких космических объектов, как Солнце, другие звезды, галактики и т.д. надежно установлено и практически не вызывает сомнений. Оно подтверждено как наблюдательными данными, так и теоретическими моделями. Как правило, теоретическое исследование магнитных полей ведется в рамках теории динамо, которая объясняет их генерацию за счет совместного действия альфа-эффекта и дифференциального вращения [1]. Вместе с тем, механизм динамо не дает возможности объяснить рост магнитного поля в отсутствие некоторых начальных полей. Одним из способов объяснения их возникновения может служить батарейный механизм Бирмана [2]. Он связан с тем, что поток заряженных частиц (протонов и электронов) от центрального объекта подхватывается вращающейся средой. Вместе с тем, ввиду того, что протоны и электроны имеют одинаковые заряды и различные массы, возникает ненулевой кольцевой ток, который порождает магнитное поле. Подобный механизм может объяснять зарождение магнитных полей в галактиках, аккреционных дисков компактных объектов. Особый интерес представляет возникновение магнитных полей в окрестности переменных звезд.

В настоящей работе в рамках представлений, связанных с механизмом Бирмана, записаны уравнения движения частиц, получены выражения для кольцевых токов и порождаемых ими магнитных полей. Показано, что структура магнитного поля описывается при помощи интегрального уравнения, которое представляет с математической точки зрения пример некорректной задачи. По этой причине его решение требует применения регуляризующих алгоритмов. В ходе решения получена структура магнитного поля [3], оценена его величина для различных соотношений между параметрами, соответствующих тем или иным объектам.

Список литературы

1. Д.Д.Соколов, УФН 185, 643 (2015)
2. L. Biermann, A. Schluter, Phys.Rev. 82, 863 (1951)
3. Е.А.Михайлов, Р.Р.Андреасян, Астрон.журн. (2021, принята)

О масштабе возможных отклонений сверхмассивной черной дыры от барицентра Галактики при движении в поле регулярных сил

Никифоров И.И. | Веселова А.В. | СПбГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Рост по крайней мере статистической точности измерения расстояния от Солнца до сверхмассивной черной дыры (СМЧД, Sgr A*) в центральной области Галактики на основе моделирования движения звезды S2 (S0-2) вокруг СМЧД и измерений положения Sgr A* как переменного ИК-источника (8249 ± 9 пк, GRAVITY Collaboration et al., 2020) делает весьма актуальным вопрос, в какой степени это расстояние можно считать расстоянием до центра Галактики, т.е. каким может быть смещение СМЧД относительно барицентра Галактики. В работе оцениваются пределы такого смещения в ходе возможного движения комплекса, включающего СМЧД и ядерное звездное скопление (ЯЗС), в регулярном поле Галактики при нынешних ограничениях на пекулярную/остаточную скорость СМЧД и современных данных о центральных компонентах потенциала Галактики.

Задача решается путем численного интегрирования орбиты комплекса СМЧД + ЯЗС. Результат сильнее всего зависит от наличия/отсутствия в Галактике компоненты классического балджа и от массы ядерного звездного диска, который сейчас представляется наибольшим ограничителем возможных осцилляций комплекса СМЧД + ЯЗС. Параметры задачи быстро меняются по мере появления новых данных, однако при текущих значениях параметров в приближении регулярных сил маловероятно ожидать смещений СМЧД относительно барицентра более чем на 10–15 пк.

Определение степени концентрации звезд в шаровых скоплениях на основе данных космических наблюдений

Нуритдинов С.Н. | Расторгуев А.С. | Таджибаев И.У. | НУУз | ГАИШ МГУ | НУУз

Секция: Современная звёздная астрономия

Путем моделирования видимой плотности в шаровых скоплениях (ШС) и минимизации квадрата разности наблюдаемой и теоретической плотностей найдены значения степени концентрации звезд: 1) для 26 скоплений по данным работы Миокчи и др. (2013) и 2) для 81 скопления по данным работы де Бойер и др. (2019). Для первого случая нами получены достаточно хорошие корреляции степени концентрации с основными физическими характеристиками этих ШС, благодаря наличию соответствующих ПЗС наблюдений центральных областей скоплений в рамках программы HST. Второй случай опирается на данные наблюдений Gaia DR2 и требует несколько другого вида моделирования видимой плотности из-за отсутствия информации для центральных областей ШС.

Параметризация долгопериодических затменных двойных систем

Пахомова П.В.* | *Бердников Л.Н.* | *Катков И.Ю.* | *Князев А.Ю.* | *Малков О.Ю.* | *Ковалева Д.А.* | *ИНАСАН* | *ГАИШ МГУ* | *NYU UAE, ГАИШ МГУ* | *SAAO, SALT, ГАИШ МГУ* | *ИНАСАН* | *ИНАСАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Одним из важных источников, позволяющим независимо определять звездные массы, являются затменные двойные звезды с компонентами, находящимися на главной последовательности, где наблюдаются спектральные линии обоих компонентов. Параметры таких звезд используются при построении соотношения масса-светимость для средних и больших масс. Среди них выделяется тип долгопериодических затменных двойных систем, параметры которых на данный момент определены недостаточно полно, что связано со сложностями, вызванными необходимостью длительных наблюдений. В ходе доклада планируется сделать обзор имеющихся на данный момент наблюдательных данных и обсудить перспективы их использования для определения звездных масс.

Работа частично поддержана грантами РФФИ 19-07-01198 и 20-52-53009.

Магнитные поля химически пекулярных звезд в ассоциации Orion OB1

Романюк И.И. | Кудрявцев Д.О. | Семенко Е.А. | Якунин И.А. | Моисеева А.В. | САО РАН | САО РАН | САО РАН, National Astronomical Research Institute of Thailand | САО РАН, СПбГУ | САО РАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Мы представляем результаты измерения магнитного поля 56 (50 Bp и 6 Ap) химически пекулярных звезд (CP-звезд) в ассоциации Orion OB1. Мы обнаружили 32 магнитных звезды в ассоциации. Это 57% среди CP-звезд, что в несколько раз больше, чем обычные 25% для холодных Ap-звезд. Также мы определили, что доля химически пекулярных звезд относительно нормальных в ассоциации падает с возрастом в интервале от 2 Myr до 10 Myr. Доля магнитных звезд относительно химически пекулярных также падает с возрастом в тех же интервалах. Возможно, что молодые звезды обладают мелкомасштабной структурой магнитного поля, которая распадается с возрастом и ее вклад в общее результирующее магнитное поле уменьшается. В целом, наши результаты поддерживают теорию реликтового происхождения магнитного поля у химически пекулярных Ap/Bp звезд.

Проект VOXastro Stellar Libraries: от оптики до ИК

Рубцов Е.В. | Чилингарян И.В. | Борисов С.Б. | Катков И.Ю. | Гришин К.А. | Гораджанов В.С. | ГАИШ МГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Для изучения звёздного состава галактик чаще всего применяется метод попиксельного приближения наблюдаемого спектра моделями в широком диапазоне длин волн (fullspectrum fitting). Метод определяет параметры кинематики и свойства звёздного населения на основе библиотек моделей звёздных населений. Наиболее популярные на сегодняшний день эмпирические модели (MILES, PEGASE) ограничены только оптическим диапазоном. А в ближайшем будущем ожидается большой поток новых спектральных данных в ближнем ИК диапазоне с лучшим спектральным разрешением (с перспективных обсерваторий JWST, Euclid, WFIRST и др.), что потребует новые модели звёзд и звёздных населений. Для решения этих задач был создан проект VOXastro-SL, в рамках которого были собраны, переобработаны и проанализированы оптические звездные спектры из двух общедоступных библиотек UVES-POP и INDO-US. Дополнительно к ним были проведены наблюдения ~1300 звёзд (с максимальным покрытием пространства параметров) на ИК спектрографе FIRE на 6.5-м телескопе Magellan-Baade (библиотека LCO-SL). Для обработки спектральных данных были разработаны специализированный программный пакет (pipeline) и алгоритм теллурической коррекции. А для анализа обработанных спектров наборами моделей был реализован алгоритм дискретной минимизации, во время работы которого одновременно определялись “непрерывные” кинематические параметры (v, vsini) и “дискретные” параметры атмосфер звёзд (Teff, logg, [Fe/H], [α/Fe]). Таким образом результаты проекта могут использоваться как для изучения отдельных звёзд, так и для создания на их основе эмпирических и полуэмпирических (с добавлением синтетических спектров) моделей звёздных населений и дальнейшего изучения свойств звёздных населений галактик в оптическом и ближнем ИК диапазонах.

Поиск протяженных звёздных структур методом кластеризации пар в данных Gaia

Сапожников С.А. | Ковалева Д.А. | ИНАСАН | ИНАСАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Второй и предварительный третий релиз Gaia содержит данные о положениях, параллаксах, и собственных движениях для более чем миллиарда звёзд, определённые с беспрецедентной точностью. Эти результаты используются для поиска рассеянных звёздных скоплений и протяженных звёздных структур, таких как приливные хвосты скоплений и звёздных потоки.

Во многих статьях, опирающихся на данные Gaia, протяженные структуры ищутся либо алгоритмами неконтроллируемого обучения, такими как алгоритмы кластеризации DBSCAN/HDBSCAN в массиве звёзд в целом, либо путём поиска соседей известных звёздных скоплений в фазовом пространстве.

Мы также используем алгоритмы кластеризации для поиска протяженных структур, но применяем эти алгоритмы не к исходному каталогу звёзд, а к составляемому нами предварительно списку звездных пар. Вхождение в пару определяется соотношением параметров, ожидаемым от пары звёзд, входящих в одну протяженную структуру. Такой предварительный каталог пар обладает гораздо большей контрастностью звёздных структур по отношению к фону, что упрощает работу алгоритма кластеризации, а варьирование параметров, требуемых от звёздных пар, предоставляет нам дополнительную степень свободы в регулировке параметров поиска.

Мы тестируем наш алгоритм, применяя его не только к данным Gaia, но и к модели звёздного фона, чтобы убедиться в отсутствии эффекта обнаружения "структуры" в случайных колебаниях плотности звёзд и для более тонкой регулировки параметров.

Поиск неразрешенных двойных систем в рассеянных скоплениях на основе данных фотометрии в видимом и инфракрасном диапазоне

Селезнев А.Ф. | Малофеева А.А. | УрФУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Найдены такие комбинации звездных величин и показателей цвета в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, при которых одиночные и неразрешенные двойные звезды хорошо разделяются на фотометрических диаграммах. Исследована зависимость отклонения неразрешенной двойной звезды от последовательности одиночных звезд на таких диаграммах от отношения масс компонент двойной системы. Предложенная методика применяется для исследования населения неразрешенных двойных систем в рассеянных скоплениях Плеяды, NGC 6231, IC 2602. Используются фотометрические полосы и данные фотометрии каталогов Gaia EDR3, 2MASS, WISE, Spitzer, SDSS, а также доступная фотометрия в полосах UBVR.

Изучение кинематики потока Большая Медведица

Сизова М.Д. | ИНАСАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Рассмотрены данные Gaia Early Data Release 3 для звезд потока Большая Медведица. Рассчитано движение звезд вокруг галактического центра в прошлые эпохи. Изучены случаи близких прохождение звезд потока и ближайших к Солнцу рассеянных звездных скоплений.

NY Ser: Вспышечная активность и мультипериодические процессы на разных её стадиях в 2014 и 2016 гг.

Склянов А.С. | Павленко Е.П. | Антонюк О.И. | Сосновский А.А. | Маланушенко В.П. | Пить Н.В. | Антонюк К.А. | Хайрутдинова А.Н. | Бабина Ю.В. | Галеев А.И. | КФУ | КрАО РАН | КрАО РАН | КрАО РАН | КрАО РАН | Apache Point Observatory | КрАО РАН | КрАО РАН | КФУ | КрАО РАН | АН Республики Татарстан

Секция: Современная звёздная астрономия

В данной работе мы приводим результаты кампаний по наблюдениям карликовой новой звезды NY Ser, которые проводились в 2014 и 2016 годах. Всего были получены данные по 126 ночам наблюдений в 2014 году, которые включают 20 нормальных вспышек и одну сверхвспышку, и 22 ночам в 2016 году, охвативших 5 нормальных вспышек. По форме кривых нормальных вспышек было показано наличие у данной системы вспышек как типа “outside-in”, так и типа “inside-out”. На разных стадиях вспышечной активности (спокойное состояние, вспышки и сверхвспышка) NY Ser показывала колебания блеска с разными периодами. В спокойном состоянии и нормальных вспышках доминировал орбитальный период $0.^{d}097558(6)$. Во время сверхвспышки мы выделили две стадии эволюции сверхгорбов: стадию роста приливной нестабильности аккреционного диска (A) и стадию развитых сверхгорбов (B). Стадия A для NY была выделена впервые, однако её продолжительности и период однозначно не определенны. На стадии B были зарегистрированы положительные сверхгорбы со средним периодом $0.^{d}10464(9)$ и избытком периода $\varepsilon=0.072$ и впервые обнаружены отрицательные сверхгорбы со средним периодом $0.^{d}0938(1)$ и дефицитом периода $\varepsilon=-0.038$.

Многолетние многочастотные исследования вспышечной активности микроквазаров

Трушкин С.А. | Шевченко А.В. | Бурсов Н.Н. | Цыбулев П.Г. | Нижельский Н.А. | САО РАН

Секция: Современная звёздная астрономия

В результате многолетнего мониторинга на РАТАН-600 в рамках программы исследований ярких рентгеновских двойных звезд в различных диапазонах электромагнитного спектра осуществлен поиск и детальное изучение корреляций между переменным рентгеновским, радио- и гамма-излучением, что является ключевым моментом для понимания процесса формирования струйных выбросов из аккрецирующего на черную дыру (или нейтронную звезду) вещества. С апреля 2019 года мы стали использовать режим многоазимутальных измерений на антенной системе "Южный сектор с плоским отражателем", когда в течение 5-6 часов около кульминации источника проводилось по 31 измерению плотностей потоков на частотах 4.7, 8.6, 15 и 30 ГГц нескольких гигантских вспышек Cygnus X-3, ярких вспышек SS433 и GRS1915+105 . В январе 2020 года Cyg X-3 перешел в гипер-мягкое рентгеновское состояние, выход из которого в начале февраля привел к самой яркой радиовспышке за всю историю его наблюдений. Плотность потока Cygnus X-3 увеличилась от 5 мЯн до 20 Ян на частоте 4.7 ГГц и до 22 Ян на 2.3 ГГц за 2-3 дня. В многоазимутальных наблюдений на первичной фазе мы зарегистрировали линейный рост потока на временах от 1 до 5 часов. Сравнив данными космических гамма-телескопов (Swift, AGILE и FERMI) и рентгеновских установок MAXI и NICER на МКС, мы обнаружили, что вспышечные события от радио- до гамма-диапазона взаимосвязаны, что является отражением причинной связи физических процессов в аккреционном диске и в струйных выбросах. Спектральные и временные зависимости эволюции вспышек позволяют моделировать синхротронное излучение микроквазаров на основе изменения объема струйных выбросов, величины их магнитного поля и режима генерации и поглощения радиоизлучения от релятивистских электронов. Радиовспышки микроквазара GRS1915+105, как явное проявление новой струйной активности всегда носят характер реакции на изменение условий генерации рентгеновского излучения в аккреционном диске (MAXI) и в короне (Swift). Мы подробно на протяжении более 60 орбитальных периодов исследовали периодические радиовспышки от рентгеновской двойной с ярким гамма-излучением LSI+61d303. Несомненно характер этих вспышек кардинально меняется в зависимости от сверхорбитального 4.6-летнего периода.

Исследование переменных звезд типа Дельты Щита большой амплитуды (HADS) с двойной и множественной периодичностью

Хруслов А. В. | ГАИШ МГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Проведён поиск двойной и множественной периодичности среди звезд типа Дельты Щита большой амплитуды (HADS) в данных фотометрического обзора ASAS-SN. Найдено около трёх сотен переменных с двойной периодичностью, пульсирующих в основной моде и первом обертоне (DS01), два десятка звезд первого и второго обертонов (DS12), несколько переменных с тройной периодичностью, пульсирующих в основной моде, первом и втором обертонах (DS012), а также несколько кандидатов в мультипериодические переменные с пульсациями в более высоких обертонах. Найдено более десятка случаев HADS звезд с двойной периодичностью, один из компонентов переменности которых имеет обратную асимметрию кривой блеска: во всех случаях этот компонент уверенно отождествляется с колебанием в первом обертоне, что может также оказаться удобным идентификационным признаком моды пульсаций монопериодических HADS переменных с подобными обратно-асимметричными кривыми блеска. Также выявлено несколько случаев амплитудной модуляции у HADS звезд, среди которых один, вероятно, показывает смену бимодального режима пульсаций на мономодальный.

Исследование пространственного распределения молодых звезд Галактики методами кластерного анализа

Чемель А.А. | Глушкова Е.В. | Дамбис А.К. | Richard de Grijs | МГУ, ГАИШ МГУ | МГУ, ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | Macquarie University

Секция: Современная звёздная астрономия

Проведена работа по изучению пространственной структуры и кинематических особенностей выборки молодых OB звезд в пределах 4-5 кпк от Солнца на основе расстояний и собственных движений GAIA EDR3. Использованная в работе выборка включает в себя более 20300 молодых звезд как северного, так и южного неба, среди которых присутствуют также около 350 классических цефеид, отобранных из каталога GAIA DR2 с привлечением работы Ripepi et al, 2019, где классификация цефеид GAIA DR2 была уточнена. Основная цель работы – поиск и исследование молодых звездных групп – OB ассоциаций, являющихся основными маркерами современного звездообразования в диске Галактики. Для этого были привлечены методы кластерного анализа, основанные на алгоритме DBSCAN, позволяющем находить в данных кластеры произвольной формы при минимальном наборе входных параметров.

Визуальные двойные звёзды с известными орбитами в Gaia eDR3

Чулков Д.А. | ИНАСАН

Секция: Современная звёздная астрономия

Алгоритмы, использованные для создания каталога Gaia eDR3, действуют в предположении, что звёзды являются одиночными. Вместе с тем имеющиеся данные Gaia оказываются ценными и для изучения двойных и кратных звёзд. Визуальные двойные звёзды с известными орбитами представляют особый интерес, так как позволяют определение звёздных масс с помощью 3-го закона Кеплера. Согласно данным 6-го каталога орбит визуальных двойных звёзд (ORB6) на текущий момент орбитальные элементы известны приблизительно для 3 тысяч звёздных пар. В рамках исследования проведена кросс-идентификация каталога ORB6 с Gaia eDR3, позволившая снабдить объекты каталога ORB6 параллаксами и оценить их динамическую массу. Приблизительно для полутысячи объектов независимо определены параллаксы двух компонентов двойной. Поскольку компоненты гравитационно связаны, сравнение измеренных параллаксов позволяет установить ограничения на точность данных Gaia. Для ряда объектов, входящих в ORB6, имеющиеся решения не содержат параллаксов. Иногда в таких случаях удаётся оценить параллакс с помощью "третьего света"- далёкого компонента визуальной двойной, выделенного из звёзд фона благодаря собственному движению.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 19-07-01198.

Специальный класс потенциалов, вращающихся звездных систем, близких к сферической симметрии

Шамшиев Ф.Т. | НУУз

Секция: Современная звёздная астрономия

Поиски качественных закономерностей в движении тел, подчиняющихся закону тяготения Ньютона, всегда были важной задачей в небесной механике. В звездной динамике актуальность подобных поисков сохраняется, и причем они стали относиться к более широкому классу возможных потенциалов из-за разнообразия встречающихся звездных и галактических гравитационных полей тяготения.

В работе был построен специальный класс потенциалов, допускающих локальный интеграл, который можно было применить для изучения движения звезд в звездных системах, близких к сферической симметрии. В предлагаемой работе рассмотрим эту же задачу при наличии вращения. На этой основе нами построен класс новых потенциалов.

[1] Антонов В.А., Шамшиев Ф.Т., Астрономический журнал, 1992, т.69., стр. 971-977.

Многоканальное изучение рассеянного звездного скопления NGC 225

Ялялиева Л.Н.* | *Глушкова Е.В.* | *Giovanni Carraro* | *Ulisse Munari* | *Иконникова Н.П.* | *Гасымов Д. Ф.* | *МГУ, ГАИШ МГУ* | *МГУ, ГАИШ МГУ* | *University of Padova* | *INAF Padova* | *ГАИШ МГУ* | *МГУ

Секция: Современная звёздная астрономия

Представлены первые результаты по комплексному исследованию кинематики и структуры рассеянных звездных скоплений с привлечением фотометрических, спектроскопических и астрометрических данных на примере рассеянного скопления NGC 225. В работе были использованы данные из разных источников: как полученные самостоятельно из наблюдений (фотометрия в полосах U, B, V, R, I, спектральные данные), так и высокоточные собственные движения и расстояния из обзора GAIA DR2, DR3. Помимо определения основных физических параметров (расстояния, покраснения в направлении скопления, возраста, средней лучевой скорости и среднего собственного движения), была сделана оценка доли двойных звезд в скоплении, их влияние на динамический разогрев и функцию масс скопления, а также посчитана орбита скопления относительно центра Галактики.

Всероссийская астрономическая конференция

Солнце

2021

Микроволновая пространственно-разрешающая спектроскопия солнечных вспышек

Флейшман Г.Д. | NJIT, ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Секция: Солнце

Движущей силой солнечных вспышек является свободная магнитная энергия, выделяющаяся в солнечной короне. Это энерговыделение должно сопровождаться уменьшением величины магнитного поля в короне. Для того, чтобы определить, как, где именно и с какой скоростью происходят изменения магнитного поля, нужны количественные измерения коронального магнитного поля, эволюционирующего во вспышке. Единственная существующая методика, позволяющая делать такие измерения основывается на микроволновой спектроскопии высокого разрешения.

В докладе дается обзор самых последних, новых достижений в исследовании солнечных вспышек по микроволновым данным высокого спектрального, пространственного и временного разрешения, полученным интерферометром EOVSA. Несмотря на то, что эти данные и методология их анализа появились совсем недавно, уже сейчас накопилось около десятка статей, исследующих различные аспекты и разные стадии солнечных вспышек (в основном, сентября 2017) включая статьи в Science and Nature Astronomy. Эта новая методология, основанная на спектральном фитировании микроволновых данных высокого разрешения с использованием быстрых гиросинхротронных кодов, дает совершенно уникальную, ранее недоступную информацию про распределение и эволюцию магнитного поля в короне, магнитное пересоединение, ускорение частиц и много другое. В ряду полученных результатов, обзор концентрируется на наблюдениях (а) быстрого затухания магнитного поля в корональной части вспышки (область каспа) в результате которого выделяется достаточно энергии для поддержания вспышки; (б) 100%-й эффективности ускорения частиц в этой области; и (в) крайне высокой эффективности их захвата в этой области. В свете полученных новых результатов, обсуждается трансформация наших представлений о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе явления солнечной вспышки.

Возможности диагностики динамо по наблюдениям морфологии активных областей с сильными вспышками

Абраменко В.И. | ФГБУН КрАО РАН

Секция: Солнце

Феноменологическая модель солнечного динамо Бэбкока-Лейтона (БЛ) в последние годы вызывает большой интерес как в теоретическом аспекте, так и в наблюдательном. Установлено, в частности, что порядка 70% активных областей удовлетворяют эмпирическим законам, которые согласуются с БЛ-моделью (в частности, закон полярностей Хейла, закон Джоя, правило доминирования лидирующего пятна, и т.п.). Это свидетельствует о том, что основная нагрузка при генерации магнитного поля приходится на глобальное динамо, генерирующее тороидальное поле в конвективной зоне. Но в то же время, как объяснить появление тех 30% областей-нарушителей эмпирических законов? Случайным гауссовым процессом их объяснить не удается, поскольку там доля сильных отклонений не более 5%. Приходится допустить, что процесс растяжения и скручивания силовых линий поля происходит не только на масштабе всего Солнца, но и на средних и мелких масштабах, т.е. динамо работает на всех масштабах как нелинейная динамическая система. Подходы к реализации этого допущения предпринимаются в численном моделировании динамо. В докладе будут рассмотрены наблюдательные свидетельства перепутывания силовых линий в подфотосферных слоях на основе анализа поэтапного отклонения структуры АО от регулярной (подчиняющейся БЛ-законам). Усиление в нарушении эмпирических законов БЛ-модели может свидетельствовать об усилении вмешательства хаотической составляющей в генерацию поля АО. Показано, что самые сильные вспышки 23-го и 24-го циклов происходят в АО с самыми сильными нарушениями законов БЛ-модели; более того в этих АО усиливается вспышечная продуктивность в период вторичного максимума и на фазе спада цикла, т.е., тогда, когда происходит переполюсовка, а тороидальное поле ослабевает, предоставляя большую свободу действия более мелкомасштабным, хаотическим процессам генерации поля.

Магнитные поля в солнечных пятнах в максимуме 24-го цикла: сравнение данных КрАО и SDO/HMI

Абраменко В.И. | Биктимирова Р.А. | КрАО РАН

Секция: Солнце

Переведены в цифровой формат данные с зарисовок об измерении максимального магнитного поля в солнечных пятнах, измеренных на телескопе БСТ-2 в Крымской астрофизической обсерватории Российской Академии Наук (КрАО РАН). Исследовано около 1000 пятен, наблюдавшихся в 2014 году. Результаты сопоставлены с данными, полученными космическим аппаратом SDO/HMI, а именно, с максимальными значениями магнитного поля по лучу зрения и с модулем полного вектора магнитного поля в пятне. Линейная аппроксимация по всему интервалу измерений поля (1000 – 4000 G) показывает коэффициент корреляции Пирсона 0,71 (95% доверительный интервал 0,68-0,74). Кроме того, выяснено, что для сильных полей (B(CrAO)>1800 G) корреляция сохраняется на том же уровне, а для слабых полей (B(CrAO)<1800 G) наблюдается слабое нелинейное отклонение (завышение) космических данных. Сделан вывод о физической значимости крымских данных и возможности их использования на длительных временных интервалах за прошлые годы, в докосмическую эру.

О связи микроволнового излучения и метровых всплесков III типа в слабых транзиентных событиях

Алтынцев А.Т. | Жданов Д.А. | Мешалкина Н.С. | Мышьяков И.И. | Reid H. | ИСЗФ СО РАН | ИСЗФ СО РАН | ИСЗФ СО РАН | ИСЗФ СО РАН | University College London

Секция: Солнце

Мы пытаемся найти процесс в нижней атмосфере, который ускоряет электроны, вызывающий многочисленные метровые всплески типа III, зарегистрированные LOFAR во внешней короне во время слабой солнечной активности: 13 апреля 2019 года, когда Parker Solar Probe находился в перигелии. Найден интервал длительностью около часа, в течение которого коэффициент корреляции между сглаженными профилями излучения метрового (53-80 МГц) и микроволнового (5-7 ГГц) диапазонов достигает 0.78, что дает основание предполагать единый процесс ускорения для популяций электронов, генерирующих радиоизлучение в нижней и внешней короне. Изображения радиогелиографа Нобеяма, телескопов мягкого рентгеновского (Hinode/XRT) и ультрафиолетового (SDO/AIA) излучений позволили локализовать область ускорения в активной области.

Обнаруженные микроволновые всплески по данным BBMS имеют довольно узкие спектры шириной до 2 ГГц, такая ширина полосы слишком мала для механизмов теплового излучения и указывает на нетепловую природу всплесков. В данных FERMI не наблюдается приращение жесткого рентгеновского потока, что указывает на более высокую чувствительность радионаблюдений к слабым переходным событиям. Обсуждаются возможные механизмы генерации узкополосного микроволнового спектра.

На изображениях в ультрафиолетовом излучении видна область контакта низких и высоких петель, которая, вероятнее всего, связана с областью ускорения. Во время периода с высокой кросс-корреляцией наблюдаются уярчения низких петель, их разрушение, вплоть до появления струй плазмы. Реконструкция магнитных полей в потенциальном и нелинейном бессиловом приближении согласуется с наблюдаемыми структурами перед формированием струй.

Работа выполнена при поддержке российско-британского гранта РФФИ 21-52-10012

11-летняя динамика площадей корональных дыр и солнечных пятен

Андреева О.А. | Абраменко В.И. | Малащук В.М | КрАО РАН

Секция: Солнце

В работе исследуются циклические вариации площадей корональных дыр и солнечных пятен. Исследование базируется на данных наблюдений, полученных инструментом Atmospheric Imaging Assembly в линии железа Fe XII 19.3 нм на борту космического аппарата Solar Dynamics Observatory в период 13.05.2010 –13.05.2021 гг. Для локализации корональных дыр и определения их площадей мы воспользовались базой Гелиофизических событий HEK - Heliophysics Event Knowledgebase. Данные о площадях солнечных пятен взяты с сайта http://solarcyclescience.com/AR_Database/daily_area.txt
Результаты показывают:

Ежедневная суммарная площадь полярных корональных дыр увеличивается в минимумах солнечной активности и снижается в максимуме цикла. Это согласуется с общим представлением о полярных корональных дырах как основном источнике дипольного магнитного поля Солнца. Наблюдается асимметрия площадей полярных корональных дыр в N- и S-полусферах. В период второго максимума 24 цикла в южном полушарии Солнца имело место квази-одновременное преобладание активности, как по пятнам, так и по общей площади, занятой корональными дырами. По нашему мнению, это говорит о том, что корональные дыры и пятна – это элементы общей магнитной активности. Эти структуры ведут себя связанным образом на временных масштабах, на порядок меньших, чем солнечный цикл. Дипольное полоидальное поле, в виде открытых полей корональных дыр, и тороидальное поле, в виде активных областей, зависят друг от друга. Площади неполярных корональных дыр меняются квази-синхронно с пятенной активностью Солнца, что позволяет предположить наличие физической связи этих двух явлений. По-видимому, природа магнитных полей полярных и неполярных корональных дыр разная. Неполярные корональные дыры, возможно, представляют собой очень высокие петли, замыкающиеся через корону на других областях Солнца, в то время как полярные - уходят далеко в гелиосферу.

Наблюдения в ближней инфракрасной области на телескопе БСТ-2 КРАО

Андреева О.А. | Малащук В.М. | КрАО РАН

Секция: Солнце

Спектроскопия ближней инфракрасной области представляет собой современный инструментальный метод количественного и качественного анализа разных объектов, основанный на сочетании спектроскопии и статистических методов исследования многофакторных зависимостей. В 80-х годах прошлого столетия в “Крымской астрофизической обсерватории” под руководством Н.Н. Степанян были начаты работы по подготовке технических возможностей и программного обеспечения для наблюдений в инфракрасной области спектра (линия HeI 10830A, HeI). Была разработана система проведения наблюдений и обработки изображений. Организован ежедневный мониторинг и оперативное представление данных наблюдений в INTERNET, созданы обширные базы данных. Это позволило КрАО участвовать в национальных и международных программах наблюдений "Служба Солнца", "SpaceWeather" и других. Наблюдения в линии HeI в КрАО проводятся на башенном солнечном телескопе БСТ-2 с дифракционным спектрографом и Универсальным спектрофотометром (УСФ) (Степанян и др., 2000). С помощью УСФ можно получать изображения всего Солнца, или отдельных участков диска. В качестве приемного устройства на выходе спектрографа используется фотоумножитель ФЭУ-83 или ПЗС-камера. Достаточно высокая чувствительность этих приемников позволяет применять УСФ для исследования Солнца в ближней инфракрасной области, в частности, в линии HeI. Сервисные программы позволяют в течение нескольких минут учесть потемнение к краю и проанализировать изображение для выявления КД.

Наблюдения в линии HeI проводятся регулярно с 1999 года по настоящий момент. В 2020 году выполнена модернизация процесса наблюдений. В данное время формируется каталог изображений диска Солнца, полученных на телескопе БСТ-2 в 1999-2018гг., до модернизации. Фрагменты каталога и его описание будут представлены в докладе.

1. Степанян Н.Н. и др. // Изв. Крымск.астрофиз. обсерв., 2000. Т.96 С. 194.

Солнечная активность и эволюция магнитных полей пятен по измерениям максимальных напряженностей в КрАО РАН: циклы 22-24

Ахтемов З.С. | Цап Ю.Т. | Малащук В.М. | КрАО РАН

Секция: Солнце

На основе визуальных спектральных наблюдений расщепления зеемановских компонент линии FeI 6302.5 Å, проведенных на Башенном солнечном телескопе (БСТ-2) КрАО РАН, исследована эволюция максимальных значений магнитного поля солнечных пятен с 22-го по 24-ый циклы активности Солнца (1990 - 2018 гг.), напряженность которых ≥ 1500 Гс. Значения магнитного поля и чисел Вольфа усреднялись за различные промежутки времени - год, полгода и четверть года. Полученные таким образом временные ряды сглаживались методом быстрого преобразования Фурье (Fast Fourier Transform). Коэффициент корреляции Пирсона за период с 1990 по 2010 гг. в среднем оказался равным 0.84 ± 0.13, тогда как за период с 2010 по 2018 гг. его значение составило -0.45 ±0.22. В 22 и 23 циклах солнечной активности (1990 – 2010 гг.) магнитное поле пятен со временем менялось циклически с амплитудой в несколько сот гаусс, достигая максимальных значений в пике каждого цикла, хотя синхронность не являлась абсолютной. Между тем к концу 24-го цикла активности Солнца усредненная напряженность магнитного поля пятен монотонно слабо росла, тогда как значения чисел Вольфа монотонно стремились к нулю. Результаты свидетельствуют о возможном сбое в работе механизма динамо Паркера в 24 цикле солнечной активности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки (НИР№0831-2019-0006).

Особенности эволюции солнечных магнитных полей разного масштаба в 21-24 циклах

Биленко И.А. | ГАИШ

Секция: Солнце

Рассмотрены особенности, сходство и различия в динамике солнечных магнитных полей разного масштаба в 21-24 циклах. Сопоставлены закономерности формирования магнитных полей как в отдельных циклах в целом, так и на различных фазах солнечной активности каждого цикла.

Результаты свидетельствуют, что циклические вариации больше проявляются в фотосферных магнитных полях средней и низкой напряженности. Фотосферные магнитные поля высокой напряженности остаются приблизительно на одном уровне, в то время как средняя напряженность слабых магнитных полей на протяжении последних циклов уменьшилась, а площадь, занимаемая ими, увеличилась. Это привело к наблюдаемому снижению общего магнитного поля Солнца.

Согласно полученным результатам, солнечные магнитные поля изменяются не хаотически, а выявляют определенные циклические закономерности в пространственно-временном распределении. Структура и напряженность магнитных полей разного масштаба, изменяются как от цикла к циклу, так и внутри каждого отдельного цикла. Изменения происходят не плавно от минимума активности к максимуму, а носят импульсный характер. Наблюдаемые структуры магнитного поля связаны с колебаниями различных периодов. Интенсивность колебаний коррелирует с магнитной активностью Солнца. Колебания более интенсивны в более высоких циклах. Ряд колебаний находится в хорошем соответствии с оценками периодов для быстрых магнитных волн Россби.

Наблюдаемое снижение общего магнитного поля Солнца может быть следствием понижения интенсивности и смещения к более длинным периодам колебаний в диапазоне 5-13 лет, отражающих динамику зональных структур магнитного поля и проявляющихся в 22-24 циклах как нисходящая ветвь 60-летнего цикла.

Результаты МГД моделирования в реальном масштабе времени: первая вспышка над АО 10365

Борисенко А.В. | Подгорный И.М. | Подгорный А.И | ФИАН | ИНАСАН | ФИАН

Секция: Солнце

Как показали первые результаты МГД моделирования в реальном масштабе времени над активной областью 10365 : максимум плотности тока появился до начала первой вспышки M 1.9 (26.05.2003 05:34) в окрестности особой линии магнитного поля X типа с наложенным расходящимся магнитным потоком (магнитное поле типа ‘пробкотрона’) на высоте около 18000 км (в короне). Оказывающий влияние расходящийся магнитный поток препятствует образованию токового слоя, появление которого ожидается в окрестности магнитной линии X типа,по мнению авторов. Наземные (радиогелиограф Нобеяма NORH 17 Ghz) и космические (SOHO) данные подтверждают нахождение источника вспышки M 1.9 на высотах солнечной короны. Поскольку конфигурация (особая магнитная линия X типа) -предполагаемый источник вспышки хорошо видна в корональных ультрафиолетовых линиях железа Fe ix/x , Fe xii, Fe xv (SOHO/EIT 171A,195A,284A) ,можно также предположить возможное образование токовых слоев на высотах выше 18000 км (по данным радиогелиографа Нобеяма NORH 17 Ghz).
Точность МГД моделирования в масштабе реального времени существенно выше ранее проведенного МГД моделирования в сокращенном масштабе времени (Подгорный ИМ, Подгорный АИ,2019).

Обработка и визуализация получаемых на многоканальном ПЗС-спетрогелиографе серий монохроматических изображений областей Солнца в программах ImageJ и ParaView

Верещагин Ф.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Солнце

В отделе физики Солнца ГАИШ МГУ на башенном телескопе АТБ-1 для исследования нестационарных явлений в хромосфере Солнца используется многоканальный ПЗС-спетрогелиограф [1]. Обработка и визуализация получаемых на многоканальном ПЗС-спетрогелиографе серий монохроматических изображений областей Солнца в свете отдельных спектральных линий проводится в свободно распространяемых программах: программе для анализа и обработки изображений ImageJ [2] и графическом кросс-платформенном пакете для интерактивной визуализации ParaView [3]. Встроенные в ParaView функции визуализации позволили представить серию монохроматических изображений в виде томографического изображения в пространстве, где координата Z соответствует длинам волн, а отображение точек вне определённого диапазона значений - скрыто. Операции обработки серий изображений и встроенный в ImageJ макроязык программирования сократили время разработки программы обработки данных, позволили получить серии комбинированных изображений, состоящих как из самого монохроматического изображения, так и из усредненного спектрального профиля с отметкой длины волны, соответствующей изображению [1].

1. Многоканальный ПЗС-спектрогелиограф для исследования нестационарных явлений в хромосфере Солнца. Никулин И.Ф., Верещагин Ф.В.
в журнале Приборы и техника эксперимента, издательство ИКЦ «Академкнига» (Москва), № 4, с. 105-108 DOI 10.1134/S003281621904013X

2. Schneider, C. A.; Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W. (2012). "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". Nature methods 9(7): 671-675. PMID 22930834 (on Google Scholar)

3. A. Henderson, ParaView Guide, A Parallel Visualization Application. Kitware Inc., 2007, http://paraview.org

Циклические вариации полярности в слабых магнитных полях фотосферы Солнца

Вернова Е.С. | Тясто М.И. | Баранов Д.Г. | СПб филиал ИЗМИРАН | СПб филиал ИЗМИРАН | ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Секция: Солнце

Исследовано распределение магнитных полей разной полярности по солнечной поверхности. В качестве исходных данных использовались синоптические карты фотосферного магнитного поля (NSO Kitt Peak, 1978-2016). На диаграмме широта-время для слабых магнитных полей (B < 5 Гс) отчетливо видны наклонные полосы, свидетельствующие о поочередном доминировании магнитных полей с положительной или отрицательной полярностью, дрейфующих по направлению к полюсам Солнца.

Наблюдаются полосы двух типов. Полосы первой группы, по-видимому, относятся к так называемым потокам магнитных полей Rush-to-the-Poles (RTTP). Это полосы с шириной порядка 2-3 лет, которые начинаются на широтах ~40° и имеют ту же полярность, что и хвостовые солнечные пятна. Приход этих потоков к полюсам совпадает по времени с инверсией полярного поля. Другая группа полос, более узких (с шириной меньше одного года) наблюдается в течение 8-10 лет в период между двумя RTTP (фаза спада, минимум, фаза роста). Полосы наиболее отчетливо видны в том полушарии, в котором полярное поле положительно. Особенно ярко проявляется циклическое изменение полярности в южном полушарии. Вариации, подобные вариациям полярности слабых полей (B < 5 Гс), имеют место и для более сильных магнитных полей, но становятся нестабильными и исчезают при B > 50 Гс. Анализ диаграммы широта-время с помощью метода эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) позволил выделить основную циклическую компоненту распределения магнитного поля. Для четырех участков диаграммы с продолжительностью 10 лет каждый и широтным интервалом 40° были обнаружены значительные циклические вариации с периодами 1 – 3 г., что близко к периоду квазидвухлетней вариации.

Гелиосейсмологические свидетельства существования крупномасштабных ячеек поля скоростей в конвективной зоне Солнца

Гетлинг А.В. | Косовичев А.Г. | НИИЯФ МГУ | NJIT USA

Секция: Солнце

Пространственная структура течений в конвективной зоне Солнца исследуется по измерениям подповерхностных скоростей методами пространственно-временной гелиосейсмологии. Исходные данные получены инструментом Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту орбитальной Обсерватории солнечной динамики (SDO) с мая 2010 г. по сентябрь 2020 г. Результаты гелиосейсмологической обработки выявляют с 8-часовой временной каденцией трехмерную структуру течений в подфотосферном слое глубиной 19 Мм в диапазонах широт и отсчитываемых от центрального меридиана долгот от − 60° до + 60°. Структура конвективных течений различных масштабов и форм исследуется путем разложения поля дивергенции горизонтальной составляющей скорости по сферическим гармоникам. В пространственном спектре мощности найдены признаки существования крупномасштабных ячеек поля скоростей, возможно, соответствующие гигантским ячейкам солнечной конвекции. В частности, имеются указания на присутствие ячеек, вытянутых в меридиональном направлении и имеющих заметно меньшие долготные размеры, чем широтные. Обсуждаются физические свойства разномасштабных конвективных ячеек и их эволюция в солнечном цикле активности.

Вариации подфотосферных зональных и меридиональных течений в 24 цикле солнечной активности

Гетлинг А.В. | Косовичев А.Г. | Чжао Ц. (Zhao Junwei) | НИИЯФ МГУ | NJIT USA | Stanford University USA

Секция: Солнце

Пространственно-временные вариации солнечного дифференциального вращения и меридиональной циркуляции исследуются по результатам определения азимутальных и меридиональных скоростей методами пространственно-временной гелиосейсмологии на основе данных инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) орбитальной Обсерватории солнечной динамики (SDO) за период с мая 2010 г. по сентябрь 2020 г. Данные относятся к широтам и отсчитываемым от центрального меридиана долготам от –60° до +60° и глубинам приблизительно до 19 Мм под фотосферой. 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 солнечно 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.

Температурные характеристики радиоизлучения полярных корональных дыр на Солнце

Голубчина О.А. | СПб Ф САО

Секция: Солнце

В статье представлен краткий обзор основных результатов наблюдений радиоизлучения полярных корональных дыр на Солнце, полученных в широком диапазоне длин волн (м-мм) на различных радиотелескопах. Дан анализ результатов наблюдений на РАТАН-600 полярной корональной дыры (КД) в широком сантиметровом диапазоне длин волн (1.03-30.7) см. Полученные физические характеристики КД над Северным полюсом Солнца сравниваются с характеристиками КД, расположенными в более низких широтах.

Об ориентации флуктуаций скорости в спокойном солнечном ветре

Ерофеев Д.В. | ИПА РАН

Секция: Солнце

Флуктуации скорости спокойного солнечного ветра (СВ) в основном ориентированы вдоль двух направлений – в направлении радиального истечения СВ (квазипродольные флуктуации) и в направлении, ортогональном к среднему магнитному полю (квазипоперечные флуктуации). В работе исследовались отклонения в ориентации флуктуаций скорости невозмущенного солнечного ветра (СВ) от этих типов симметрии. Использованы данные измерений параметров СВ в околоземной гелиосфере, главным образом данные КА WIND за 1995-2020 гг. Анализ вариаций компонент векторов скорости СВ и магнитного поля в диапазоне периодов от нескольких минут до 1 сут. показал наличие на всех фазах солнечного цикла систематического отклонения ориентации квазипродольных флуктуаций скорости от радиального направления. Отклонение происходит в плоскости, параллельной гелиоэкватору, и в направлении, совпадающем с направлением среднего магнитного поля, величина его составляет 15-20 градусов (при этом вариации направления полного вектора скорости могут достигать нескольких градусов). Это отклонение от симметрии проявляется в наибольшей степени у флуктуаций больших масштабов (периоды вариаций несколько часов и более), не связанных с альвеновской турбулентностью. В минимумах солнечного цикла наблюдается отклонение от симметрии, присущее квазипоперечным (по отношению к среднему магнитному полю) флуктуациям скорости, которые происходят в меридиональной плоскости гелиосферы. Эти флуктуации показывают систематическое отклонение от нормали к направлению среднего магнитного поля, причем величина и знак отклонения зависят от полярности сектора межпланетного магнитного поля и ориентации дипольного магнитного поля Солнца. Такое отклонение присуще флуктуациям скорости в широком диапазоне масштабов (периоды от минут до нескольких часов), которые коррелируют с флуктуациями магнитного поля. Последнее говорито том, что флуктуации этого типа связаны, по крайней мере отчасти, с альвеновской турбулентностью.

Первые наблюдения микроволновой тонкой структуры спектра на Сибирском радиогелиографе 3-6 ГГц

Жданов Д.А. | ИСЗФ СО РАН

Секция: Солнце

Сибирский радиогелиограф основан на базе ССРТ и имеет три независимые антенные решетки (3-6 ГГц, 6-12 ГГц, 12-24 ГГц). С января 2021 г. решетка 3-6 ГГц находится в тестовом режиме получения солнечных изображений, остальные решетки готовятся к запуску.

В работе представлены результаты первых наблюдений тонкой структуры микроволнового излучения с помощью антенной решетки 3-6 ГГц Сибирского радиогелиографа. Динамические спектры BBMS в полосе частот 4-8 ГГц использованы для подтверждения наличия тонкой структуры спектра. Рассматриваются возможности локализации источника и особенности наблюдений тонкой структуры на новом радиогелиографе.

Циклические вариации активных областей разных магнито-морфологических классов в 23-м и 24-м циклах

Жукова А.В. | Соколов Д.Д. | Абраменко В.И. | Хлыстова А.И. | КрАО РАН | МГУ, ИЗМИРАН, Московский центр фундаментальной и прикладной математики | КрАО РАН | ИСЗФ СО РАН

Секция: Солнце

При помощи данных обсерваторий SOHO и SDO были изучены 3777 активных областей (АО) 23-го и 24-го солнечных циклов. В соответствии с эмпирическими закономерностями, установленными для групп солнечных пятен, и предложенной ранее магнито-морфологической классификацией (ММК) АО были распределены по следующим категориям: A – регулярные биполярные области, подчиняющиеся эмпирическим правилам; B – биполярные области, нарушающие хотя бы одно из них; U – одиночные пятна. Было установлено, что около четверти всех АО составляют «нарушители» (класс B), и только около половины всех АО подчиняются эмпирическим закономерностям (класс A). АО класса A распределены между двумя максимумами цикла равномерно; АО B-класса преобладают во втором максимуме каждого из исследованных циклов. Для АО обоих классов наблюдается сильная N-S-асимметрия. Число АО класса A в разных полушариях достигает пиковых значений в первом и во втором максимумах цикла поочередно; очередность пиков в исследованных циклах разная. Для АО класса B обнаружена сходная тенденция, однако пиковые значения достигаются в других (по сравнению с классом A) максимумах цикла. Исключение составляет сильный пик АО класса B в S-полушарии во втором максимуме 24-го цикла, совпадающий с пиком для АО класса A и нарушающий ожидаемую последовательность. Исследование циклических вариаций нормализованного индекса асимметрии для регулярных/нерегулярных АО показало приблизительную синхронность кривых для обоих классов при увеличении числа АО в N-полушарии. При переходе активности в S-полушарие рост АО B-класса происходит позже (по сравнению с A-классом); величина задержки во времени близка к временному зазору между максимумами цикла (~1.5-2 года). Обнаруженные тенденции могут быть объяснены возрастающим влиянием флуктуационного динамо при общем ослаблении тороидального магнитного поля в ходе цикла и при дополнительном его ослаблении в S-полушарии в результате взаимодействия дипольной и квадрупольной составляющих. Классификация АО выполнена А.Ж. при поддержке РНФ (проект 18-12-00131). В.А. благодарит Минобрнауки РФ (НИР 0831-2019-0006). А.Х. благодарит грант РФФИ 19-52-45002. Работа А.Х. выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ II.16.

Эволюция процессов энерговыделения во время залимбовой вспышки 29 мая 2020 года по данным микроволнового излучения

Кашапова Л.К, | Жданов Д.А. | ИСЗФ СО РАН

Секция: Солнце

Мы представляем результаты исследования процессов энерговыделения, определивших генерацию микроволнового излучения солнечной вспышки SOL2020-May-29T07:13. Событие произошло на восточном лимбе, и было частично скрыто диском Солнца. Микроволновые данные получены в диапазоне 4-8 ГГц с помощью радиогелиографа и спектрополяриметра обсерватории ИСЗФ СО РАН. Временные профили вспышки в микроволновом диапазоне показали как минимум три последовательных всплеска. Анализ пространственных и спектральных свойств данных всплесков выявил, что источники всплесков перемещались во время вспышки, и при этом происходила эволюция механизма излучения – от нетеплового гиросинхротронного излучения к тепловому тормозному. Полученные результаты сравниваются с доступными наблюдениями в рентгеновском диапазоне и обсуждаются с точки зрения различных моделей энерговыделения в солнечных вспышках.

Природа и длительность солнечного цикла

Котов В.А. | КрАО РАН

Секция: Солнце

По экстремумам числа пятен (1610--2020~гг.) уточнена длительность магнитного цикла Хейла: P_H = 22.14(8) г., - и показано, что изменение общего магнитного поля Солнца с этим циклом имеет пилообразную форму, подтверждающую правило Гневышева-Оля. Приведены аргументы в пользу космологической природы цикла и его связи с орбитальным периодом Земли P_E:

P_E = (1 - 3/\pi) P_H .

Выдвинута гипотеза, что цикл Хейла, периоды вращения Солнца и движений Земли, осевого и орбитального, - фундаментальные константы солнечной системы.

Взаимодействие вращательного разрыва с головной ударной волной Земли

Кропотина Ю.А. | Артемьев А.В. | Быков А.М. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | ИКИ РАН | ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Секция: Солнце

Солнечный ветер, сверхзвуковой поток плазмы, распространяющейся от Солнца, заполнен транзитными магнитоплазменными структурами – разрывами солнечного ветра. Существенная часть популяции таких структур представлена вращательными разрывами (ВР). Как показывают спутниковые наблюдения, прохождение вращательного разрыва через головную ударную волну (УВ) Земли приводит к усилению тока в разрыве. В свою очередь, этот эффект может привести к развитию пересоединения магнитных силовых линий во ВР за УВ (в магнитослое). Важность магнитного пересоединения для нагрева плазмы магнитослоя и для последующего взаимодействия ВР с магнитосферой Земли определяет интерес к изучению взаимодействия ВР и УВ. Мы изучили двадцать событий прохождения ВР через УВ на границе магнитосферы Земли по наблюдениям спутников THEMIS и ARTEMIS, а также выполнили гибридное моделирование событий с аналогичными параметрами. Было показано, что усиление тока в разрыве наиболее эффективно, если перед фронтом УВ присутствует популяция надтепловых частиц. В гибридной модели такая ситуация возникает только в предвестнике квази-продольных УВ, в то время как в случае головной УВ Земли энергичные частицы могут придти с квази-продольных участков УВ в квази-поперечные (в частности, вдоль самого ВР). Ток надтепловых частиц раскачивает магнитозвуковую ветку колебаний. Возникающие волны возле разрыва нелинейно укручаются и захватывают в ловушку ускоренные частицы. Это приводит к локальной анизотропии температуры, которая в свою очередь может вызывать зеркальную или альвеновскую ион-циклотронную неустойчивость. В результате на разрыв накладывается цуг волн с сильными перемежающимися токами. Эта конфигурация может быть неустойчива к пересоединению магнитных линий.

Радиоизлучение многокомпонентной мультитемпературной плазмы в атмосфере Солнца

Кузнецов А.А. | Флейшман Г.Д. | Landi E. | ИСЗФ СО РАН | NJIT USA | University of Michigan

Секция: Солнце

Тепловая плазма солнечной атмосферы характеризуется широким диапазоном температур – от тысяч до миллионов градусов. Такая плазма часто описывается в терминах дифференциальной меры эмиссии (ДМЭ). Описание с помощью ДМЭ широко используется при анализе оптически тонкого ультрафиолетового и рентгеновского излучения; однако, в приложении к радиодиапазону аналогичный подход до недавнего времени был ограничен только случаем оптически тонкого тормозного излучения. Мы разработали теорию теплового радиоизлучения мультитемпературной плазмы, которая включает гирорезонансный и тормозной механизмы излучения. Мы представляем также разработанные на основе новой теории компьютерные коды для моделирования солнечного радиоизлучения – как отдельно, так и в совокупности с моделированием ультрафиолетого и рентгеновского излучения, которые также используют ДМЭ. Для описания гирорезонансного механизма излучения мы ввели новую характеристику мультитемпературной плазмы – дифференциальную меру плотности (ДМП). В случае тормозного механизма излучения, новая теория и коды учитывают также влияние тяжелых элементов, зависящей от температуры степени ионизации, столкновений электронов с ионами и нейтральными атомами, и уточненные значения фактора Гаунта. Мы приводим модельные спектры и изображения солнечных активных областей в радиодиапазоне, и анализируем влияние перечисленных выше факторов. Интересно, что для гирорезонансного излучения отличие радиояркости от классического однотемпературного подхода может достигать нескольких раз. Новая теория и коды позволят существенно усовершенствовать диагностику процессов нагрева короны по радионаблюдениям; они могут также быть использованы, например, в приложении к суб-терагерцовому излучению солнечных вспышек.

О микроволновых источниках шумовых бурь радиовсплесков III типа 10 апреля 2019 г.

Куприянова Е.Г. | Кашапова Л.К. | Reid H.A.S | Zhang J. | ГАО РАН | ИСЗФ СО РАН | UCL, UK | UCL, UK

Секция: Солнце

Мы представляем предварительные результаты исследования связи активности в микроволновом и радио- диапазонах, проведенного для шумовых бурь радиовсплесков III типа, наблюдавшихся на LOFAR на частотах 20-80 МГц 10 апреля 2019 года. Одновременно Сибирским радиогелиографом-48 в диапазоне 4-8 ГГц была зарегистрирована серия микровспышек, что послужило стимулом для данного исследования. Нами проведен анализ временных масштабов в обоих частотных диапазонах с использованием новой методики, учитывающей влияние медленно меняющегося тренда и шумов различной природы и сочетающей методы Фурье и вейвлет анализов. Также наблюдения в микроволновом и крайнем ультрафиолетовом диапазонах были использованы для локализации возможного источника всплесков III типа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Лондонского Королевского Общества № 21-52-10012 КО_а

Наблюдение кривых интенсивности солнечных вспышек и сравнение их со звездными вспышками

Купряков Ю.А. | Бычков К.В, | Белова О.М. | Горшков А.Б. | Heinzel P. | Kotrč P. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | Astronomical Institute ASCR | Astronomical Institute ASCR

Секция: Солнце

Мы представляем кривые интенсивности солнечных вспышек, полученные в линиях водорода Hα, Hβ и линиях CaII H, CaIR 8542Å с использованием многоканальных спектрографов Ondrejov Observatory (Czech Republic) и фильтрограмм Observatory Úpice за период 2000 – 2012 годов. Общее поведение наблюдаемых кривых интенсивности практически одинаково во всех вспышках и согласуется с временными вариациями рентгеновского излучения. Тем не менее, наши результаты значительно отличаются от полученных другими авторами для выбранных вспышечных звезд, например AD Leonis . EV Lac. YZ Cmi . Различие в поведении свечения Ca II и Hα мы попытались объяснить возникновением ударной волны в ходе вспышки.

Дифференциальное вращение Солнца по движению активных и эфемерных областей

Куценко А.С. | КрАО РАН

Секция: Солнце

Активные и эфемерные область показывают зависимость скорости вращения по диску Солнца не только от широты, но также от морфологии и величины полного магнитного потока. Механизмы влияния размера активной области на скорость вращения до конца не ясны, что побуждает проводить все новые исследования дифференциального вращения. Целью данной работы было измерить и проанализировать скорости вращения активных и эфемерных областей, используя, в отличие от множества предыдущих работ, магнитограммы Солнца, а не изображения в белом свете.

Для анализа использовались наблюдения инструмента Helioseismic and Magnetic Imager обсерватории Solar Dynamics Observatory. В общей сложности были измерены и проанализированы скорости вращения 864 активных и 322 эфемерных областей. Было установлено, что меньшие магнитные трассеры имеют тенденцию показывать большую скорость вращения, т.е. эфемерные области вращаются наиболее быстро. Все активные области были разделены на три класса: класс A - магнитные диполи, подчиняющиеся законам Хейла и Джоя, а также имеющие доминирующее ведущее пятно по сравнению с хвостовым; класс B - биполярные и мультиполярные активные области, нарушающие хотя бы один из указанных законов; класс U - униполряные пятна.

Активные области классов A и B не показывали существенного различия в распределении скоростей вращения. В то же время, униполярные пятна вращались, в среднем, медленнее по сравнению с би/мульти-полярными активными областями, а также показывали меньший разброс скоростей вращения. Полагая, что скорость вращения определяется глубиной укоренения магнитного жгута, формирующего активную область, можно предположить, что "корни" активных областей классов A и B могут быть рассредоточены по всей конвективной зоне. Униполярные пятна могут быть укоренены в области тахоклина или в приповерхностном слое.

Тепловая фрагментация токового слоя как триггер вспышек на Солнце

Леденцов Л.С.* | *ГАИШ МГУ

Секция: Солнце

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.

Осесимметричные колебания в корональных трубках с магнитно-закрученным слоем

Лопин И.П. | Уссурийский отдел ИПА РАН

Секция: Солнце

Свойства осесимметричных МГД волновых мод исследованы на модели корональной магнитной трубки, состоящей из центрального шнура с однородным осевым магнитным полем, окруженного цилиндрическим слоем с закрученным магнитным полем. Эта модель имитирует корональные петли с радиально локализованной магнитной закруткой. Полученное дисперсионное соотношение решено численно. Аналитически рассмотрен ряд предельных случаев. Обнаружено, что в модели существуют два семейства осесимметричных мод. Первое включает в себя бесконечное количество радиальных мод, модифицированных магнитной закруткой, а второе - набор мод с частотами, лежащими в узкой полосе, близкой к альвеновской частоте слоя с магнитной закруткой. Основная радиальная мода (мода низшего радиального порядка) существует как захваченная мода для всего диапазона осевых волновых чисел. Ее фазовая скорость всегда ниже альвеновской скорости магнитно-закрученного слоя и, при определенных условиях, может быть меньше, чем внутренняя альвеновская скорость. Эта мода имеет незначительную дисперсию в диапазоне больших и промежуточных длин волн. Радиальные моды высших радиальных порядков менее чувствительны к наличию магнитной закрутки. Эти режимы существуют либо в режиме захвата, либо в режиме утечки. Как основная радиальная мода в случае слабой магнитной закрутки, так и набор симметричных мод из узкой частотной полосы имеют очень похожие частоты, которые почти равны альвеновской частоте слоя. Это свойство подразумевает, что вышеупомянутые волновые моды проявляют себя как крутильные альвеновские моды в закрученном слое и как радиальные моды в центральном шнуре и окружающей среде. Основные результаты исследования обсуждаются в рамках их приложений в корональной сейсмологии.

Статистическое исследование "холодных" солнечных вспышек в микроволновом диапазоне

Лысенко А.Л. | Алтынцев А.Т. | Жданов, Д.А. | Мешалкина, Н.С. | Моторина Г.Г. | White, S.M. | Флейшман Г.Д. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН | ИСЗФ СО РАН | ИСЗФ СО РАН | ИСЗФ СО РАН | ГАО РАН | AFRL USA | NJIT USA

Секция: Солнце

Источником энергии, питающим солнечную вспышку, является энергия магнитного поля, выделяемая в результате магнитного пересоединения. Эта энергия может расходоваться на нагрев окружающей плазмы, ускорение заряженных частиц, на кинетическую энергию коронального выброса массы и пр. Распределение энергии между различными компонентами меняется от вспышки к вспышке, и вопрос, чем оно обусловлено, на данный момент остаётся открытым (*Emslie et al., 2012*). В частности, наблюдаются вспышки, для которых значительное нетепловое излучение ускоренных электронов сопровождается аномально слабым тепловым откликом (*Masuda et al., 2013; Fleishman et al., 2016*). Такие вспышки, получившие название "холодных", представляют особый интерес, во-первых, поскольку могут прояснить причины того или иного распределения энергии между компонентами солнечной вспышки, во-вторых, позволяют изучить спектр ускоренных электронов до сравнительно низких энергий (<10 кэВ) практически без примеси теплового излучения. В работе *Lysenko et al., 2018* впервые было проведено статистическое исследование холодных вспышек, отобранных среди данных эксперимента Konus-Wind в жёстком рентгеновском диапазоне, которые были дополнены неоднородными данными в микроволновом диапазоне с различных инструментов. В этой работе были найдены отличия холодных вспышек от вспышек опорной группы: холодные вспышки характеризуются более жёсткими степенными индексами спектров ускоренных электронов и либо высокими, либо, напротив, очень низкими пиковыми частотами гиросинхротронного спектра. Таким образом, была выявлена ключевая роль микроволновых данных для исследования данного класса вспышек. Представляемая работа продолжает это исследование на основании холодных вспышек, отобранных в микроволновом диапазоне по однородным данным радиополяриметров Nobeyama, мы проводим сравнение результатов с предыдущей работой и предлагаем их интерпретацию.

Роль вистлеров в формировании энергетического спектра и питч-углового распределения электронов во вспышках

Мельников В.Ф. | Филатов Л.В. | ГАО РАН | ННГАСУ

Секция: Солнце

Вистлеры могут иметь важное значение как для кинетики электронов во вспышечных петлях, так и для рассеяния электронов в области их ускорения. В этом докладе мы фокусируемся на двух вопросах: как ускоренные электроны генерируют вистлеры в вспышечной петле и как преобразуется исходный энергетический спектр и питч-угловое распределение электронов в разных участках петли из-за взаимодействия с турбулентностью вистлеров. В результате решения квазилинейных уравнений установлено следующее. Показано, что при заданной нестационарной инжекции нетепловых электронов все три режима турбулентной диффузии - слабая, умеренная и сильная - могут реализовываться одновременно, но в разных энергетических диапазонах. Установлено, что обратное действие генерируемой свистовой турбулентности существенно изменяет характеристики пространственного, временного, питч-углового и энергетического распределений электронов. В частности, энергетический спектр электронов в диапазоне 30 кэВ - 10 МэВ может изменяться от жесткого к более мягкому и снова к более жесткому. Питч-угловые распределения электронов в разных диапазонах энергий также могут заметно отличаться друг от друга. Помимо этого, параметры распределений электронов претерпевают специфические временные изменения. Полученные результаты могут иметь большое значение для микроволновой/суб-мм, жесткой рентгеновской и гамма-диагностики солнечных и звездных вспышек.

Токовая структура полоидального магнитного поля Солнца

Мерзляков В.Л. | Баранов Д.Г. | Вернова Е.С. | ИЗМИРАН | ФТИ им. А.Ф.Иоффе | СПб Ф ИЗМИРАН

Секция: Солнце

Было проведено исследование полярного магнитного поля Солнца с целью определения свойств источника полоидальной компоненты этого поля. Использовались данные по геометрии полярных перьев, широтном распределении и скорости вращения фотосферного магнитного поля. Анализ этих данных показал, что источник полоидальной компоненты магнитного поля Солнца имеет свойства токовой структуры соленоидального типа. Эта структура расположена в основании конвективной зоны и её протяженность по широте составляет 66 - 76 градусов в полусфере.

Возможности анализа поля скоростей по данным HINODE SOT/SP

Можаровский С.Г. | ИПА РАН, Уссурийский отдел

Секция: Солнце

Показана возможность анализировать градиенты лучевой скорости в каждой точке карт, полученных из данных спектрополяриметра SOT HINODE. Описана методика получения таких градиентов, возможные инструментальные ошибки их измерения. Показаны статистические связи градиентов лучевой скорости с эффективной температурой и с напряжённостью продольного поля. Построены карты распределения градиентов лучевой скорости по поверхности наблюдаемой области.

Сравнение разных способов оценки продольного магнитного поля извлекаемой из данных HINODE SOT/SP

Можаровский С.Г. | ИПА РАН, Уссурийский отдел

Секция: Солнце

Сравниваются три способа оценки продольного магнитного поля, которые получаются из анализа профилей Стокса данных HINODE SOT/SP – это значения поля из инверсии по модели Милна-Эддингтона, значения, получаемые методом центров тяжести, и значения из данных об абсолютной ширине на половине высоты (FWHM) линии Fe I λ 6302 Å или из данных о разнице ширин $FWHM_{6302}$ – $FWHM_{6301}$. Показано, что в областях невозмущённой фотосферы при полях выше 500 Гс второй и третий способы дают данные, которые связаны зависимостью, близкой к линейной. Данные, получаемые в результате ME инверсии можно считать менее надёжными.

Также показано, что большинство элементов фотосферы с магнитным полем движутся вниз. Скорость этого движения связана с яркостью элементов, и она в среднем на 0.5-0.7 км/с больше скорости элементов без магнитного поля.

Визуализация распределения микротурбулентных скоростей по поверхности Солнца

Можаровский С.Г. | ИПА РАН, Уссурийский отдел

Секция: Солнце

Описана методика, с помощью которой можно получить приближенные значения микротурбулентных скоростей, сравнивая эквивалентные ширины разных спектральных линий. Показано, что в качестве таких линий можно использовать пару линий Fe I λ 6302 и 6301 Å. Приведены приближённые карты распределения микротурбулентных скоростей по поверхности наблюдаемой области по данным HINODE SOT/SP. Показано практическое отсутствие корреляции величины микротурбулентной скорости с яркостью солнечной поверхности. Показана связь микротурбулентной скорости с квадратом градиента лучевой скорости.

Моделирование теплового суб-ТГц излучения солнечных вспышек

Моторина Г.Г. | Цап Ю.Т. | Кашпарова Я. | Моргачев А.С. | Смирнова В.С. | Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences | КрАО РАН | Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences | ГАО РАН | КрАО РАН

Секция: Солнце

Рассматривается вопрос происхождения субтерагерцовой (суб-ТГц) компоненты излучения, которая характеризуется увеличением потока радиоизлучения с частотой и наблюдается в случае мощных солнечных событий рентгеновского класса M и X в диапазоне 100-400 ГГц. Произведено моделирование эволюции плотности и температуры плазмы внутри вспышечной петли, вызванной взаимодействием потоков ускоренных энергичных электронов с хромосферной плазмой. Для расчетов использовался численный код FLARIX, позволяющий определить динамику параметров вспышечной плазмы на разных высотах, исходя из уравнений радиационной гидродинамики. На основе результатов моделирования рассчитаны временные профили спектральных потоков теплового тормозного излучения в суб-ТГц и рентгеновском диапазонах. Проведено сравнение полученных результатов моделирования с данными наблюдений. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (N20-52-26006), Минобрнауки (НИР №0831-2019-0006), RVO:67985815, проекта LM2015067: EU-ARC.CZ, 21-16508J of the Grant Agency of the Czech Republic.

Проявление цикличности в процессах солнечного динамо и вариации солнечной активности промежуточного масштаба

Обридко В.Н. | Пипин В.В. | Соколов Д.Д. | Шибалова А.С. | ИЗМИРАН | ИСЗФ СО РАН | МГУ, ИЗМИРАН | МГУ

Секция: Солнце

Помимо хорошо известного 11-летнего цикла в изменениях солнечной активности можно выделить вариации с более короткими характерными временами, от нескольких месяцев до 5-6 лет. В работе мы рассматриваем проявление колебаний промежуточного масштаба в изменении числа солнечных пятен и в напряженности дипольной составляющей магнитного поля Солнца. Сравнение с теоретическими моделями динамо позволяет определить возможную природу таких колебаний: нелинейность динамо-процессов и отличие формы солнечного цикла от строго гармонического процесса. В рамках использованной модели установлена связь 5-6-летних колебаний с процессом нелинейного насыщения динамо во внутренних слоях солнечного вещества.

Спектр колебаний солнечной активности усложняется не только из-за сложения циклов с разными периодами, но и различиями основного 11 (22)-летнего цикла для компонент магнитного поля. Продолжительность этого периода оказывается неодинаковой для разных трассеров в разных циклах. Мы сравниваем спектры зональных гармоник крупномасштабного магнитного поля Солнца, используя результаты наблюдений и модели солнечного динамо. Основной солнечный цикл представляет собой гораздо более сложное явление, чем собственное решение системы уравнений солнечного динамо. И в данных наблюдений, и в моделях динамо заметна особенная роль моды l_5 (обозначение компоненты основано на номере коэффициента в разложении поля по сферическим функциям). Генерация моды l_5 связана с формированием и эволюцией солнечных пятен на поверхности Солнца.

Поведение мод l_1 и l_3 хорошо согласовано как в наблюдениях, так и в теоретических расчетах, причем неосесимметричные модели и модели с осевой симметрией дают похожие результаты. Проведенные исследования подтверждают идею возникновения источников динамо как следствие действия двух механизмов: гидродинамических процессов в основании конвективной зоны и поверхностной магнитной активности.

Статистический анализ затухания магнитного потока активных областей

Плотников А.А. | Куценко А.С. | Абраменко В.И. | КрАО РАН

Секция: Солнце

Данные инструмента Helioseismic and Magnetic Imager в составе Solar Dynamics Observatory были использованы для вычисления скорости затухания магнитного потока для более 800 активных и эфемерных областей, наблюдаемых с 2010 по 2016 гг. Предполагается, что для большинства активных областей соблюдается степенная зависимость между пиковым магнитным потоком и скоростью затухания магнитного потока. В то же время, часть униполярных активных областей отклоняется от общего поведения: эти униполярные пятна демонстрируют заметно меньшую относительную скорость затухания в сравнении с остальными областями. Возможно, присутствует некий отдельный механизм, поддерживающий стабильность униполярных активных областей.

Выбор параметров и появление вспышечной ситуации при МГД моделировании над активной областью в реальном масштабе времени

Подгорный А.И.* | *Подгорный И.М.* | *Борисенко А.В.* | *Мешалкина Н.С.* | *ФИАН* | *ИНАСАН* | *ФИАН* | *ИСЗФ

Секция: Солнце

Механизм С.И. Сыроватского, согласно которому, во время солнечной вспышки освобождается магнитная энергия токового слоя, образовавшегося в окрестности особой линии X-типа магнитного поля солнечной короны, объясняет наблюдаемое первичное энерговыделение вспышки над активной областью (АО) на высоте ~ 1/40 – 1/20 радиуса Солнца. Вспышечное освобождение энергии токового слоя вызывает наблюдаемые проявления вспышки, которые объясняются электродинамической моделью вспышки, предложенной И.М. Подгорным. Согласно этой модели, жесткое пучковое рентгеновское излучение на поверхности солнца во время вспышки объясняется торможением в нижних плотных слоях солнечной атмосферы потоков электронов, ускоренных в продольных токах, вызванных электрическим полем Холла в токовом слое.

Результаты исследований, приводят к выводу, что изучение механизма вспышки невозможно без проведения МГД моделирования над реальной АО, при котором наблюдаемые на фотосфере магнитные поля берутся в качестве граничных условий, и расчет начинается за несколько суток перед появлением вспышек. При постановке задачи, никаких предположений о механизме вспышки не делалось. Для того, чтобы ускорить расчет была специально разработана абсолютно неявная конечно-разностная схема, консервативная относительно магнитного потока, реализованная в программе ПЕРЕСВЕТ. МГД моделирование в солнечной короне в реальном масштабе времени может быть осуществлено только благодаря параллельным вычислениям с применением CUDA технологии.

МГД моделирование в реальном масштабе времени показало возникновение численной неустойчивости вблизи границы. Для выбора условий численного решения МГД уравнений, при которых численное решение устойчиво, и одновременно появляется реальная вспышечная ситуация, проводятся расчеты для различных вязкостей в расчетной области и условий на фотосферной границе. В расчете над АО 10365 для достаточно большой магнитной и обычной вязкостей в основной области ($Rm=3x10^4$, $Re=10^4$) и большой искусственной вязкости вблизи фотосферы ($nu=nu_m=3´10^{-3}$) не

получилось конфигурации магнитного поля, при которой возможны крупные вспышки. В максимумах плотности тока на конфигурацию поля X-типа наложено расходящееся поле. Расчет над АО 10365 для малых вязкостей ($Rm=10^9$, $Re=10^7$, $nu=nu_m=10^{-4}$) показал появление особой линии X-типа, в окрестности которой может образоваться токовый слой с накопленной магнитной энергией для большой вспышки.

Солнечно-земные связи: солнечная активность и пандемия COVID-19

Рагульская М. В. | ИЗМИРАН

Секция: Солнце

Солнечная активность и космическая погода оказывают существенное влияние на биосферу, в том числе – на развитие пандемий вирусных заболеваний. Так в последние 140 лет все пандемии гриппа происходили в экстремумах 11-летнего цикла солнечной активности (СА). Пандемия COVID-19 началась на фоне одновременного минимума 11-летнего и квазистолетнего цикла СА.

В докладе рассматриваются пять основных факторов, модулирующих развитие пандемии COVID-19: динамика солнечной активности и галактических космических лучей, геногеографическое распределение населения (в частности, характерные для данной местности гаплогруппы), температурный режим окружающей среды, влияние локдаунов, степень вакцинации населения в различных странах. Показано, что в условиях минимума СА наиболее значимым фактором оказался генетический состав населения. Пандемия COVID -19 наиболее тяжело протекает в странах с доминантной гаплогруппой R1b (относительное количество смертей на млн более 20). На европейской территории России доминантной гаплогруппой является R1a, для которой оказалось характерно быстрое развитие эпидемии при низкой летальности и большом количестве бессимптомных больных (отн.число смертей около 5). Наиболее легко протекают локальные эпидемии у гаплогруппы N, и других азиатских гаплогруппах (отн.число смертей менее 3).

В ближайшие 30-40 лет предполагается сохранение крайне низкой солнечной активности. В этих условиях можно ожидать двукратное увеличение числа пандемий (каждые 5-6 лет вместо 10-11 лет) с выраженными геногеографическими отличиями в развитии локальных эпидемий. Динамика солнечной активности и геомагнитного поля повышает эволюционную приспособленность человечества к следующим пандемиям, несмотря на активное медицинское и социальное регуляторное вмешательство в эволюционные процессы.

Поперечные колебания солнечных волокон по наблюдениям в линии 304A

Смирнова В.В. | Цап Ю.Т. | Jelinek P. | КрАО РАН | КрАО РАН | University of South Bohemia

Секция: Солнце

Характер колебаний солнечного волокона зависит от его магнитной структуры. До настоящего времени полностью не ясно, какая магнитная структура ближе всего соответствует наблюдениям.
В связи с этим, нами были изучены квазипериодические поперечные колебания двух солнечных волокон, наблюдавшихся на диске, с помощью инструмента SDO/AIA в ультрафиолетовой линии 304 A. Построенные пространственно-временные диаграммы на основе карт распределения интенсивности, позволили выявить квазипериодические колебания поперечных размеров волокон, а также, вариации их интенсивности с периодами 8-20 мин. Показано, что колебания поперечных размеров происходили в противофазе с интенсивностью. На основе полученных экспериментальных и модельных результатов обсуждаются амплитудно-фазовые соотношения между изменениями интенсивности и поперечным размером солнечных волокон.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-52-26006.

Синтетическая широтно-временная диаграмма для групп солнечных пятен, нарушающих правило полярности Хейла, и работа мелкомасштабного динамо на Солнце

Соколов Д.Д. | Жукова А.В. | Хлыстова А.И. | Абраменко В.И. | МГУ, ИЗМИРАН | КрАО | ИСЗФ | КрАО

Секция: Солнце

Изучение широтно-временного распределения групп солнечных пятен, нарушающих правило полярности Хейла, интересно для понимания природы этих групп и как способ обнаружить следы работы мелкомасштабного динамо на Солнце. Однако относительное число этих групп слишком мало для того, чтобы построить их содержательную баттерфляй-диаграмму для индивидуальных солнечных циклов. Поэтому мы, используя аналог метода наложенных эпох, строим синтетическую баттерфляй-диаграмму для групп-нарушителей. В докладе обсуждаются вид этой диаграммы как источника информации о работе мелкомасштабного динамо.

Условия генерации тороидального магнитного поля Солнца в период уменьшения магнитного потока

Старкова Л.И.* | *ИЗМИРАН

Секция: Солнце

Решается проблема изменения условий генерации магнитного поля Солнца в период уменьшения магнитного потока, который наблюдался с конца 23 солнечного цикла. Для решения этой проблемы анализируется взаимосвязь между тороидальной и полоидальной компонентой магнитного поля Солнца в цикле солнечной активности. В качестве индикаторов были использованы число Вольфа и напряженности полярного магнитного поля обсерватории Wilcox Solar Observatory. Были установлены зависимости между указанными индикаторами в предшествующие циклы 22 и 23. На основе этой зависимости была проведена оценка амплитуды 24 и 25 солнечных циклов. Полученные значения оказались 118 и 125 в числах Вольфа (версия 2) соответственно. Наблюдаемый сглаженный максимум 24 солнечного цикла имел значение 116 числа Вольфа, что отличается от полученной оценки на 2%. Такое хорошее согласие между наблюдаемой и расчетной величиной максимума 24 солнечного цикла указывает на то, что условие генерации тороидальнйо компоненты не изменилось по сравнению с предыдущими солнечными циклами. В таком случае, можно ожидать максимум 25 солнечного цикла немного большим, чем в предыдущем 24 цикле.

Ускорение корональных выбросов массы в солнечных вспышках: импульсной (X6.9 09.08.2011) и постепенной (M3.7 07.03.2011)

Струминский А.Б. | Садовский А.М. | Григорьева И.Ю. | ИКИ РАН | ИКИ РАН | ГАО РАН

Секция: Солнце

Анализируются события на Солнце, связанные с постепенной вспышкой M3.7 7 марта 2011 г. и импульсной вспышкой X6.9 9 августа 2011 г. Эти вспышки сопровождались HXR и MW излучением, длительным > 100 МэВ гамма-излучением, корональными выбросами массы (КВМ) типа гало со скоростями ~ 2000 км/с. Оценки величины и длительности ускорения КВМ были получены из условий сшивки предполагаемого равномерного ускорения и наблюдаемого равномерного движения. Эти оценки показывают, КВМ должны были ускоряться значительно дольше минимально возможного времени. Полученные средние величины и длительности ускорения КВМ не противоречат ускорению КВМ в двух фазах – импульсной и длительной, как это непосредственно наблюдалось в событиях 13 мая 2013 г. [Gou et al. 2020] и 10 сентября 2017 г. [Gopalswamy et al., 2018]. В рассмотренных случаях наибольшие всплески HXR и MW излучения могли наблюдаться как до и во время импульсного ускорения КВМ (вспышка X6.9 9 августа 2011), так и после него (вспышка M3.7 7 марта 2011 г.). Это показывает, ускорение частиц во вспышках не зависит от величины ускорения КВМ. Скорость КВМ высоко в короне и в межпланетном пространстве определялась процессом длительного ускорения (7 марта 2011 г.) и длительного замедления (9 августа 2011 г.).

Распределенный электрический ток и его связь со вспышечной продуктивностью активной области

Фурсяк Ю.А. | Абраменко В.И. | Куценко А.С. | КрАО РАН

Секция: Солнце

Используя данные инструмента Helioseismic and Magnetic Imager на борту Solar Dynamics Observatory (HMI/SDO) о векторе магнитного поля на уровне солнечной фотосферы, мы проанализировали структуру магнитных полей и вертикальных электрических токов в шести активных областях (АО) с различными уровнями вспышечной продуктивности. Разложение вектора поперечного магнитного поля на две составляющие позволило выявить наличие вихревых структур азимутальной составляющей магнитного поля, охватывающих большую площадь вокруг основных солнечных пятен АР, что указывает на наличие распределенной по большой площади системы электрического тока. Низкое значение разбаланса вертикального электрического тока по всей АО (ниже 0.1%) указывает на то, что токовые структуры всех масштабов, включая распределенный электрический ток, замкнуты внутри АО. Мы рассчитали распределенные электрические токи во всех анализируемых областях, изучили их временные вариации и связь со вспышечной продуктивностью АО. Было обнаружено, что области низкой активностью демонстрируют сравнительно небольшие вариации величины распределенного тока в диапазоне $\pm 20\times10^{12}$ А, в то время как в областях с высокой вспышечной продуктивностью наблюдаются значительные вариации величины распределенного тока в диапазоне $(30\text{-}95)\times10^{12}$ А. Временные интервалы высокой активности, совпадают с периодами плавного усиления величины распределенного электрического тока.

Тонкая структура периодов вращения общего магнитного поля Солнца

Ханейчук В.И. | Котов В.А. | КрАО РАН

Секция: Солнце

Проведён анализ данных общего магнитного поля (ОМП) Солнца по измерениям разных обсерваторий за 1968-2020 гг. В спектрах мощности временного ряда выделяется максимум в области периодов вращения Солнца с мощным пиком на частоте, соответствующей синодическому периоду 27.169 сут.

Детальный анализ данных ОМП с построением фазовой диаграммы, применением модифицированного вейвлет-анализа (для фиксированной фазы колебания) и учетом полярности магнитного поля показал, что основными периодами вращения ОМП являются 26.796 (8), 27.021 (8), и 27.260 (8) сут. Каждый из них имеет центральный пик и две боковых компоненты, связанные с изменением полярности магнитного поля.

По данным ОМП Солнце проявляет себя как преимущественно горизонтальный (помимо вертикального) магнитный диполь, который имеет набор периодов вращения и меняет свой знак на противоположный приблизительно каждые 10.5 лет.

Вспышечное энерговыделение и ионизация плазмы убегающими электронами в нижней атмосфере Солнца

Цап Ю.Т. | Степанов А.В. | Копылова Ю.Г. | КрАО РАН | ГАО РАН | ГАО РАН

Секция: Солнце

Проведен анализ ускорения электронов в нижней атмосфере Солнца квазистационарным электрическим полем. Вследствие неупругих столкновений электронов с атомами водорода величина поля Драйсера оказывается на несколько порядков больше корональных значений. Это позволяет ускореяться электронам вплоть до релятивистских энергий на расстояниях < 100 км. Под действием суб-драйсеровских электрических полей образующиеся вторичные электроны становятся убегающими и вызывают лавинообразную ионизацию плазмы, сопровождаемую ускорением большого числа энергичных частиц. Обосновывается возможность локализации источников жесткого рентгеновского излучения на уровне хромосферы/фотосферы, что согласуется с некоторыми наблюдениями. Рассмотрены механизмы генерации электрических полей в солнечной атмосфере.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (N 20-52-26006) и Минобрнауки (НИР № 0831-2019-0006).

Концентрация магнитного поля и скрученность солнечных корональных петель

Цап Ю.Т. | Степанов А.В. | Копылова Ю.Г. | КрАО РАН | ГАО РАН | ГАО РАН

Секция: Солнце

Рассмотрено магнитостатическое равновесие осесимметричного цилиндрического токового жгута в условиях солнечной короны. Определены условия концентрации сильных (сотни гаусс) магнитных полей в нейтрализованных (экранированных) и ненейтрализованных (неэкранированных) токовых жгутах, у которых азимутальная компонента магнитного поля во внешней области соответственно равна либо нулю, либо является непрерывной на граничной боковой поверхности. На примере обобщенной бессиловой магнитной конфигурации Голда-Хойла показано, что ненейтрализованные жгуты, в отличие от нейтрализованных, способны обеспечить концентрацию магнитного поля в десятки раз превосходящие фоновые значения поля при сравнительно малом (< 10) числе оборотов магнитных силовых линий вокруг оси трубки. На основе полученных результатов обсуждается происхождение скрученных магнитных полей в короне Солнца.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (№ 20-52-26006) и Минобрнауки (НИР № 0831-2019-0006).

Сравнение оценок скоростей солнечного ветра по однопунктовым и трехпунктовым наблюдениям мерцаний компактного и протяженного радиоисточников

Чашей И. В.* | *Лукманов В. Р.* | *Тюльбашев С. А.* | *Tokumaru M.* | *ФИАН* | *ФИАН* | *ФИАН* | *ISEE, Nagoya University

Секция: Солнце

Получены данные скоростей солнечного ветра за 2014 – 2019 годы по наблюдениям на БСА ФИАН мерцающих источников двух типов: компактный (3C48) и протяженный (3C298) на элонгациях 25 – 60 градусов. Оценки скоростей сравнивались с соответствующими данными, полученными по трехпунктовым наблюдениям в Университете Нагоя в Японии. Выяснилось, что среднегодовые оценки скоростей для компактного радиоисточника сходятся в пределах погрешностей. Для протяженного же источника оценки скоростей по однопунктовым наблюдениям систематически превосходят оценки скоростей по трехпунктовым наблюдениям. Возможная причина этих расхождений: неточность использованной модели среды вдоль луча зрения.

Проведено исследование изменения разницы оценок скоростей, полученных в однопунктовых и трехпунктовых наблюдениях, путем изменения верхнего предела интегрирования временного спектра мерцаний по лучу зрения. Установлено, что для компактного источника чем больше предел интегрирования, тем меньше расхождение скорости, для протяженного источника ситуация противоположная. Исследовано возможное влияние плотного токового слоя вблизи Земли. Выяснилось, что он оказывает значительное влияние на спектр мерцаний.

Комплексы активности на Солнце в 24 цикле солнечной активности

Язев С.А. | Томозов В.М. | Исаева Е.С. | ИГУ, ИСЗФ СО РАН

Секция: Солнце

Комплексы активности (КА) – долгоживущие магнитные образования на Солнце, где на одном и том же участке солнечной поверхности на протяжении не менее трех кэррингтоновских оборотов подряд наблюдаются активные области (АО). Составлен каталог КА в 24 цикле солнечной активности. В северном полушарии выделены 66, в южном – 50 КА. 30% всех АО в 24 цикле имели отношение к КА. Количество КА в течение цикла демонстрирует ярко выраженную двухвершинность с первым максимумом в 2012 г. и вторым, более сильным максимумом в 2014 г.. Эффект обусловлен сильной северно-южной асимметрией развития КА (первый максимум связан с развитием КА в северном полушарии, после чего наблюдалось продолжительное плато вплоть до 2016 г, второй мощный максимум сформировался в 2014 году в южном полушарии). Сравнение с 21-23 циклами приводит к выводу о нарастающих от цикла к циклу проявлениях северно-южной асимметрии, что, согласно модели Л.Л.Кичатинова, может свидетельствовать о повышенной вероятности наступления эпохи низких циклов, что не противоречит прогнозу В.Н.Ишкова. АО в составе КА демонстрируют повышенную вспышечную активность: Удельное число вспышек рентгеновских классов X и M в КА в 2,5 раза превышает соответствующий параметр 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. Анализ связи КА с корональными дырами (КД) показал, что вблизи всех КА находились низкоширотные КД. Зафиксированы случаи, когда от полярных КД к КА протягивались длинные «хоботы», включая трансэкваториальные системы. Данные о развитии КА в 24 цикле подтверждают ранее сделанные выводы отом, что КА являются основными геоэффективными объектами на Солнце.

Всероссийская астрономическая конференция

Физика галактик и космология

2021

База данных для изучения галактик, видимых с ребра

Антипова А.В. | Макаров Д.И. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Галактики, видимые под очень большим углом к наблюдателю, позволяют изучать распределение вещества в вертикальном направлении, что является важным для понимания процессов формирования и эволюции галактик. На сегодняшний день накоплен богатый наблюдательный материал по фотометрии и кинематики галактик и, в связи с возросшим интересом к данному типу галактик, возникла необходимость в систематизации информации, а также удобном и быстром доступе к данным и параметрам, полученными различными авторами. Представленная база данных (https://www.sao.ru/edgeon/) объединяет информацию из различных каталогов галактик с ребра и результаты текущих проектов. В данной работе приводится описание структуры базы данных The Edge-on Galaxy Database. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90244.

Балдж-диск декомпозиция ультратонких галактик

Антипова А.В. | Мосенков А.В. | Макаров Д.И. | Решетников В.П. | САО РАН | ГАО РАН | САО РАН | СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Ультратонкие галактики имеют видимое отношение осей a/b > 10 и видны практически с ребра, Такой угол наклона (~90 градусов) галактик к наблюдателю предоставляет возможность изучать распределение вещества в вертикальном направлении. В представленной работе была проведена декомпозиция для 150 ультраплоских галактик по данным Pan-STARRS в фильтрах g, r, i, z, y. Декомпозиция проводилась в программном пакете DECA с использованием двухкопонентной модели "диск + балдж". Мы не находим значимой корреляции между поверхностной яркостью и отношением шкал. Наши данные указывают, что галактики более поздних типов в среднем являются чуть более тонкими и имеют более низкую поверхностную яркость, а количество спутников может оказывать влияние на поверхностную яркость галактик и отношение осей.

Исследование структуры скоплений на z=1.5-2

Афанасьев А.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Скопления на красных смещениях 1.5 < z < 2 представляют собой уникальную среду для изучения трансформации голубых галактик с бурным звездообразованием в массивные и в то же время пассивные объекты. Мы представляем научные результаты обзора CARLA (Clusters Around Radio-Loud AGN), проведённого на HST, направленного на поиск крупных скоплений на средних красных смещениях около мощных источников радиоизлучения. Мы подробно изучили 16 наиболее надежно выделяемых структур в диапазоне от z = 1.35 до z = 2 с одним более далёким скоплением на z = 2.8, используя данные HST в фильтре F140W и данные Spitzer в фильтрах 3.6 и 4.5 мкм. ИК-изображения используются для определения масс галактик, а изображения HST F140W передаются в программу GALAPAGOS (обвязка Galfit) для определения эффективных радиусов. На основе этих данных мы строим отношение массы к размеру (MSR) для всех скоплений и представляем наши результаты: отличия MSR для галактик в скоплениях с различными темпами звездообразования и различной морфологией по сравнению с галактиками поля, а также эволюцию MSR в зависимости от красного смещения. Мы также исследуем экстремальные объекты в изученных скоплениях: компактные галактики с Re <0.3 Кпк и гигантские пассивные галактики с Re> 5 Кпк, и предлагаем варианты их эволюционных сценариев.

Пекулярные скорости CH Ia в скоплениях галактик

Балакина Е.А. | Пружинская М.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Анализ диаграммы Хаббла со сверхновыми типа Ia широко используется для оценки космологических параметров. Это стало возможно благодаря процедуре стандартизации, которая нивелирует разброс светимости сверхновых и позволяет использовать их в качестве индикаторов расстояний. Однако, второй параметр необходимый для построения диаграммы Хаббла - красное смещение - включает вклад неизвестных пекулярных скоростей, что снижает точность таких оценок. В данной работе мы рассматриваем влияние пекулярных скоростей родительских галактик для тех сверхновых, которые взорвались в скоплениях галактик. Мы используем космологическую выборку Pantheon и предлагаем процедуру, позволяющую минимизировать влияние данного эффекта.

Истечения из квазаров первого типа на больших красных смещениях

Балашев С.А.* | *Нотердам Паскье* | *ФТИ им. А.Ф. Иоффе* | *Institut d'Astrophysique de Paris

Секция: Физика галактик и космология

Согласно общепринятой парадигме, межзвёздный газ и эволюция галактик тесно взаимосвязаны со сверхмассивными чёрными дырами, находящимися в центрах этих галактик. Важным элементом этой взаимосвязи являются истечения, рождаемые сверхмассивной чёрной дырой во время фазы активной аккреции газа. Считается, что такой процесс может инициироваться, например, слиянием галактик, и приводить к подавлению звёздообразования в родительской галактике. Недавно мы показали, что идентификация абсорбционных систем нейтрального и молекулярного водорода в спектрах SDSS позволяет отбирать квазары с активными истечениями, идентифицируемыми в различных фазах. В докладе представлены результаты наблюдений одного из таких квазаров J0015+1842 с красным смещением z=2.631, выполненные в оптическом и ИК диапазонах на телескопе VLT с помощью спектрографа X-shooter, а также на 3-мм на интерферометре NOEMA. Наблюдения с помощью X-shooter позволили подтвердить наличие истечения в эмиссионных линиях [OIII], Lya и CIV, и измерить физические условия в газе, принадлежащему истечению и трассируемому абсорбционными линиями, а также расстояние до него от активного ядра галактики. Наблюдения на NOEMA, указывают на наличие большого количества молекулярного газа в родительской галактике, идентифицируемого в линии CO3-2. Дополнительно, необычайно высокая дисперсия скоростей ~1000 км/с, измеряемая в линии CO предполагает недавный эпизод слияния в родительской галактике квазара. Мы предполагаем, что квазар J0015 + 1842 представляет собой стадию эволюции галактики, когда массивное слияние приводит к активной аккреции на сверхмассивную черную дыру, которая уже выбросила значительное количество вещества вокруг себя с помощью мощного ветра, в то время как родительская галактика все еще содержит большое количество пыли и молекулярного газа с высокой дисперсией скоростей. Наблюдения подобных систем являются важным тестом для теории эволюции и взаимодействия квазаров и их родительских галактик. Работа поддержана грантом РНФ 18-12-00301.

Сверхтонкие галактики

Бизяев Д.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Мы представляем результаты наблюдений более 140 галактик "с ребра" с высоким отношением радиальной шкалы диска к вертикальной (сверхтонкие галактики, или СТГ). Спектральные наблюдения проводились на 3.5м телескопе обсерватории Апачи Поинт (АПО, США) со спектрографом DIS (R~5000-6000). В дополнение, для существенной части выборки была получена ИК фотометрия на телескопах АПО и КГО ГАИШ МГУ. Полученные данные позволили промоделировать кривую вращения и радиальное распределение толщины звездного диска одновременно. Полученные параметры звездных дисков и гало галактик позволяют лучше понять динамическое состояние дисков и структурные параметры тёмных гало в СТГ. Так, наиболее голубые галактики в выборке оказались динамически недоэволюционировавшими - вертикальная дисперсия скоростей в их звёздных дисках не выше, чем дисперсия скоростей в газе. Пространственная шкала тёмного гало в единицах шкалы диска в СТГ как правило меньше, чем в обычных галактиках. Всё это указывает на особенные условия, необходимые для образования и эволюции СТГ.

Спектроскопические определения красных смещений выборки далеких квазаров обсерватории СРГ по наблюдениям на РТТ-150

Бикмаев И.Ф., Иртуганов Э.Н., Николаева Е.А., Сахибуллин Н.А., Гумеров Р.И., Склянов А.С., Глушков М.В., Хамитов И.М. | Борисов В.Д., Буренин Р.А., Зазнобин И.А., Кривонос Р.А., Ляпин А.Р., Медведев П.С., Мещеряков А.В., Сазонов С.Ю., Сюняев Р.А., ХорунжевГ.А., Гильфанов М.Р. | КФУ | ИКИ РАН

Секция: Физика галактик и космология

В докладе будут представлены результаты спектроскопических наблюдений на 1.5-м Российско-Турецком телескопе двух десятков рентгеновских источников, открытых телескопом еРОЗИТА космической обсерватории СРГ и идентифицированных системой машинного обучения SRGz в качестве кандидатов в далекие рентгеновские квазары.
17 объектов подтверждены как квазары на красных смещениях $z = 2.6 - 4.2$, а 4 источника, оказались сейфертовскими галактиками на $z = 0.4 - 1.0$. Будут приведены результаты определения физических параметров сверхмассивных черных дыр с использованием оптических данных РТТ-150 и рентгеновских данных еРОЗИТА/СРГ.

Нелинейная космогония балджа спиральных галактик

Ботиров Ф.У. | Нуритдинов С.Н. | НУУз

Секция: Физика галактик и космология

Балдж спиральных галактик не может формироваться на фоне стационарной модели. В реальности его формирование должно происходить в период нелинейной нестационарной стадии эволюции галактики из-за гравитационной неустойчивости, например, вертикальных колебаний центральной области и/или неустойчивости коллапса внутренней области галактики на ранней стадии ее эволюции. Эта идея была выдвинута впервые одним из авторов данной работы в [1]. Ниже она разработана нами на основе нового метода [2] анализа гравитационных неустойчивостей на фоне нелинейно нестационарных самогравитирующих систем с анизотропной диаграммой скоростей.

Для анализа физики формирования балджа галактик и других самогравитирующих систем нам необходимо в первую очередь построить для них точные аналитически решаемые модели. Поэтому нами построена новая анизотропная модель нестационарного самогравитирующего диска и рассмотрены, например, изгибные моды колебаний. Модель имеет составную природу, а точнее является суперпозицией изотропного и анизотропного состояний диска. Получен нестационарный аналог дисперсионного уравнения данной составной модели в общем случае. Исследовано поведение конкретных мод возмущения, неустойчивость которых приводит к формированию балджа в центральной области диска. Построены критические диаграммы зависимости вириального отношения от степени вращения системы при различных значениях параметра суперпозиции и соответствующие графики для инкрементов неустойчивости.

[1] S.N. Nuritdinov // IAUS, vol. 153, p.403, 1992.

[2] S.N. Nuritdinov et al. // Astrophysics, 52, 4, 643, 2009.

Оптические наблюдения массивных скоплений галактик из обзора всего неба СРГ/eРОЗИТА

Буренин Р.А. | ИКИ РАН

Секция: Физика галактик и космология

В докладе будут представлены результаты наблюдений массивных скоплений галактик, обнаруженных в обзоре всего неба телескопа eРОЗИТА на борту космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ). Показано, что отбор источников с учетом дополнительных данных обзоров неба в оптическом и ИК диапазонах позволяет эффективно проводить отождествления скоплений гаалктик до красных смещений $z\approx1$ и выше. В докладе будут обсуждаться результаты большой программы наблюдений по спектроскопическому измерению красных смещений массивных скоплений галактик, на 1.5-м Российско-Турецком телескопе, 1.6-м телескопе Саянской обсерватории, 2.5-м телескопе ГАИШ МГУ, а также 6-м телескопа САО РАН (БТА). Также в докладе будут обсуждаться перспективы дальнейших оптических наблюдений массивных скоплений галактик в рамках программ оптической поддержки обзора всего неба обсерватории СРГ.

Источники обзора на склонении RCR1915+10

Бурсов Н.Н. | Трушкин С.А. | Кудряшова А.А. | Цыбулев П.Г. | Борисов А.Н. | Хабибуллина М.Л. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

На западном секторе РАТАН- 600 проведен обзор на склонении RCR1915+10 на четырех лучевом радиометре на частоте 4.7 ГГц обнаружено более 1000 радиоисточников. Для всех источников проведено отождествление в радиодиапазоне и построены спектры с помощью базы данных CATS. В оптическом диапазоне проведено отождествление с каталогом SDSS. Для всех ярких источников были получены оценки радиосветимости и радиогромкости.

Результаты обзора активных ядер галактик на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон в 2012-2018 годах

Войцик П.А. | Ковалев Ю.Ю. от группы обзора АЯГ на РадиоАстроне | АКЦ ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

Обзор активных ядер галактик на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон проводился с 2012 по 2018 годы и был крупнейшей ключевой научной программой проекта. Основная цель обзора: получить параметры ядер активных галактик на недоступных ранее угловых масштабах. Напрямую измерить наблюдаемые размеры и яркостные температуры наиболее компактных областей для исследования механизма их излучения. Наблюдения проводились на частотах 1.7, 5 и 22 ГГц, при участии крупнейших радиотелескопов России, Европы, США, ЮАР, Австралии, Южной Кореи, Китая и Японии. Зарегистрировано излучение от 164 радиоисточников на проекциях баз наземно-космического интерферометра до 350 тысяч километров. Измеренная величина яркостных температур в этих объектах достигает 10^{14} К и более, что значительно превышает результаты измерений на наземных интерферометрах. Эти результаты накладывают существенные ограничения на модели нетеплового излучения ядер квазаров. В докладе приводится статистика детектирования радиоисточников в зависимости от проекции базы и длины волны наблюдения, обсуждается критерий значимости сигнала и оценка вероятности ложного детектирования при малом соотношении сигнал-шум. Представлены результаты оценок яркостных температур и размеров РСДБ-ядер, полученные разными методами. Обсуждаются возможные физические причины полученных высоких яркостных температур.

Данная работа поддержана грантом РНФ 21-12-00241.

Активное ядро галактики 3C454.3 – самая массивная двойная черная дыра во Вселенной

Вольвач А.Е. | Вольвач Л.Н. | Ларионов М.Г. | ФГБУН "КрАО РАН" | ФГБУН "КрАО РАН" | АКЦ ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

Орбитальные параметры двойных АЯГ невозможно напрямую определить из непосредственных наблюдений по причине недостаточной разрешающей способности современных интерферометрических систем. Предложен новый метод определения параметров тесных двойных систем сверхмассивных черных дыр непосредственно из наблюдений в радиодиапазоне на одиночном радиотелескопе [1]. Долговременный многочастотный мониторинг на одиночных радиотелескопах является независимым способом исследования внутренней, субпарсековой структуры источников, недоступной даже для глобальной интерферометрии.

Внегалактический объект 3C454.3 является одним из ярчайших блазаров. По данным наблюдений, полученным с помощью наземного 22 метрового радиотелескопа РТ-22 в Симеизе, определено, что блазар 3C454.3, расположенный на расстоянии 7.7 млрд световых лет (2.4 млрд пк), может быть самой массивной двойной черной дырой во Вселенной с массой центральной черной дыры равной $2.4*10^{10}$ $M_{\odot}$ и массой компаньона равной $6.8*10^{9}$ $M_{\odot}$.

[1] A&A 648, A27 (2021).

Дисковые галактики со звёздным противовращением

Гасымов Д.Ф. | Катков И.Ю. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Как правило, в обычных регулярных дисковых галактиках, газ и звёзды расположены в одной плоскости и вращаются в одном направлении. Однако ранние наблюдательные работы показали, что некоторые галактики обладают сильно рассогласованной кинематикой газовой подсистемы по отношению к звёздам, а иногда, например в линзовидной галактике NGC4550, наблюдаются два звёздных диска, вращающихся в противоположных направлениях. Такие уникальные системы стали называть “Мульти-спиновыми галактикам” (Multi-spin galaxies). Основными гипотезами о происхождении кинематически рассогласованных и противовращающихся систем стали аккреция внешнего вещества или слияния галактик. Детально изучены лишь несколько галактик с противовращающимися звездными дисками. Именно такие исследования позволяют уточнить детали процессов аккреции внешнего вещества и истории слияний галактик, которые являются важными механизмами формирования и эволюции галактик.

Для увеличения числа известных галактик со звёздным противовращением мы провели анализ публично доступного обзора панорамной спектроскопии MaNGA (часть обзора SDSS) и обнаружили среди 4700 галактик публичного релиза DR16 35 галактик, проявляющие характерные признаки противовращения. По IFU-спектрам этих галактик были восстановлены свойства звёздных населений этих галактик. Далее мы смогли восстановить в непараметрическом виде распределения звёзд по скоростям (LOSVD) и выявить сложную двух-пиковую структуру для большинства исследуемых галактик, несмотря на относительно высокую инструментальную дисперсию используемых спектров (~70 км/с). Эту структуру мы декомпозировали на два компонента и оценивали вклад звезд противовращающегося диска в полную светимость галактики. Полученные результаты разложения мы проанализировали и сравнили с теоретическими предсказаниями численных моделей IllustrisTNG100.

В мае 2020 года мы получили глубокий длиннощелевой спектр для галактики PGC66551 из нашей выборки на 11-м телескопе SALT Южно-Африканской Астрономической Обсерватории. Мы проанализировали полученный спектр методом попиксельной аппроксимации NBursts и показали, что противовращающийся звёздный компонент (CR) прослеживается до ~1.5 эффективных радиусов галактики (Reff=3.6”=1.45 кпк) и даёт вклад в интегральный спектр на уровне 50%. Ярко видна бимодальность свойств звёздных населений: основной диск старый (~10 млрд. лет) и бедный металлами (~-0.9 dex), тогда как CR-диск молодой (~1 млрд. лет) с околосолнечной металличностью.

Результаты телескопа СРГ/еРОЗИТА: карты неба, далекие квазары и внегалактические транзиенты

Гильфанов М.Р.* | *ИКИ РАН

Секция: Физика галактик и космология

Орбитальная рентгеновская обсерватория СРГ завершает (по состоянию на конец мая 2021 г) третий обзор неба из запланированных восьми. По итогам трех обзоров телескоп еРОЗИТА открыл на всем небе около трех миллионов рентгеновских источников, из которых примерно 20% - звезды с активными коронами в нашей Галактике, а большинство остальных - галактики с активными ядрами, квазары и скопления галактик. Каждые 24 часа еРОЗИТА открывает около десятка источников, изменивших свою светимость более чем на порядок, а каждую неделю - событие приливного разрушения звезды сверхмассивной черной дырой. В докладе будет представлен краткий обзор наиболее интересных результатов, полученных Российским консорциумом телескопа еРОЗИТА.

Оптические наблюдения хост-галактик чёрных дыр промежуточных масс: дисперсии скоростей звезд, структурные характеристики

Гораджанов В.С. | Топтун В.А. | Чилингарян И.В. | Катков И.Ю. | Гришин К.А. | Демьяненко М.В. | Золотухин И.Ю. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | МФТИ | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

В центре почти каждой крупной галактики находится сверхмассивная чёрная дыра (SMBH). Их массы могут достигать нескольких миллиардов масс Солнца и обычно коррелируют со свойствами сфероидальных компонентов хозяйских галактик. Известно, что SMBH растут за счет слияний и аккреции вещества, однако их происхождение остаётся малоизученным. Они могли произойти из массивных зародышей (10^5-10^6 $M_\odot$), либо из конечных продуктов эволюции звезд первого поколения. Последний сценарий приводит к образованию популяции черных дыр промежуточной массы (IMBH, $M_{BH} \sim 10^4$-10^5 $M_\odot$) в локальной Вселенной. С помощью методов анализа больших данных были сформированы выборки из 305 кандидатов в IMBH ($M_{BH} < 2*10^5$ $M_\odot$) и 1623 кандидатов в маломассивные SMBH ($2*10^5$-10^6 $M_\odot$). Для 26 родительских галактик из обеих выборок, наличие активного ядра в которых было подтверждено наблюдениями в рентгеновском диапазоне, были проведены спектроскопические наблюдения с помощью эшелле-спектрографа MagE (R~7000) на 6.5-м телескопе Magellan Baade (Чили). Анализ этих данных показал, что дисперсии скоростей звёзд сферических компонентов лежат в диапазоне 24…118 км/с и не образуют тесной корреляции с M_{BH} в этом диапазоне масс, что является признаком того, что при $M_{BH} < 10^6$ $M_\odot$ аккреция вещества иногда является доминирующим каналом роста ЧД и совместной эволюции сфероидального компонента и центральной ЧД не наблюдается.

Формирование ультра-диффузных галактик в скоплениях путем обдирания лобовым давлением богатых газом карликовых галактик

Гришин К.А. | Чилингарян И.В. | Афанасьев А.В. | Катков И.Ю. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Протяженные галактики низкой поверхностной яркости, известные как ультра-диффузные галактики (UDG), и более компактные и яркие карликовые эллиптические галактики (dE) являются одними из самых часто встречающихся звездных систем в скоплениях. Ограничения, накладываемые низкой яркостью на изучение эволюционных сценариев их формирования путём прямых наблюдений этих объектов, могут быть преодолены с помощью поиска молодых аналогов UDG и dE, которые содержат в себе много ярких, массивных звезд. С использованием методов анализа больших данных нами было выделено 11 протяженных ($2 < r_e < 5$ кпк) маломассивных галактик в скоплениях Волосы Вероники и Abell 2147, в которых недавно прекратилось звездообразование. У всех этих объектов наблюдаются хвосты, образованные при выметании межзвездного газа лобовым давлением горячей межгалактической среды. Данные глубоких спектроскопических наблюдений показали, что эти системы содержат значительное количество тёмной материи (70-90% внутри r_e), а их динамическое равновесие поддерживается вращением. Значительная доля звезд в них образовалась во время недавнего эпизода обдирания лобовым давлением 160-850 млн. лет назад. Пассивная эволюция этих галактик в ближайшие 10 млрд. лет приведет к трансформации 9 из 11 выбранных объектов в UDG. В предположении постоянного темпа попадания новых галактик в скопление Волосы Вероники оказывается, что 44±16% наблюдаемой в нём популяции UDG было образовано по каналу обдирания богатых газом карликовых галактик во время их первого пролёта в скоплении.

cMOSS: Каталог групп и скоплений галактик до z=0.8 поле HS47.5-22 площадью 2.386 кв. градуса

Гроховская А.А. | Додонов С.Н. | САО РАН | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Мы представляем каталог групп галактик cMOSS (Clusters of Medium-band One-meter Schmidt Survey), охватывающий диапазон красных смещений до z=0.8 в поле HS 47.5-22 ~2.386 кв. градусов, на основе среднеполосных фотометрических наблюдений в 16 фильтрах на 1-метровом телескопе Шмидта БАО НАН РА. В работе исследована эффективность подходов к идентификации групп галактик методами определения поверхностной плотности, методом тесселяций Вороного и алгоритма машинного обучения OPTICS. Работа всех методов была оценены на реалистичных модельных каталогах. Мы обнаружили, что производительность метода OPTICS значительно лучше других популярных методов, с его помощью получается каталог с максимальной точностью, с точки зрения полноты и чистоты. Окончательная полнота и чистота этого каталога, как с точки зрения групп, так и отдельных членов, выгодно отличается от недавних результатов в литературе. Полученный каталог групп и скоплений галактик содержит около 400 групп с количеством галактик-членов скоплений больше 4. Для части галактик было произведено подтверждение принадлежности к группам в ходе наблюдений на БТА. Каталог групп галактик cMOSS в целом соответствует тому, что ожидается от полуаналитической модели эволюции, лежащей в основе модельных каталогов.

gMOSS: каталог галактик поля HS47.5-22 площадью 2.386 кв. градуса в среднеполосных фильтрах

Гроховская А.А. | Додонов С.Н. | Мовсесян Т.А. | САО РАН | САО РАН | БАО НАН РА

Секция: Физика галактик и космология

Мы представляем каталог gMOSS (Galaxies of Medium-band One-meter Survey), состоящий из 17057 галактик поля HS47.5-22 (площадь ~2.386 кв. градуса, координаты центра $09^h50^m00^s + 47^d35^m00^s$) в 17 фильтрах (u_SDSS и 16 среднеполосных фильтров). Наблюдения получены для 2.386 кв. градусов поля HS47.5-22 на 1-м телескопе Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории. gMOSS - полная выборка галактик до z=0.8 с ограничением по потоку r_SDSS≤22,5 AB. С помощью фотометрических измерений в 17 фильтрах были получены спектральные распределения энергии для всех объектов поля (~85,00 объектов до r_SDSS ~24.7 AB). Классификация галактик и оценка фотометрического красного смещения производилась на основе подгонки шаблонов спектров галактик с помощью набора программ ZEBRA. Кроме того, были получены оценки физических свойств галактик (такие как показатель цвета в системе покоя (u - r), звездная масса, поглощение, возраст основного звездного населения, темп звездообразования и др.) программным пакетом CIGALE.

Анализ оптических кривых блеска галактик полученных из разностных снимков ZTF Forced-Photometry Service

Демьяненко М.В. | Чилингарян И.В. | Катков И.Ю. | Гришин К.А. | Топтун В.А. | Гораджанов В.С. | МФТИ | ГАИШ МГУ, Harvard CfA | ГАИШ МГУ, NYU Abu Dhabi | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Наличие переменности в центре галактики является одним из самых надёжный проявлений активного ядра на сегодняшний день. Размеры областей в центрах галактик, которые высвечиваются в оптическом диапазоне длин волн, влияют на период переменности в кривых блеска таких объектов. В текущей работе были исследованы кривые блеска в фильтрах g и r каталога ZTF для кандидатов в чёрные дыры промежуточной массы (до 200000 масс Солнца), а также кандидаты в маломассивные черные дыры (до 1 миллиона масс Солнца). Анализ был проведен для более чем 100 объектов, наличие активного ядра в которых было подтверждено наблюдениями в рентгеновском диапазоне на орбитальных обсерваториях Chandra, XMM, Swift. Для установления статистической значимости переменности был использован критерий согласия хи-квадрат, на уровне значимости □=10-4 многие объекты проявили переменность на малых временах. В объекте J112637.74+513423.0 на протяжении порядка 3 месяцев наблюдалась сильная вспышка амплитудой 0.25mag, которая может быть либо вспышкой сверхновой, либо разрывом звезды приливными силами в потенциале черной дыры (tidal disruption event). Для объектов, которые не показали переменность ни в одном фильтре, будет проведен дальнейший анализ поведения таких объектов в зависимостях физических параметров всех отобранных кандидатов в черные дыры средних и малых масс. Чтобы обеспечить наглядность полученных результатов, была получена таблица амплитуды переменности и ошибки, оцененной методом bootstrap для каждого объекта. В целом, использование оптической переменности подтвердило хорошее качество отбора кандидатов по широкой компоненте H□ и, в перспективе, позволит исключить кандидаты, где широкие линии имеют транзиентную природу.

Некруговые движения газа в межзвездной среде близких карликовых галактик

Егоров О.В. | Лозинская Т.А. | Моисеев А.В. | Герасимов И.С. | Васильев К.И. | Егорова Е.С. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | САО РАН | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Приток энергии от массивных звезд в областях звездообразования существенно влияет на структуру, динамику и состояние ионизации газа галактиках. Особенно хорошо взаимодействие звезд с межзвездной средой прослеживается в близких богатых газом карликовых галактиках - наблюдения выявляют в них протяженные сверхоболочки ионизованного и нейтрального водорода, а взаимодействие таких структур может приводить к инициированию новых эпизодов звездообразования в галактике. Не менее значительным фактором, влияющим на морфологию, динамику газа и на общую картину звездообразования в карликовых галактиках, является их взаимодействие с компаньонами и с межгалактической средой. Как внутренние процессы в областях звездообразования, так и внешние факторы могут приводить к локальным отклонениям динамики газа от кругового вращения, что наблюдается при анализе данных панорамной спектроскопии с высоким спектральным разрешением. Мы представляем результаты анализа таких высокоскоростных движений газа (ионизованного и нейтрального) в нескольких близких карликовых галактиках, полученные по данным наблюдений на БТА со SCORPIO-2 режиме сканирующего интерферометра Фабри-Перо и по архивным данным VLA в линии 21 см. Будет также представлен каталог SIGMA-FPI, содержащий наблюдательные данные, полученные на БТА с ИФП высокого разрешения, и результаты их анализа.

Галактика Ark 18 как результат слияния двух карликов

Егорова Е.С. | Егоров О.В. | Моисеев А.В. | Сабурова А.С. | Гришин К.А. | Чилингарян И.В. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | САО РАН | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | Harvard CfA, ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

В рамках проекта по поиску аккреции газа на галактики в разреженном окружении мы детально исследовали галактику с диском низкой поверхностной яркости Ark 18. Данные длиннощелевой и панорамной спектроскопии, полученные нами на 6-м телескопе БТА САО РАН с многорежимным спектрографом SCORPIO-2, дополненные архивными данными, позволили проанализировать кинематику ионизованного газа, оценить распределение металичности, свойства темного гало, а также возраста молодого звездного населения в центре Ark 18 и в ярчайшей области звездообразования. Ark 18 оказалась богатой газом галактикой без градиента металличности, с параметрами темного гало, согласующимися с тем, что наблюдается для дисковых галактик высокой поверхностной яркости. Динамика газа в галактике описывается двумя дисковыми компонентами с круговым вращением, наклоненными под небольшим углом друг к другу. Мы показали, что наиболее вероятный сценарий формирования Ark 18 - слияние двух карликовых галактик с отношением масс звезд не менее ~5:1, который произошел более 300 млн.лет назад.

Вклад в шум путаницы от различных источников

Ермаш А.А. | Пилипенко С.В. | Лукаш В.Н. | Михеева Е.В. | АКЦ ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

Предельная глубина наблюдений будущими космическими и наземными субмиллиметровыми телескопами, такими, как Миллиметрон, будет ограничена так называемым шумом путаницы.

Мы используем ранее созданную нами модель внегалактического фона с целью изучения его параметров и оцениваем шум путаницы как значение полуширины (FWHM) левой стороны пиксельной гистограммы.

Были рассмотрены следующие вопросы:

Как влияет крупномасштабная структура Вселенной и гравитационное линзирование на модельные оценки шума путаницы?

Объекты на каких красных смещениях вносят основной вклад на различных длинах волн?

Каков вклад в шум путаницы от объектов с различными светимостями?

Объекты с какими спектральными характеристиками создают шум путаницы?

Каковы параметры переменности внегалактического фона?

Полученные результаты позволяют более полно понять наблюдаемые характеристики шума путаницы.

Возможное объяснение проблемы с постоянной Хаббла серой межгалактической пылью

Ершов В.Н. | Райков А.А. | Ловягин Н.Ю. | Kuin N.P.M. | Попова Е.А. | UCL MSSL | САО РАН, ГАО РАН | СПбГУ | UCL MSSL | ГАО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Активно обсуждаемое в настоящее время расхождение между значениями постоянной Хаббла H_0, измеренной путём вычисления расстояний по CH Ia и выведенной по измерениям CMB, можно объяснить, если предположить, что CMB загрязняется излучением от компонента межгалактической среды вокруг удалённых внегалактических источников. Таким компонентом может быть труднообнаружимая холодная крупнозернистая пыль, которая не даёт эффекта покраснения фоновых источников ("серая пыль"). Как и любой фон, такая среда будет искажать спектр мощности CMB. Эффект может быть достаточным для того, чтобы привести к систематической ошибке в оценке H_0 по спектру мощности CMB. Излучение от такого удалённого фона должно увеличивать дисперсию флуктуаций температуры CMB. Путем анализа нескольких выборок CMB, сгенерированных нами с помощью численного моделирования и имеющих различные заданные дисперсии флуктуаций температуры, авторы показали, что увеличение дисперсии ведёт к меньшим значениям оценок параметра H_0 при сохранении фиксированными значений всех остальных параметров стандартной космологической модели. Данный результат может объяснить уменьшенное значение параметра H_0, полученное по измерениям миссии "Планк", по сравнению с измерениями по более близким к нам стандартным "свечам". Возможное наличие межгалактического фона переднего плана подтверждается публикациями, сообщающими о том, что излучение от среды вокруг удалённых внегалактических источников приводит к корреляциям между флуктуациями CMB и внегалактическими структурами, обнаруживаемыми по ярким транзиентным источникам. Признаки влияния удалённого фона переднего плана были ранее обнаружены также и авторами настоящей работы, которые по результатам миссий WMAP и "Планк" выявили корреляцию между красными смещениями сверхновых звёзд z_SN и флуктуациями температуры CMB T_SN в местах обнаружения этих сверхновых. В данной работе мы использовали значения наклонов линий регрессии T_SN_/z_SN_ для разных рабочих полос частот инструментов "Планка" с целью оценки возможной температуры излучения компонента межгалактической среды,загрязняющего излучение CMB, которая оказалась очень низкой - около 5K. Наиболее вероятным ингредиентом этой среды может быть крупнозернистая ("серая") пыль, которая приводит к некоторому уменьшению яркости удалённых внегалактических источников.

Поиск близких соседних радиоисточников по данным современных радио и оптических обзоров

Желенкова О.П. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

По результатам работ Proctor (2011, 2016), где проведена морфологическая классификация источников обзоров с помощью алгоритмов искусственного интеллекта, исследованы выборка источников обзора FIRST, которые имеют больше 3 компонент, и выборка гигантских радиогалактик из обзора NVSS. Используя радиообзоры VLSSr, TGSS, GLEAM, VLASS, GB6 для уточнения морфологической классификации и обзоры оптического и инфракрасного диапазона SDSS, PanSTARRS, WISE, DES произведен поиск тесных пар радиоисточников. Известно, что фаза активности в радиодиапазоне ядра галактики имеет продолжительность порядка миллиона лет. Почему не все галактики демонстрируют подобного рода активность? Возможно, что такие тесные пары радиоисточников позволят нам приблизиться к прояснению этой проблемы.

Неотождествленные источники 3CR каталога

Желенкова О.П. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Источники Кембриджского обзора являются одной из самых исследованных выборок радиоисточников. Отождествлять 3CR-источники начали с 60-х годов прошлого века. Одна из основных причин, что отождествления выполнялись столь длительное время, связана с большой неопределенностью координат 3CR-объектов. Для большинства 3CR-источников получены радиокарты с высоким угловым разрешением (<1 arcsec). Практически для всех объектов имеются глубокие оптические снимки на крупных телескопах, включая Hubble Space Telescope, а также наблюдения в инфракрасном и рентгеновском диапазонах. Красные смещения определены для 92% источников из 298 объектов, включенных в последнюю редакцию каталога. Оставшиеся неотождествленными источники были отнесены к галактикам со скрытыми пылью АЯГ. Исследования Массаро и др. (2016) 25 неотождествленных 3CR-источников позволили обнаружить в рентгеновском диапазоне и/или в ИК-полосах обзора WISE напарников еще для 13 объектов. Используя обзоры SDSS, UKIDSS, PANSTARRS, DES, WISE, TGSS, FIRST и VLASS, архивные данные NOAO и NRAO мы выполнили поиск родительских галактик для этих 25 радиоисточников. Чтобы обнаружить напарников в оптическом диапазоне, мы повторили отождествления для 13 объектов из работы Массаро и др. (2016). Отождествлено 22 источника. Три объекта попали в пустые поля при глубине используемых оптических данных в полосе r до 23.5–24.5 зв. величины.

Проявления взаимодействия джета с галактической средой у радиогалактики RC J0311+0507 на z=4.51

Желенкова О.П. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Уникальная радиогалактика RC J0311+0507 (4C+04.11), самая далекая (z=4.51) из обнаруженных в программе «Большое Трио», имеет с экстремальную радиосветимость на 500МГц около 3x10^29 W/Hz. Карты источника с высоким угловым разрешением, полученные на MERLIN и EVN, показывают сложную структуру источника — 8 деталей малого размера, при видимой его протяженности 2.8 arcsec, практически совпадающей с оптическими размерами. Деталь с самым плоским радиоспектром — основание джета, чье положение определено с точностью 2 mas. Для объекта есть наблюдения на БТА, UKIRT, Subaru и Spitzer. На снимках вид и размер галактики меняется от фильтра к фильтру. Максимальный размер в узкополосном фильтре NL671 (Subaru) 9 arcsec, то есть размер Ly_alpha-оболочки 60 кпс. По астрометрической привязке по специально отбранным звездообразным SDSS-объектам определены координаты центра родительской галактики для всех имеющихся фильтров: широкополосных R, I и K, среднеполосных SED707 и SED655, узкополосного NL671. Точность определения координат составила 50-100 mas. Координаты центра галактики в полосах K (UKIRT) , 3.6 и 4.5 мкм (Spitzer) в пределах ошибок привязки совпадают с ядром радиоисточника (основанием джета), а в полосах I и R, SED707 и SED655 центр сдвинут от ядра по направлению радиоджета на 400 mas и 600 mas соответственно. Смещение координат центра родительской галактики в разных полосах, как мы полагаем, связано со взаимодействием джета с близким окружением активного ядра галактики.

Массовое исследование источников каталога RCR в разных диапазонах электромагнитного спектра спектра

Желенкова О.П. | Майорова Е.К. | Темирова А.В. | Бурсов Н.Н | САО РАН | САО РАН | СПБФ САО РАН | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Исследование в оптическом диапазоне радиоисточников эксперимента "Холод", проводившегося на радиотелескопе РАТАН-600 в 1980-1999гг., началось сразу после получения первых результатов. В 1993-2008гг. выполнена программа по поиску далеких радиогалактик "Большое Трио", в ходе которой обнаружена мощнейшая радиогалактика на z=4.51. По современным обзорам неба в оптическом, инфракрасном, миллиметровом и радио диапазонах проведено исследование радиоисточников каталога RCR (RATAN Cold Refined). Глубина обзоров оказалось достаточной для надежного обнаружения родительских объектов у 95% источников. По оценкам радиосветимости только 3% RCR-источников относятся к FRI-типу, а остальные - к мощным радиогалактикам FRII-типа. Для RCR-источников проведено сравнение отношения абсолютной звездной величины в полосе r к радиосветимости на 1.4 ГГц. Величина этого отношения у квазаров не зависит от радиосветимости, а у галактик отношение имеет минимальную величину для объектов с максимальной радиосветимостью и растет при снижении радиосветимости до уровня, характерного для квазаров. Эти же источники были разделены по радиосветимости на близкие по численности группы и произведен подсчет числа квазаров и галактик в каждой группе. Оказалось, что в таких группах с ростом радиосветимости число квазаров увеличивается, а галактик падает. Такое поведение можно объяснить изменением экранирующей способности и геометрия тора с ростом мощности АЯГ. По нескольким сетам "Холод" проведен поиск переменности RCR-источников. Обнаружено 3 кандидата в радиотранзиенты. На картах миссии Planck на уровне менее 5 сигма у 70% RCR-источников обнаруживается положительный сигнал, причем спектральные исследования подтверждают связь положительных пятен с радиоисточниками. Для поиска эффекта Сюняева-Зельдовича исследованы свойства «горячих» и «холодных» пятен вблизи RCR-источников. Из 830 на уровне менее 5 сигм обнаружено 135 СЗ-кандидатов, из которых у пятой части имеется подтверждение в каталогах скоплений.

Очаги звездообразования в приливных структурах

Засов А.В. | Сабурова А.С. | Егоров О.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Образование звезд в межгалактическом пространстве из газа, выброшенного из галактик приливными силами, требует специфических условий. Эмиссионные области, связанные с молодыми звездами, наблюдаются там несмотря на то, что средняя плотность окружающего газа значительно меньше, чем в галактических дисках. Будет рассказано об исследовании очагов звездообразования в приливных структурах взаимодействующих галактик по результатам длиннощелевых спектральных наблюдений, проводившихся на БТА (динамика и металличность эмиссионного газа, связь очагов звездообразования с атомарным водородом, возраст звездного населения , вероятные механизмы, стимулирующие звездообразование).

Когда карликовые галактики оказываются спиральными?

Засов А.В. | Хоперсков А.В. | Зайцева Н.А. | Храпов С.С. | ГАИШ МГУ | ИНАСАН | ГАИШ МГУ | ВолгГУ

Секция: Физика галактик и космология

Спиральные ветви в карликовых галактиках (типа dS) встречаются очень редко несмотря на наличие у галактик звездно-газовых дисков. Проведенное статистическое исследование показало, что по своим характеристикам dS- карлики подобны неправильным галактикам сходной массы, отличаясь от последних лишь в среднем немного более низким содержанием газа (HI). Методом численного моделирования (N-body+hydrodynamic simulations) путем варьирования различных параметров определялись условия существования спиральной структуры в карликовых галактиках (скорости вращения менее 100 км/с), возникающей в результате гравитационной неустойчивости газо-звездного диска. Долгоживущие спиральные ветви в модельных галактиках появлялись лишь в тонких звездных дисках, содержащих газ, со сравнительно низким отношением вертикальной шкалы к радиальной, не типичной для карликовых галактик. Это может объяснить как редкую встречаемость dS- галактик, так и более быстрое исчерпание газа в них.

Кинематический анализ моделей галактик с барлинзами

Захарова Д.А. | Тихоненко И.С. | Сотникова Н.Я. | Смирнов А.А. | СПБГУ | СПБГУ | СПБГУ | ГАО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Бары являются движущей силой многих динамических процессов, протекающих в центральных областях дисковых галактик. Важным этапом в эволюции галактик с баром является так называемый buckling, в результате которого центральные области бара теряют вертикальную симметрию, а впоследствии утолщаются в вертикальном направлении, образуя B/PS (ящико/архисоподобный) балдж. Однако, связь особенностей галактик, наблюдаемых с ребра, с морфологией бара в видимых почти плашмя дисковых галактиках изучена недостаточно подробно.

В данной работе на основе анализа частот всех орбит в нескольких численных моделях выделены различные орбитальные компоненты бара и изучен их вклад в профили лучевой скорости и карты параметров h3 и h4. Это позволило определить характерные кинематические особенности B/PS балджей, наблюдаемых на промежуточных углах наклона и при произвольных позиционных углах большой оси бара. В результате, установлена связь экстремумов изучаемых параметров на этих картах с морфологическими особенностями баров галактик. В частности, положения минимумов параметра h4 позволяют отделить центральные барлинзы от B/PS балджей в галактиках, наблюдаемых почти плашмя. Получено хорошее согласие между модельными картами моментов распределений лучевой скорости и реальными спектральными данными для нескольких галактик из проекта TIMER.

Гигант в профиль: толстый диск NGC 7572

Каспарова А.В. | Катков И.Ю. | Чилингарян И.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Известно, что галактические звездные диски практически всегда имеют сложную двухслойную структуру - молодой тонкий и старый и низкометалличный толстый компоненты. Однако выбор между сценариями появления такой бимодальности сталкивается с большими трудностями в связи с недостатком спектральных данных по звездным населениям толстых дисков из-за сложностей наблюдений областей низкой поверхностной яркости. До последнего времени считалось, что вклад толстого диска незначителен для не карликовых галактик, но наши исследования показали, что под действием окружения процесс формирования тонкого диска может быть остановлен, в результате чего вклад звездного населения толстого диска становится определяющим даже для массивных галактик. Галактика NGC 7572 - первая гигантская галактика (со скоростью вращения 370 км/с), у которой удалось исследовать свойства звездных населений и в толстом, и в тонком дисках. Мы обсудим возможные последствия этих результатов.

Результаты исследований ядер активных галактик на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон

Ковалев Ю.Ю.* | *ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

В докладе будет сделан обзор результатов исследований ядер активных галактик на наземно-космическом интерферометре РадиоАстрон с участием 60 наземных радиотелескопов и реализованном экстремальном угловым и линейным разрешением. Обсуждение будет включать в себя следующее: природа открытой экстремальной яркости квазаров в полной интенсивности и линейной поляризации, структура магнитного поля в зоне формирования джетов, механизмы формирования релятивистских истечений в активных галактиках, внутренняя структура джетов и стратификация течения плазмы, указания на существование систем с двойными сверхмассивными черными дырами. В заключение доклада будут обсуждаться уроки миссии РадиоАстрон, важные для планирования будущих миссий.

Фундаментальная плоскость групп и скоплений галактик

Копылова Ф.Г. | Копылов А.И. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Нами исследованы соотношения между основными характеристиками групп и скоплений галактик по архивным данным SDSS и 2MASX каталогов.
Измеренные по наблюдаемому профилю скоплений радиусы границы гало, позволили нам найти эффективные радиусы систем как радиусы, в пределах которых содержится половина светимости (половина галактик). Полученные характеристики ИК-свемость, эффективный радиус и дисперсия лучевых скоростей (log L_K, log R_e и log sigma_200) 94 систем галактик (0.0038 < z < 0.09) определяют фундаментальную плоскость (ФП) в ближней ИК области со стандартным отклонением 0.15: L_K ∝ R_e^{0.70±0.13} sigma^{1.34±0.13}. Форма ФП групп и скоплений согласуются с ФП галактик ранних типов, определенной таким же способом. Форма оптической ФП систем галактик отклоняется от той формы, которая следует из вириальных предсказаний, и добавление в качестве четвертого независимого параметра отношения массы к светимости влияет на это отклонение незначительно, но уменьшает разброс ФП выборки богатых скоплений галактик на 12%. Astrophysical Bulletin, 2016, 71, 257-269.

Исследование скоплений галактик по архивным данным SDSS каталога

Копылова Ф.Г. | Копылов А.И. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Скопления галактик самые большие гравитационно связанные объекты, растут поглощая темную материю, светящуюся материю (группы галактик и галактики) из окружающего пространства вдоль филаментов. Для 157 групп и скоплений галактик локальной Вселенной (0.02<z<0.10) нами найдена наблюдаемая граница гало, 'splashback' радиус R_sp, который равен апоцентру орбит большинства галактик. Мы получили зависимости этого радиуса от рентгеновской светимости и массы гало скоплений: log R_sp ∝ L_X^0.24 и log R_sp ∝ (M_200/M_sun)^0.32. Для 40 близких групп и скоплений галактик (0.02 < z < 0.045, M_r < -18^m.3) нами исследована доля галактик с подавленным звездообразованием (QGs) (log sSFR < -10.75 yr^(-1)). Найдено, что доля QGs за радиусом систем выше, чем в поле. QG галактики поздних типов без пассивных (-12~yr^{-1} < log sSFR < -10.75~yr^{-1}) со звездной массой M_*/M_sun = [10.0,10.5] имеют максимальные радиусы Петросяна R_{90,r} вблизи границы гало R_sp и уменьшаются к центру скоплений на 20%. Полученные нами результаты, поддерживают идею, что в филаментах, направленных к скоплениям, QGs более массивны вблизи их границы по сравнению с периферией.

Astrophysical Bulletin, 2018, 73, 267-278; Astrophysical Bulletin, 2019, 74, 365-378; Astrophysical Bulletin, 2020, 75, 424-432.

Молекулы HD на больших красных смещениях: оценка скорости ионизации космическими лучами в диффузной фазе межзвездной среды

Косенко Д.Н. | Балашев С.А. | Noterdaeme P. | Krogager J.-K. | Srianand R. | Ledoux C. | ФТИ им. Иоффе | ФТИ им. Иоффе | I.A.P. | I.A.P. | IUCAA | ESO

Секция: Физика галактик и космология

Мы произвели систематический поиск молекул HD в абсорбционных системах на больших красных смещениях, найденных в спектрах квазаров. В результате в 4 системах мы идентифицировали HD, а в 12 поставили верхние пределы на лучевые концентрации HD. На основе полученного нами ранее простого полуаналитического описания относительной распространенности молекул HD/H_2 мы произвели оценки физических условий в среде по измеренным значениям $N(HD)/N(H_2)$. Используя оценки на интенсивность фона ультрафиолетового излучения и объемную концентрацию из анализа относительной населенности уровней тонкой структуры CI и вращательных уровней H_2, мы оценили скорость ионизации космическими лучами для новых и некоторых уже известных систем, содержащих HD. Полученные значениях скорости ионизации космическими лучами имеют значительный разброс: от 10^{-18} $с^{-1}$ до 10^{-15} $с^{-1}$. Для нашей выборки мы нашли сильную корреляцию между скоростью ионизации космическими лучами и интенсивностью УФ излучения, что вероятно, отражает связь источников космических лучей с областями звездообразования.

Работа поддержана грантом РНФ № 18-12-00301.

Изучение физических свойств квазаров по данным среднеполосного фотометрического обзора

Котов С.С. | Додонов С.Н. | САО РАН | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Мы провели среднеполосный фотометрический обзор на 1-м телескопе Шмидта БАО НАН, и разработали методику отбора кандидатов в квазары, нацеленную на получение максимально полной выборки квазаров. Алгоритм отбора мы продемонстрируем на данных, полученных для поля HS47.22. Отбор объектов проводится в несколько этапов: по морфологии объектов из обзора DECaLS, при помощи метода ближайших соседей в цветовом пространстве широкополосных и среднеполосных фильтров, по инфракрасным цветам (WISE), по данным GAIA о параллаксе и собственных движениях, по рентгеновским данным (ROSAT) и радиоданным (FIRST). На финальном этапе отбора проводится визуальный просмотр спектральных распределений энергии объектов-кандидатов, полученных в среднеполосных фильтрах, и только после этого принимается решение о добавлении объекта в основной список квазаров. При помощи данной методики нами составлена полная выборка квазаров поля HS47.22, определены фотометрические красные смещения, и проведены исследования физических свойств квазаров. В докладе приводится сравнение функции светимости квазаров, полученной по нашей методике, с результатами работ других авторов.

Радиоизображение струи в галактике M87, полученное РадиоАстроном на 5 ГГц

Кравченко Е.В. | МФТИ

Секция: Физика галактик и космология

В радиогалактике M87 астрономом Гебером Кёртисом впервые была обнаружена релятивистская струя (джет) в 1918 году, которая до сих пор является одним из самых часто и пристально наблюдаемых космических объектов. Другими уникальным особенностями M87 является ее близость к Земле и сверхмассивная черная дыра в ее центре (~10^10 масс Солнца), в результате чего ее центральные области и мощная струя разрешаются в наземных и наземно-космических радиоинтерферометрических наблюдениях (РСДБ). Это позволяет не только проводить детальные исследования формирования и распространения релятивистских выбросов плазмы в активных ядрах галактик, но и изучать физику ближайших окрестностей чёрных дыр.
Запущенная в 2011 г. на сильно эллиптическую орбиту, космическая обсерватория РадиоАстрон с 10м антенной на борту позволила проводить РСДБ наблюдения с беспрецедентными проекциями баз (~27 диаметров Земли или 350,000 км). В результате чего было достигнуто рекордное угловое разрешение (~7 микросекунд дуги), что позволило исследовать космические объекты в мельчайших деталях. Радиогалактика M87 также наблюдалась РадиоАстроном, в том числе на частоте 5 ГГц в 2015 г. О результатах этого картографического сеанса, по итогам которого было построено детальное радиоизображение и исследована структура струи M87 на масштабе 10^4 гравитационных радиосов, я расскажу в своем докладе.

Распространенность первичного 4He: систематичексие эффекты и новое определение

Куричин О.А. | Кислицын П.А. | Клименко В.В. | Балашев С.А. | Иванчик А.В. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

Секция: Физика галактик и космология

Распространенность первичного гелия-4 (Yp) является важной величиной в современной космологии, поскольку определяется такими ключевыми космологическими параметрами, как барион-фотонным отношением (барионной плотностью Вселенной) и количеством эффективных релятивистских степеней свободы. Для вычисления Yp исследуются малометалличные HII регионы в карликовых голубых галактиках. В таких галактиках процессы звездного нуклеосинтеза замедлены, и существует корреляция между текущим содержанием гелия Y и металличностью HII региона Z. Классический способ определении распространенности первичного гелия Yp состоит в экстраполяции к нулевой металличности зависимости Y(Z), полученной на основе наблюдательных данных. Полученные таким способом оценки Yp у ведущих мировых научных групп обладают точностью порядка 1.5%. В эру прецизионной космологии очень важной задачей является определение Yp с точностью, сопоставимой со значениями, получаемыми в эксперименте Planck. Это позволило бы проверять Стандартную Космологическую модель на самосогласованность или выходить за рамки Стандартной физики, поскольку эти значения получаются независимо и относятся к различным космологическим эпохам (Первичный нуклеосинтез и Первичная рекомбинация). Одним из путей достижения этой цели является увеличение статистической выборки источников за счет использования открытых каталогов наблюдательных данных. Одним из таких каталогов является SDSS, в котором представлено порядка 80000 спектров HII регионов. Хотя спектры, представленные в SDSS, обладают меньшим отношением сигнал-шум и разрешением, чем спектры, полученные на больших телескопах, использование огромной статистики таких источников вместе с высококачественными наблюдениями малометалличных объектов может существенно уменьшить статистическую ошибку определения Yp. В данной работе мы представляем улучшенную оценку Yp на основе набора высококачественных спектров и выборки источников из каталога SDSS DR16. (Работа подержана грантом РНФ No18-12-00301).

Каталог галактик, видимых с ребра, по данным обзора Pan-STARRS1

Макаров Д.И.* | *Савченко С.С.* | *Мосенков А.В.* | *Бизяев Д.В.* | *Решетников В.П.* | *Тихоненко И.С.* | *Антипова А.В.* | *Усачев П.А.* | *Борисов С.Б.* | *Макарова Л.Н.* | *Kautsch S.* | *Марчук А.А.* | *Рубцов Е.В.* | *Скрябина М.Н.* | *Смирнова П.И.* | *САО РАН* | *СПбГУ, САО РАН* | *ГАО РАН* | *АРО, ГАИШ, САО РАН* | *СПбГУ, САО РАН* | *СПбГУ* | *САО РАН* | *САО РАН, СПбГУ* | *ГАИШ, САО РАН* | *САО РАН* | *NOVA* | *СПбГУ, ГАО РАН* | *ГАИШ* | *СПбГУ* | *СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Каталог содержит информацию о 16426 дисковых галактиках, видимых под большим углом к наблюдателю, практически с ребра. Каталог построен на основе второго релиза обзора Pan-STARRS 1, покрывающего 3/4 неба со склонением δ −30°. Кандидаты были найдены с помощью Искусственных Нейронных Сетей с последующей визуальной проверкой, для исключения артефактов изображений и ложных кандидатов.

KKH 22 - первый карликовый сфероидальный спутник IC 342

Макарова Л.Н. | Караченцев И.Д. | Tully R.B. | Anand G.S. | Rizzi L. | Shaya E.J. | Афанасьев В.Л. | САО РАН | САО РАН | University of Hawaii | University of Hawaii | W. M. Keck Observatory | University of Maryland | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Галактика IC 342 является ближайшей к нам массивной спиральной галактикой позднего типа (Scd), которая расположена в зоне сильного галактического поглощения на расстоянии 3.28 Мпк. В результате прямых наблюдений, проведенных нами на космическом телескопе Хаббла с камерой ACS, впервые удалось обнаружить, что карликовая сфероидальная галактика KKH 22 является спутником спирали IC 342. Фотометрия разрешенных звезд карлика KKH 22 позволила нам построить глубокую диаграмму показатель цвета - звездная величина и определить точное фотометрическое расстояние до этой галактики, равное 3.12 Мпк. Мы также впервые обнаружили шаровое скопление в исследуемой карликовой галактике. Спектроскопические наблюдения этого скопления, проведенные на 6-м телескопе БТА, позволили измерить его гелиоцентрическую лучевую скорость, равную +30+-10 км/с.

Каталог сверхмассивных черных дыр для наблюдений теней черных дыр на космической обсерватории "Миллиметрон"

Малиновский А.М. | Михеева Е.В. | Лукаш В.Н. | Репин С.В. | АКЦ ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

В докладе представлен каталог сверхмассивных черных дыр (СМЧД), предназначенный для интерферометрических наблюдений в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн и опирающийся на открытые источники. В каталоге даны название источника, координаты, расстояние по углу, масса, угловой размер, под которым виден гравитационный радиус СМЧД, интегральные потоки от радиоисточника, связанного с СМЧД, в диапазоне 20–900 ГГц, характерных для "Телескопа Горизонта Событий", планируемой космической обсерватории "Миллиметрон" и других миссий и проектов. Каталог предназначен для использования при планировании интерферометрических наблюдений теней СМЧД.

Измерение масс сверхмассивных чёрных дыр в ядрах активных галактик методом фотометрического эхокартирования

Малыгин Е.А. | Шабловинская Е.С. | Уклеин Р.И. | Гроховская А.А. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Одним из самых популярных и эффективных методов измерения масс сверхмассивных чёрных дыр (СМЧД) в активных ядрах галактик является метод эхокартирования, основанный на измерении времени задержки между континуальным потоком и потоком в эмиссионных линиях. Мы адаптировали метод фотометрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах на телескопах Специальной астрофизической обсерватории РАН для исследований выборки активных галактик с широкими эмиссионными линиями. Мы представляем первые результаты для двух самых ярких объектов выборки - 2MASX J0853+77 и VII Zw 244. Массы СМЧД в центрах этих галактик были оценены за счёт моделирования двухлетних временных рядов с помощью кода JAVELIN и спектральных данных, полученных с помощью SCORPIO-1/2 на 6-м телескопе БТА САО РАН. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-12-00030 "Исследование геометрии и кинематики ионизированного газа в ядрах активных галактик методами поляриметрии".

Statistical analysis of observation data of spiral galaxies with known halo parameters

Маннапова К.А. | Миртаджиева К.Т. | НУУз | АИ АН РУз

Секция: Физика галактик и космология

As known, spiral galaxies differ in both external and internal physical parameters. There are many catalogs of spiral galaxies, in which various parameters are collected, such as radial velocity, absolute magnitude, redshift, stellar mass of the galaxy, etc. It should be noted that until now a catalog has not been compiled that would contain parameters related with their halo.

In this work, we have compiled for the first time a consolidated catalog of spiral galaxies that have physical parameters of a halo for 207 objects. The catalog contains parameters such as the name of galaxies (type of galaxies), their right ascension and declination, the value of the type code according to Leda, radial velocity, redshift, semi-major and minor axis, distance to galaxies, absolute magnitude, halo mass, gas density in the halo, the surface brightness of the halo, the number of globular clusters in the halo, the mass of the globular clusters, the metallicity of the halo, the temperature of the gas in the halo, etc. Their statistical analysis was carried out, and the corresponding histograms were built.

Анализ согласия методов определения радиусов коротации в галактиках

Марчук А..А. | Мосенков А.В. | Савченко С.С. | СПбГУ, ГАО РАН | ГАО РАН | СПбГУ, ГАО РАН, САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

В работе впервые статистически проверено попарное согласие различных способов определения радиусов коротации в дисках галактик. Рассмотрены как прямые методы, такие как классический метод Tremaine-Weinberg, так и непрямые методы, основанные на анализе динамических или химических особенностей в диске. Учтено, что подходы используют разные источники данных по газу, звездам и их кинематике. Данные о радиусах коротации были найдены в литературе или вычислялись нами самостоятельно там, где это было возможно. Сделаны общие выводы о надежности используемых в литературе методов и их согласии между собой. Составлен список галактик и радиусов коротации в них, которые надежно согласуются при использовании разных методов. На основе этого списка сделаны выводы о скорости спирального узора в галактиках и его связи с характеристиками галактик. Наконец, в случае более чем одного радиуса коротации проверены теоретические предсказания взаимного расположения разных частей узора друг относительно друга.

Многочастотное исследование радиогалактик FR0 на РАТАН-600

Михайлов А. Г. | Сотникова Ю. В. | САО РАН | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Программа исследования радиогалактик FR0 осуществляется на РАТАН-600 с февраля 2020 года. В выборку включены 34 объекта из каталога FR0CAT, наблюдения ведутся на 6 частотах одновременно в диапазоне 1.2-22.3 ГГц. За полтора года наблюдений квазиодновременный на масштабе 7-10 дней радиоспектр каждого объекта измерен от 3 до 10 раз. Полученные данные позволили определить радиосвойства галактик FR0 в сантиметровом диапазоне и легли в основу изучения взаимосвязи FR0 с другими классами компактных внегалактических радиоисточников. Для радиогалактик FR0 характерен плоский спектр со вкладом нескольких компонент. Анализ квазиодновременных радиоспектров в сочетании с доступными литературными данными показал, что ~10% FR0 могут рассматриваться как GPS источники малой мощности. Вместе с тем, некоторые из объектов FR0 могут являться блазарами относительно небольшой мощности. Полученные результаты демонстрируют неоднородность исходного каталога FR0CAT и необходимость дальнейших исследований для понимания природы радиоисточников класса FR0.

Радиосвойства галактик с источниками гидроксильного мегамазерного излучения

Михайлов А. Г. | Сотникова Ю. В. | Муфахаров Т. В. | Бурсов Н. Н. | Семенова Т. А. | Мингалиев М. Г. | Столяров В. А. | САО РАН | САО РАН | КФУ, ShAO, САО РАН | САО РАН | САО РАН | САО РАН, КФУ | University of Cambridge, САО РАН, КФУ

Секция: Физика галактик и космология

Представленная работа является частью проекта, направленного на изучение механизмов, индуцирующих вынужденный переход в галактиках с гидроксильными мегамазерами (OHMs). Основу наблюдательного материала составляют результаты квазиодновременных измерений в диапазоне 1.2-22.3 ГГц на РАТАН-600 в 2019-2021 гг. В выборку включены 74 OHM галактики, контрольная выборка содержит 130 галактик без OHMs. Для построения континуальных радиоспектров использованы также доступные литературные данные и каталоги (GLEAM, TGSS, NVSS, VLASS). Определены радиосвойства объектов в сантиметровом диапазоне, проведена классификация радиоспектров. Представлены результаты статистического исследования различий радиосвойств двух выборок. Работа осуществляется в рамках проекта фундаментальных научных исследований, проводимых совместно РФФИ и Государственным фондом естественных наук Китая (грант № 21-52-53035).

Образование и излучение H2 в оттоках ярких ИК галактик

Новиков И. | АКЦ ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

Наша цель состоит в том, чтобы прояснить физические механизмы, которые делают возможным существование быстрых молекулярных оттоков от АГЯ в центральных (1 кпк) активныхобластях ярких ИК галактик. Вытекающий из окружающей среды газ сотрясается и ускоряется быстрым ветром, достигая 10^6-10^7 K. Учитывая, что H2 подвергается быстрой столкновительной диссоциации при температурах, превышающих 6000 K, этот элемент редко наблюдается выше 3000 K. В некоторых случаях при взаимодействии молекулярного ветра и окружающей среды образуются холодные плотные сгустки, несущие характерное спектральное излучение за фронтом ударных волн.

Как показано в случае Прото-планетарных Туманностей (PPN),молекулярные истечения со скоростью ~ 200 км/с образуют сгустки в форме радиальных выступов из оттока (Novikov & Smith 2018). Эти холодные молекулярные сгустки, окруженны слабыми косыми скачками, которые вызывают охлаждение за счет столкновительного девозбуждения.

В случае более быстрых истечений из АГЯ, Zubovas K. & King.A.R (2014) предположили что радиационное охлаждение происходит достаточно быстро что позволяет формировать молекулы из значительной части самого истечения. В следствии чего молекулярное содержимое оттока может стабильно сосуществовать с разреженным горячим газом.

Мы постараемся ответить на вопрос - могут ли молекулы формироваться за фронтом ударной волны при охлаждении и сжатии внутри излучающего слоя?

Анализ объектов с ультра крутыми спектрами в центральном сечении RATAN Zenith Field (RZF) обзоре

Парийский Ю.Н. | Семенова Т.А. | Темирова А.В. | Бурсов Н.Н. | СПбФ САО РАН | САО РАН | СПбФ САО РАН | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Объекты с USS (ультра крутыми спектрами), которые являются основным индикатором для поиска возможных кандидатов в далекие галактики, получены в результате глубокого обзора неба в интервале $0^h \leq RA \leq 24^h$, $40.5^\circ \leq DEC \leq 42.5^\circ$ на радиотелескопе РАТАН-600 на длине волны λ=7.6 см. В центральном сечении обзора ±2′ из 448 обнаруженных объектов 69 источников оказались с ультра крутыми спектрами ($\alpha < -1.1$. $S \approx \nu^\alpha$). Из них 16 спектров имеют степенной спектр и только 5 спектров построены по двум точкам − 1400МГц и 3940МГц. Эти спектры. как правило, не «укручаются» на высоких частотах, но на низких частотах эти спектры могут поворачиваться из-за синхротронного самопоглощения и тормозного поглощения. 9 источников рассматриваемой выборки имеют спектры с максимумами в мегагерцовом диапазоне (MGP), что указывает на возможность их принадлежности к далеким галактикам (High Z Radio Galaxies, HZRG). Рассматриваемая выборка включает относительно слабые по плотности потоков радиоисточники – $S_{3940МГц,\ median}$ =5.8 мЯн и $S_{1400МГц,\ median}$ = 20.8 мЯн. Для 27 объектов с USS спектрами, для которых известны звездные величины в разных фильтрах (SDDS обзор), определены фотометрические красные смещения и их радио светимости на частотах 500, 1400 и 3940 МГц. По цифровому оптическому обзору SDDS (DR12) с использованием радиокарт NVSS и FIRST каталогов проведено оптическое отождествление объектов. Наша выборка − 19 галактик и 8 звездообразных объектов, в основном, относится к категории близких галактик (N=12) с $z_{ph,gal,mean}$=0.27 ± 0.01, обнаруженных в сантиметровом диапазоне длин волн (λ=7.6 см). Такие радиоисточники расположены в плотной межгалактической среде богатых скоплений галактик,. или заключены внутри родительской галактики. 10 галактик по значению радиосветимостей $L_{1400\ МГц} \geq 10^{26}$Вт/Гц можно отнести к FR II типу, из них 4 источника с $z_{ph,gal} > 0.5$ можно рассматривать как возможных кандидатов в радиогромкие активные ядра галактик (AGNs). Только одна галактика с USS спектром оказалась редкой близкой галактикой с относительно низкой радиосветимостью с $L_{1400\ МГц}$=1.51 x 10^{24}Вт/Гц.

Определение величины и геометрии магнитного поля в аккреционных дисках активных ядер галактик

Пиотрович М.Ю. | Булига С.Д. | Нацвлишвили Т.М. | ГАО РАН

Секция: Физика галактик и космология

На основе спектрополяриметрических данных наблюдений 33 сейфертовских галактик первого типа с активными ядрами, сделанных с помощью телескопа БТА-6м Специальной астрофизической обсерватории, и используя модель оптически толстого геометрически тонкого аккреционного диска Шакуры-Сюняева, получены оценки значений магнитного поля B_H на горизонте событий сверхмассивной черной дыры и показателя s степенной зависимости магнитного поля от радиуса. Среднее значение $\log(B_H[Гс])$ оказалось равным ~ 4, что хорошо согласуется с результатами, полученными другими методами. Среднее значение s составило приблизительно 1,7, а максимум распределения объектов по s находится в пределах $1{,}85 < s < 2{,}0$. Это довольно интересный результат, поскольку для аккреционных дисков этого типа обычно берется s = 5/4. Кроме того, для двух объектов PG 1545+210 и 2MASX J06021107+2828382 измеренное значение поляризации оказалось больше максимально возможного при обычно принимаемым в расчетах усредненном угле между лучом зрения и осью аккреционного диска $i = 45^0$. Был сделан вывод, что для этих объектов угол должен быть ближе к $i = 60^0$.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда, проект № 20-12-00030 *«Исследование геометрии* и *кинематики ионизированного газа* в *ядрах активных галактик методами поляриметрии».*

Свойства диффузного света в компактных группах галактик

Поляков Д.М.* | *Мосенков А.В.* | *Noah Brosch* | *Shuki Koriski* | *Michael Rich* | *СПбГУ* | *ГАО РАН* | *TAU* | *TAU* | *UCLA

Секция: Физика галактик и космология

Интенсивные взаимодействия галактик в тесных группах приводят к рассеянию звезд, входящих в состав этих галактик, в глобальном потенциале темного гало группы. Благодаря этому в группе и вокруг нее формируется диффузный свет рассеянных звезд (IGL). Цель данной работы состоит в том, чтобы проверить, как распределение поверхностной яркости IGL связано с массой группы и её динамическим статусом. Для этого мы рассматриваем распределение и вклад IGL в 36 компактных группах из каталога Хиксона, а также связь основных характеристик IGL как со свойствами группы, так и со свойствами галактик, в неё входящих. Используемые нами глубокие изображения компактных групп (медианное среднее глубины изображений в полосе r составляет 28.1 mag/sq. arcsec) были получены с помощью 28-ми дюймового телескопа обсерватории WISE. С помощью многокомпонентной фотометрической декомпозиции определены параметры фотометрических профилей галактик групп. Для 5 компактных групп с ярким симметричным IGL были также получены параметры профиля IGL. Показатели Серсика IGL оказались в интервале 0.5-1, что в целом согласуется с профилями плотности тёмных гало компактных групп, полученных в космологических симуляциях. Кроме того, нами найдены корреляции средней поверхностной яркости IGL со средним числовым морфологическим типом и средним показателем Серсика галактик группы (т.е. динамическим статусом группы): IGL тем ярче, чем выше доля галактик ранних типов с большими показателями Серсика. Светимость и средняя поверхностная яркость IGL также показывают положительную корреляцию с полной светимостью (звездной массой) группы. Таким образом, мы показали, что свойства IGL зависят не только от динамического статуса группы, но и от её массы.

Поглощение гамма-квантов от далеких источников тормозным излучением горячего газа в скоплениях галактик

Попов А.Н. | Бобашёв С.В. | Барсуков Д.П. | Иванчик А.В. | ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Секция: Физика галактик и космология

В работе рассматривается поглощение выскоэнергичных фотонов при взаимодействии с фотонами теплового тормозного излучения водородной плазмы в скоплениях галактик с образованием электрон-позитронных пар и его возможное влияние на искажение спектра далеких источников.

Данным эффектом можно пренебречь в области энергий E > 100 ГэВ, где доминирует взаимодействие с фотонами внегалактического оптического излучения и реликтового излучения. Однако данный процесс может вносить определяющий вклад в оптическую толщину в диапазоне 1 - 100 ГэВ.

Рассматриваются только модели со сферически симметричным распределениями концентрации и температуры газа в скоплениях. Показано, что для небольших скоплений оптическая толщина составляет 10^{-8}-10^{-5}.

Квазары со сверхвысокими светимостями и мезолинзирование

Райков А.А. | Ершов В.Н. | Ловягин Н.Ю. | САО РАН | MSSL UCL | СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Видимые звёздные величины довольно значительного числа квазаров с красными смещениями превышающими z=5 соответствуют светимостям $L_{bol} > 10^{14}$ Lsun в рамках стандартной космологической модели. Если считать, что энергия излучения квазаров обесспечивается за счёт аккреции вещества на сверхмассивные чёрные дыры, то массы центральных чёрных дыр в квазарах со сверхвысокими светимостями должны превышать 10^{10} Msun. С другой стороны, в стандартной космологической модели возраст данных объектов составляет около миллиарда лет, что создаёт серьёзные трудности для объяснения процесса их формирования за такой интервал времени. Наблюдательные обзоры, выполняемые с помощью инструментов с высоким угловым разрешением, такие как Hubble или GAIA, показывают, что многие квазвры являются гравитационно линзированными объектами, что обнаруживается по кратности их изображений. В случае далёких квазаров со сверхвысокими светимостями без кратных изображений возможно, что происходит существенное усиление яркости этих квазаров именно за счёт гравитационного линзирования на объектах переднего фона. Кратные изображения в данном случае могут отсутствовать, если гравитационное линзирование происходит на шаровых скоплениях или карликовых галактиках переднего фона (так называемое мезолинзирование). При этом видимые яркости далёких квазаром могут существенно возрастать для определённых геометрических конфигураций гравитационной линзы и линзируемого объекта. При такой интерпретации повышенных светимостей далёких квазаров вычисляемые массы их центральных чёрных дыр уменьшаются, и схема их формирования в рамках стандартной космологической модели приводится к схеме формирования остальных квазаров. Мы проводим оценку числа квазаров, яркость которых могла быть усилена гравитационным мезолинзированием.

Как образовались гигантские галактики низкой яркости? Уроки, извлечённые из наблюдений

Сабурова А.С. | Чилингарян И.В. | Каспарова А.В. | Сильченко О.К. | Гришин К.А. | Катков И.Ю. | Уклеин Р.И. | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Гигантские галактики низкой поверхностной яркости с дисками с радиусами, достигающими 130 кпк, представляют отдельную проблему для современных теорий формирования галактик. Вопрос о том, как образуются такие системы до сих пор оставался открытым. Мы провели анализ глубоких спектральных длиннощелевых, а также фотометрических данных и данных в линии 21 см, как полученных нами, так и доступных в литературе для выборки из семи гигантских галактик низкой яркости. Также мы провели моделирование кривых вращения для этих галактик и получили параметры их темных гало. Мы пришли к выводу, что шесть из семи гигантских галактик низкой яркости не отклоняются от барионной зависимости Талли-Фишера, полученной для дисковых галактик. Для одной из галактик мы обнаружили глобальное противовращение звездного и газового дисков. Шесть из семи галактик выборки демонстрируют признаки активного ядра, при этом для трех из них масса черной дыры оказывается значительно ниже, чем ожидается из наблюдаемой центральной дисперсии скоростей звезд, что свидетельствует о бедной истории слияний. Исходя из наблюдаемой морфологии, внутренней динамики и оценок параметров темного гало, мы пришли к выводу, что гигантские галактики низкой яркости представляют собой неоднородный класс объектов, и могут образовываться по трем основным каналам: (а) двух-этапный сценарий, в котором на первом этапе образуется галактика высокой яркости, на которую аккрецирует газ из внешнего источника, из которого формируется диск низкой яркости; (б) образование гигантского диска, обусловленное необычно “разреженным” темным гало (обладающим высокой радиальной шкалой и низкой центральной плотностью); (в) сценарий, включающий большие слияния с тонко настроенными параметрами.

Поиск галактик, видимых с ребра, в обзоре Pan-STARRS1

Савченко С.С. | Макаров Д.И. | Тихоненко И.С. | Мосенков А.В. | Решетников В.П. | Марчук А.А. | Макарова Л.Н. | Усачев П.А. | Бизяев Д.В. | Борисов С.Б. | Антипова А.В. | СПбГУ, САО РАН | САО РАН | СПбГУ | ГАО РАН | СПбГУ | ГАО РАН | САО РАН | СПбГУ | Apache Point Observatory and New Mexico State University | ГАИШ МГУ | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Дисковые галактики, наблюдаемые в ориентации “с ребра” представляют собой интерес для исследований, поскольку для них может быть изучена вертикальная структура их звездных дисков. Кроме того, некоторые компоненты дисковых галактик (например, икс-структуры, пылевые полосы), а также некоторые особенности самих дисков (например, их изгибы) лучше всего видны, когда галактика видна под большим углом наклона.

Данная работа посвящена поиску галактик, видимых с ребра в широкоугольном оптическом обзоре Pan-STARRS1. Этот обзор покрывает все небо севернее склонения -30 градусов и состооит из более чем 200000 изображений с общим объемом данных около 20 терабайт. Для анализа такого большого объема данных мы применили алгоритм на основе сверточной нейронной сети, для обучения которой был применен каталог EGIS, состоящий из примерно 5000 видимых с ребра галактик.

Глубокие изображения галактик с полярными кольцами

Скрябина М. Н. | Решетников В.П | Мосенков А.В. | СПБГУ | СПБГУ | ГАО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Галактики с полярными кольцами представляют собой интересный класс объектов, в которых присутствуют две крупномасштабные звездные подсистемы, вращающиеся в почти ортогональных или сильно наклоненных плоскостях. Эти галактики давно активно изучаются. Самыми популярными сценариями их формирования является приливной захват вещества от сблизившейся галактики, слияние галактик, аккреция вещества из межгалактического пространства. Эти процессы могли оставить «следы» на периферии галактик в виде структур низкой поверхностной яркости (оболочки, хвосты и пр.). В данной работе мы отобрали 13 галактик из Каталога кандидатов в галактики с полярными кольцами (SPRC), которые присутствуют в глубоком обзоре SDSS Stripe 82 (глубина изображений - 29.5 mag/sq. arcsec). Мы обнаружили, что большинство объектов демонстрируют структуры низкой поверхностной яркости, такие как звездные потоки и приливные хвосты. Кроме того, у некоторых галактик наблюдаются слабые оболочки. Приведены оценки геометрических характеристик и светимостей этих структур. Сделаны выводы о механизмах формирования исследованных галактик.

Спиральная структура в изолированных галактиках и в галактиках компактных групп

Смирнова П.И.* | *Мосенков А.В.* | *Марчук А.А* | *СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Мы изучили визуальные особенности строения спиральной структуры галактик, находящихся в совершенно разном пространственном окружении: в изоляции и в компактных группах. Произведена визуальная классификация спиралей на три типа: гранд-дизайн, многорукавные и флоккулентные. На основе большой выборки проклассифицированных галактик (327 спиральных галактик в компактных группах и 292 изолированные спиральные галактики) получено, что 73% спиральных галактик в компактных группах имеют гранд-дизайн спирали, тогда как в изолированных спиральных галактиках таких только 41%. Кроме того, был проведен количественный анализ интегральных характеристик этих спиральных галактик. Получено, что изолированные спирали имеют в среднем несколько меньшую звездную массу и значимо отличаются по цвету от галактик в компактных группах. Отдельно изучены гранд-дизайн галактики в обеих выборках. Найдено, что структурные характеристики гранд-дизайн спиралей у изолированных галактик и галактик в компактных группах также количественно отличаются, что, очевидно, объясняется разными условиями генерации спирального узора у галактик в этих выборках.

Радиосвойства квазаров на красных смещениях z>3

Сотникова Ю.В. | Муфахаров Т.В. | Михайлов А.Г. | Эркенов А.К. | Удовицкий Р.Ю. | САО РАН

Секция: Физика галактик и космология

Представлены результаты исследования квазаров на красных смещениях z>3 в радиоконтинууме по многочастотным данным измерений на радиотелескопе РАТАН-600 на масштабе времени до 10 лет. Обсуждаются особенности радиоспектров и переменности квазаров, анализируется связь с Gigahertz-Peaked Spectrum объектами. Представлены результаты измерений одного из самых далеких блазаров PSO 0309+27 на масштабе времени более 1 года.

Фрактальная размерность космического микроволнового фона по данным “Planck”

Тараканов П.А. | Костина М.В. | СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Исследованы фрактальные размерности карт космического микроволнового фона (CMB) и других источников излучения, построенных в рамках миссии “Planck”. Показано, что выбор моделей распределения источников, используемых при обработке данных, может существенно влиять на фрактальную размерность CMB.

Межзвёздное вещество в галактиках на больших красных смещениях: темп остывания газа в линии [CII]

Теликова К.Н.* | *Балашев С.А.* | *Нотердам П.* | *Крогагер Д.-К.* | *Ранжан А.* | *ФТИ им. А.Ф. Иоффе* | *ФТИ им. А.Ф. Иоффе* | *I.A.P.* | *I.A.P.* | *I.A.P., KASI

Секция: Физика галактик и космология

Один из наиболее эффективных методов изучения межзвёздного вещества галактик на больших красных смещениях – это анализ абсорбционных линий в спектрах далёких квазаров. Излучение квазара частично поглощается при прохождении через межзвёздные облака удалённой галактики, и в спектре квазара образуются Дэмпфированные Лайман-Альфа (ДЛА) системы – абсорбционные системы, в которых, помимо линий нейтрального водорода, идентифицируются линии металлов различной степени ионизации, а в некоторых случаях и молекулы H2, HD, CO. В последнее время было показано, что подкласс так называемых сверхнасыщенных ДЛА систем – систем с максимальными лучевыми концентрациями нейтрального водорода (> $10^{21.7}$ см$^{-2}$) – ассоциируется с галактиками, просечёнными с малым прицельным параметром (< 8 кпк), в отличие от обычных ДЛА систем, которые в большинстве известных случаев имеют значительный прицельный параметр (= 20 – 100 кпк). Таким образом, анализ сверхнасыщенных ДЛА систем позволяет изучать центральные части удалённых галактик.

В работе представлен анализ сверхнасыщенных ДЛА систем с красными смещениями z = 2 – 3, спектры которых были получены при помощи спектрографов среднего и высокого разрешения X-shooter и UVES, установленных на телескопе VLT. Нами были получены оценки на химический и ионизационный состав межзвёздной среды, а также на молекулярную фракцию вещества и поглощение на пыли. Кроме того, мы оценили темп охлаждения газа в линии [CII] λ158мкм, а также отношение CII*/CII. Результатом анализа является бимодальность распределения сверхнасыщенных дэмпфированных Лайман-альфа систем по темпу охлаждения в линии [CII], что расширяет ранее полученный результат для обычных дэмпфированных Лайман-альфа систем на область с большими лучевыми концентрациями нейтрального водорода и малыми прицельными параметрами. Нами было показано, что бимодальность темпов охлаждения в линии [CII] естественным образом объясняется наличием двух фаз межзвёздного вещества – тёплой, с температурой ~ 10^4 K, и холодной, с температурой ~100 K, – без привлечения в качестве объяснения существенного различия скоростей звездообразования, как это делалось в предыдущих исследованиях.

Данная работа поддержана грантом РНФ №18-12-00301

Вертикальная структура барлинз в N-body моделях

Тихоненко И.С. | Смирнов А.А. | Сотникова Н.Я. | СПбГУ | СПбГУ, ГАО РАН | СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Бары — характерная особенность распределения плотности большей части дисковых галактик. При наблюдении галактик с баром в положении плашмя по морфологии можно выделить бары с ящикообразными изофотами и бары с так называемыми барлинзами, имеющие в центральной части изофоты округлой формы. Вопрос о динамической природе последних до сих пор остаётся открытым. В данной работе проведён орбитальный анализ внутренних областей баров в нескольких численных моделях. Изучена вертикальная структура отдельных подсистем бара, выделенных на основе составляющих их орбит. В частности, впервые удалось выявить все орбитальные группы, которые отвечают за образование барлинзы. Было найдено, что барлинза состоит из почти плоских розеткообразных орбит, заключённых вокруг известных семейств x2 и x4. Этот вывод идёт вразрез с распространённым представлением о том, что B/PS балджи, наблюдаемые с ребра, и барлинзы, наблюдаемые в галактиках, расположенных почти плашмя, являются проявлениями одной и той же структуры, видимой под разными углами наклона.

Может ли локальная неоднородность Вселенной как-то объяснить ускоренное ее расширение?

Тураев С.Ж.* | *Нуритдинов С.Н.* | *НУУз

Секция: Физика галактик и космология

Космологический принцип утверждает, что распределение материи во Вселенной изотропно и однородно. Однако в меньшем масштабе материя является комковатой, организованной в галактики, их скопления и сверхгалактики, простирающиеся более чем на сотню Мпк. Между этими островами материи есть огромные пустоты, в которых плотность вещества слишком мала. Важно знать, что гравитация и темная энергия совершенно по-разному влияют на расширение пространства в зависимости от того, где мы находимся. В данной работе обсуждается разупорядочение принципа космологии в мелком масштабе, то есть возможность интерпретации данных наблюдений сверхновых типа Ia с учетом эффекта неоднородности и анизотропии Вселенной. Расширение Вселенной может казаться ускоряющимся из-за «темных потоков», изменений длины волны света, проходящего через «пустоты» и скопления галактик. Кроме того, на глобальном космологическом уровне гравитационное отталкивание от антивещества, скрытого в пустотах, может производить гораздо больше потенциальной энергии для расширения и его ускорения. Нами также выполнено сравнение имеющихся альтернативных теорий расширения Вселенной с ускорением.

1. Edward W Kolb et al. *On cosmic acceleration without dark energy*, New Journal of Physics 8 (2006) 322, p. 3
2. Christos G. Tsagas, *Dark flows and the cosmological axis.* Not. R. Astron. Soc. 426, L36–L40 (2012), p. 8-9.
3. Jacques Colin et al. *Evidence for anisotropy of cosmic acceleration.* MNRAS 469, L1–L5 (2017), Advance Access publication 2017 February 11, p. 3.
4. Michael J. Hudson et al., *Streaming motions of galaxy clusters within 12 000 km* s^{-1} *– V. The peculiar velocity field*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 352, 61–75 (2004), p. 1.

Изучение вспышечной активности лацертиды BL Lac за период с августа 2020 г по настоящее время

Уголькова Л.С. | Белинский А.А. | Горанский В. | Иконникова Н. | Татарников А. | Сафонов Б. | ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Проведено многоволновое исследование активности лацертиды BLLac в период её активности с августа 2020г. по настоящее время.

Наблюдения в оптике с фильтрами UBVRI и ближний ИК диапазон были получены на телескопах КС ГАИШ Цейс-2 и Азт_5 и Цейс-600 и 2.5 м в КГО. Данные гамма излучения в открытом доступе FERMI LAT. Полученные данные за этот период были сопоставлены с наблюдениями предыдущих лет (с 2015г.и более ранними). Обнаружилось следующее:

С августа месяца 2020г. усилилась активность источника на всех длинах волн. Так максимумы в оптике и в гамма лучах увеличились до величин превосходящих все максимумы вспышек источника за 20 лет. В гамма это увеличение в 2.5 раза сильнее самых мощных вспышек.

За несколько месяцев таких максимумов было 4. Они шли по времени с увеличением яркости каждого пика .

Между максимумов активности наблюдалась переменность, которая длилась от 1.5 до нескольких месяцев, но на некоторой повышенной активности.

Изучение BLLac в этой временной области продолжается, с исследованием как параметров поляризации излучения так и его спектрофотомерические особенности. Результаты обсуждаются.

Такое сильное гамма излучение предполагает привлекать и андройдные модели для объяснения особенностей излучения **BL Lac.**

Исследование корреляции оптического излучения с гамма излучением в период многоволновой активности блазара 3C 454.3 с 2012 по 2017 гг.

Уголькова Л.С. | Шимановская Е.В. | Ларионов В.М. и его группа | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Используя объединённые оптические данные проекта SMARTS и данные, полученные на телескопах КРАО AZT-8 и St. Petersburg LX-200 (группой Ларионова В.М.) и телескопах Крымской станции МГУ ГАИШ в оптике, а также данные гамма излучения миссии FERMI LAT, исследована корреляция вспышек в каждый год блазара 3C454.3 с конца 2012 г по 2017 г.

Представлена повышенная активность блазара 3C454.3 в оптике и гамма излучения в период 2012-2017годов, с максимальным излучением в 2014г. и минимальными в 2012 и 2017гг.) Все резкие выбросы в гамма диапазоне в основном сопровождаются ТАКЖЕ САМЫМИ СИЛЬНЫМИ оптическими вспышками. Для СИЛЬНЫХ вспышек КАЖДОГО ГОДА, в основном коэффициент корреляции K : 0.77 – 0.97. Так как в основном наблюдается высокая степень корреляции с практически нулевым запаздыванием оптики относительно гамма излучения можно с большой уверенностью предположить, что на длительном промежутке времени оба излучения появляются приблизительно из одной области, а, именно, в самом основании радиоджета и они физически связаны. Увеличение плотности наблюдаемых данных во время вспышек делает анализ их особенностей более уверенным, особенно в период максимума активности (2014 год), где наблюдаемая активность представлена в виде ряда 5–и уменьшающихся вспышек, следующих через 47-50 дней, с повтором через вспышку как формы их кривых блеска так и периодичность вычисленных параметров кросс-корреляции предполагает существование вращения области оптического и гамма излучения относительно ДРУГ ДРУГА, что не противоречит многочисленным последним работам по исследованию джетов, процессов, связанных с закрученностью магнитного поля как в аккреционном диске, так и в самом джете в активных ядрах галактик.

Пылевые диски видимых с ребра галактик по данным КТ «Гершель»

Усачев П.А. | Мосенков А.В. | Савченко С.С. | Гончаров Г.А. | Ильин В.Б. | Марчук А.А. | Смирнов А.А. | ГАО РАН, СПбГУ, САО РАН | ГАО РАН | ГАО РАН, СПбГУ, САО РАН | ГАО РАН | ГАО РАН, СПбГУ, ГУАП | ГАО РАН, СПбГУ | ГАО РАН, СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

Представлено исследование распределения пыли для 16 близких видимых с ребра галактик по распределению поверхностной яркости на изображениях космического телескопа «Гершель» в пяти фильтрах инфракрасного диапазона от 100 до 500 мкм.
Для описания распределения поверхностной яркости применяется моделирование с использованием функции трехмерного экспоненциального диска. Модели дополнительно улучшены за счет фиттинга и маскирования отдельных уярчений внутри и вне галактики. Для половины галактик выявлен второй дисковый компонент, возможность наличия которого подтверждается более ранними исследованиями распределения пыли в дисках галактик. Для остальных объектов выборки обсуждается возможность обнаружения второго компонента при улучшении углового разрешения наблюдений.

Видимые с ребра галактики в поле HST COSMOS

Усачев П.А. | Решетников В.П. | Савченко С.С. | СПбГУ, САО РАН, ГАО РАН | СПбГУ, САО РАН | СПбГУ, САО РАН, ГАО РАН

Секция: Физика галактик и космология

В поле COSMOS (Cosmic Evolution Survey) Космического телескопа «Хаббл» (HST) с применением методов машинного обучения отобраны ~10^3 кандидатов в видимые с ребра спиральные галактики. Это поле является самой большой площадкой, наблюдавшейся на HST, и оно предоставляет замечательную возможность для исследования морфологии и структуры далеких галактик с красным смещением z~1. Описаны общие характеристики галактик выборки. В дальнейшем для отобранных нами объектов будет выполнен анализ двумерных распределений поверхностной яркости, определены характеристики их звездных дисков (радиальный и вертикальный масштабы), а также изучен ряд других характеристик (например, встречаемость X-структур). Полученные данные будут использованы для исследования эволюции спиральных галактик с z.

Исследование быстрых радиовсплесков на радиотелескопе БСА ФИАН

Фёдорова В.А. | Родин А.Е. | ПРАО АКЦ ФИАН

Секция: Физика галактик и космология

В работе проведен сравнительный анализ наблюдательных характеристик быстрых радиовсплесков на частотах 111 и 1400 МГц. Построены распределения по мере дисперсии радиовсплесков. Показано, что на обеих частотах они описываются логнормальным распределением с параметрами μ =6.2, σ = 0.7. Также построена зависимость t_sc(DM) величины рассеяния от меры дисперсии на 111 МГц и 1400 МГц. Показано, что эта зависимость принципиально отличается от зависимости для пульсаров. Сравнительный анализ взаимосвязи рассеяния импульсов от меры дисперсии на 1400 МГц и 111 МГц показал, что t_sc(DM) для обеих частот имеет вид t_sc(DM) ~ DM^k, где k = 0.49 ± 0.18 и k = 0.43 ± 0.15 для частот 111 и 1400 МГц соответственно. Полученная зависимость объясняется в рамках предположения о внегалактическом возникновении быстрых радиовсплесков и пренебрежимо малом вкладе межгалактического вещества в их рассеяние. Из зависимости t_sc(DM) получена суммарная оценка вклада в DM вещества гало нашей и родительской галактики DM_halo + DM_host/(1+z) ≈ 60 пк/см^3. На основе зависимости Log*N* -- Log*S* выведен средний спектральный индекс радиовсплесков α = - 0.63 ± 0.20 при условии, что статистические свойства этих выборок на 111 и 1400 МГц одинаковы.

Поиск и отождествление далеких квазаров в обзоре СРГ/eРОЗИТА

Хорунжев Г.А.

| ИКИ РАН

Секция: Физика галактик и космология

Доклад посвящен первым результатам программы по отождествлению кандидатов в далекие рентгеновские квазары, которые обнаружены в первых сканах обзора неба СРГ/eРОЗИТА. С помощью данных СРГ/eРОЗИТА впервые можно получить статистически полную выборку рентгеновских квазаров на красных смещениях z>3 и светимостями log(LX)>45.7 в диапазоне 2-10 кэВ. Была создана программа поиска и наблюдений далеких и светимых квазаров обзора СРГ/eРОЗИТА DaLeQo (Distant and Luminous eRosita Quasi-stellar objects) , с целью обнаружить ранее неизвестные в оптике далекие квазары и построить их максимально полную выборку. Кандидаты в далекие квазары отобраны системой SRGz, которая производит фотометрические оценки красных смещений далеких квазаров. Наблюдения кандидатов проводятся на российских телескопах БТА, 2.5-м ГАИШ МГУ, АЗТ-33ИК, РТТ-150. Были открыты десятки ранее неизвестных квазаров на z>3. Удалось обнаружить несколько новых квазаров на z>5. В докладе будет рассказано о текущем состоянии программы DaLeQo и её дальнейших перспективах развития.

RCSED v2: крупнейшая база данных свойств галактик в диапазонах от УФ до ИК

Чилингарян И.В. | Катков И.Ю. | Золотухин И.Ю. | Гришин К.А. | Рубцов Е.В. | Гораджанов В.С. | Топтун В.А. | Каспарова А.В. | Борисов С.Б. | Кузьмин И.А. | Клочков В.И. | CfA, ГАИШ МГУ | NYU-AD, ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | МГУ, ГАИШ МГУ | МГУ, ГАИШ МГУ | МГУ, ГАИШ МГУ | ГАИШ МГУ | Université de Génève, ГАИШ МГУ | МГУ, ГАИШ МГУ | МГУ, ГАИШ МГУ

Секция: Физика галактик и космология

Изучение формирования и эволюции галактик и их центральных черных дыр остаются одними из важнейших направлений исследований в современной наблюдательной астрофизике. Несмотря на активное развитие концепции международной Виртуальной Обсерватории в течение последних двух десятилетий, потенциал существующих астрономических архивов и баз данных для совершения открытий использован далеко не полностью. Нами был создан каталог спектральных распределений энергии 800 тысяч галактик RCSED (Reference Catalog of Spectral Energy Distributions of galaxies), который стал основным элементом в процессе поиска и исследования объектов редких классов и привел к открытию популяции черных дыр промежуточной массы и примерно 70% всех известных компактных эллиптических галактик. Здесь мы представляем вторую версию каталога "RCSED v2", который является максимально полной из существующих баз данных свойств внегалактических объектов, полученных в результате применения однородных методов анализа к спектрам и фотометрии из нескольких крупных обзоров неба, что отличает наш проект от общеизвестных ресурсов NED и SIMBAD, которые представляют собой простые компиляции литературных данных. Выборка галактик расширена с 800 тысяч до 4 миллионов путем анализа спектров, полученных в обзорах 6dFGRS, SDSS-BOSS, SDSS-eBOSS, 2dFGRS, Hectospec, LAMOST, DEEP2/3. Теперь она покрывает диапазон красных смещений до z=1 и включает фотометрические данные GALEX, SDSS, Legacy Survey, UKIDSS, UHS, ESO Public Surveys, WISE на длинах волн от 150нм до 12мкм. Мы восстанавили истории звездообразования и химического обогащения галактик, применив оригинальный метод NBursts+phot к спектрам и фотометрии. Мы представим первые новые научные результаты, полученные с помощью RCSED v2: открытие молодых компактных эллиптических галактик, расширение выборки черных дыр промежуточной массы и открытие молодых аналогов ультра-диффузных галактик в скоплениях.

Активные ядра галактик в поляризованном свете

Шабловинская Е.С. | Афанасьев В.Л. | Popovic L.C. | САО РАН | САО РАН | АОВ (Serbia)

Секция: Физика галактик и космология

Обсуждается важность применения методов поляриметрии для изучения геометрии, кинематики и физических процессов в активных ядрах галактик (АЯГ) в поляризованном свете. Поскольку центральные области АЯГ геометрически неразрешимы с помощью современных оптических инструментов, поляриметрия является важным дополнением к прямым изображениям, спектрам и временным рядам переменности ядер и предоставляет дополнительную информацию о физических процессах в центральных областях АЯГ. В рамках данного доклада дается обзор механизмов формирования поляризации, их связи с различными структурами и масштабами внутри АЯГ. Рассматриваются новые наблюдательные методы исследований, разработанные в САО и применяемые на 6-м и 1-м телескопах: оценка масс центральных сверхмассивных черных дыр в центрах АЯГ методами спектрополяриметрии широких эмисионных линий, поляриметрическое эхокартирование радиуса испарения пылевого тора, а также оценка линейных размеров оптического джета АЯГ в объектах типа BL Lac.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-12-00030 “Исследование геометрии и кинематики ионизированного газа в ядрах активных галактик методами поляриметрии”.

Спектральное исследование UGC 4261- кандидата в галактики с полярным кольцом

Шаляпина Л.В. | Меркулова О.А. | Каратаева Г.М. | Чугунов И. В. | СПбГУ

Секция: Физика галактик и космология

По данным длиннощелевой и панорамной спектроскопии, полученным на 6-м телескопе САО РАН, было сделано заключение, что UGC 4261 представляет собой систему сливающихся галактик. Время их взаимодействия не превышает 1 млрд лет. Два центральных уярчения связаны с ядрами этих галактик. По кривой вращения первого (Vmax = 80 км/с) оценка массы составляет от 5x10^9 до 9x10^9 Msun. Масса и вид кривой вращения характерны для спиральных галактик (Sd). Звёздная кинематика второго ядра имеет отличный характер (Vmax = 30 км/с). Окружающая центральную область звёздно-газовая структура представляет собой искаженные в результате взаимодействия спирали и приливной хвост, а не полярное кольцо. Крупномасштабное поле скоростей отражает, в основном, регулярную картину вращения, со сдвинутым между ядрами центром вращения. Общая масса системы ~3x10^10 Msun. Анализ интенсивностей эмиссионных линий показал, что как в центральных областях, так и в приливных структурах, возбуждение происходит фотоионизацией. Распределение энергии в спектрах ядер говорит о наличии очень молодого звёздного населения (миллионы лет), причём в южном ядре население более молодое.

Спектр реликтовых нейтрино в области малых координатных импульсов

Юрченко В.Ю. | Иванчик А.В. | ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Секция: Физика галактик и космология

Реликтовые нейтрино находятся в тепловом равновесии с космической плазмой Вселенной в течение примерно первой секунды после Большого взрыва. После этого происходит немгновенный процесс выхода нейтрино из теплового равновесия с остальным веществом, по окончании которого их функция распределения оказывается неравновесной, что обусловлено остаточными взаимодействиями нейтрино с аннигилирующими электронами и позитронами, интенсивность которых возрастает с ростом импульса нейтрино.

Зависимостью сечения процессов взаимодействия нейтрино с частицами космической плазмы от энергии обусловлено так же и то, что ни при какой температуре в ранней Вселенной функция распределения нейтрино не является полностью равновесной, поскольку среди частиц нейтрино имеются такие, импульс которых настолько мал, что длина их свободного пробега превышает наблюдаемый космологический горизонт, то есть они не термализуются. При этом во Вселенной при любых температурах существуют процессы, при которых рождаются нейтрино произвольно малых импульсов: захват электрона протоном с образованием нейтрона и электронного нейтрино и распад мюонов и антимюонов, при которых рождаются электронные и мюонные нейтрино и антинейтрино.

В настоящей работе исследуется влияние вышеуказанных процессов рождения нейтрино на функцию распределения реликтовых нейтрино в области малых координатных импульсов. Численно решается кинетическое уравнение Больцмана для функции распределения нейтрино в области малых координатных импульсов, учитывающее рождение нейтрино в указанных процессах, при температурах выше 10 МэВ в предположении, что при этих температурах нейтрино более высоких импульсов мгновенно термализуются. Проверяется влияние термализации нейтрино, обусловленной процессами их рассеяния на электронах, позитронах, нейтрино и антинейтрино, на функцию распределения в этой области. Получено ограничение сверху на изменение функции распределения реликтовых нейтрино в области малых координатных импульсов, обусловленное рождением нейтрино в рассмотренных процессах.

(Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №18-12-00301)

Всероссийская астрономическая конференция

Астрономическое образование и популяризация астрономии

и

Женщины в астрономии

2021

Вклад студенческих конференций «Физика Космоса» в систему непрерывного астрономического образования

Соболев А.М. | Кузнецов Э.Д. | Шустов Б.М. | Бисикало Д.В. | УрФУ | УрФУ | ИНАСАН | ИНАСАН

Секция: Съезд Астрономического Общества

1) *Обучение и профориентационная работа со школьниками в СУНЦ УрФУ*. Выпускники СУНЦ получают подготовку, обеспечивающую ежегодно поступление 4–6 выпускников и их обучение в УрФУ и других вузах, готовящих специалистов в области астрономии.

2) *Деятельность по привлечению абитуриентов*. Тематический лекторий по астрономии, реализуемый в Коуровской АО для школьников Екатеринбурга и Урала и сопровождаемый экскурсиями по телескопам обсерватории, позволяет значительно расширить базу потенциальных абитуриентов специальности «Астрономия».

3) *Обучение на уровне специалитета, бакалавриата и магистратуры*. В ИЕНиМ реализована подготовка по специальности «Астрономия» на основе самостоятельно установленного образовательного стандарта. Практики в КАО и ведущих астрономических учреждениях — развитие навыков и опыт работы в астрономии на различных инструментах, включая крупнейшие в мире в режиме удаленного доступа, опыт поиска и работы с современными базами данных и математическим обеспечением через Интернет и компьютерные сети.

4) *Участие во Всероссийских студенческих научных конференциях «Физика Космоса»*. В конференциях, проходящих в КАО в течение 49 лет, участвуют студенты (40–50 чел.), аспиранты и молодые ученые (15–25 чел.) из астрономических организаций. Конференции дают возможность апробации, участия в конкурсе докладов, знакомства с ведущими учеными (10–15 профессоров и ведущих исследователей) и формированию коопераций по выполнению научных работ. Студенческие конференции являются катализатором процесса, в котором из студентов, взаимодействующих с учеными настоящего, формируются ученые будущего.

5) *Обучение в аспирантуре*. Связи, установленные на конференциях «Физика Космоса», повышают эффективность обучения за счет формирования команд исследователей из потенциальных аспирантов и их руководителей. Аспиранты участвуют в общих проектах российских и международных исследовательских групп.

6) *Кооперация в области образования.* Взаимодействие университетов и научных учреждений в ходе организации и проведения НИР, практик и стажировок студентов и аспирантов обеспечивает доступ к современному оборудованию ИНАСАН, КАО УрФУ, САО РАН, МГУ и мировым инструментам общего пользования. Совместные исследования с участием студентов и аспирантов в перспективных проектах — ключевой фактор успеха кооперации групп исследователей из различных организаций. Проведение конференции «Физика Космоса» обеспечивает непрерывный приток перспективной молодежи в российскую астрономию.

Современные инструменты популяризации астрономии

Афанасьев А.В. | ГАИШ МГУ

Секция: Астрономическое образование и популяризация астрономии

Мои личные мысли о том, как максимизировать охват заинтересованной аудитории с помощью современных средств коммуникации, медиа, сервисов подписок и т.д. Дискуссия также коснётся перспектив деятельности Астрономического общества.

Астрофотография в учебном процессе

Вольф А.В. | Каплинский А.Е. | Лопаткин В.М. | АлтГПУ | АлтГПУ, АлтГТУ | АлтГПУ

Секция: Астрономическое образование и популяризация астрономии

Бурное развитие в последние годы цифровой фото- и видеотехники дало возможность осуществить качественный скачок в методах получения и обработки изображений небесных тел, получаемых с Земли с помощью астрономических телескопов. Главной проблемой, стоящей на пути получения высококачественных астрофотографий, является атмосферная турбулентность, вызывающая «дрожание» изображения фотографируемого объекта и его размытие. Для объектов с видимыми угловыми размерами порядка единиц и десятков секунд (планеты, мелкие детали лунной поверхности, двойные и кратные звезды, а также ряд других) это означает практическую невозможность получения хороших изображений, особенно при невысоком положении объекта над горизонтом, когда он наиболее подвержен влиянию турбулентности и аэрозольного ослабления света, и при недостаточном качестве астроклимата местности.

С другой стороны, получили развитие программные средства обработки изображений небесных объектов, позволяющие проводить обработку больших серий отдельных кадров, при этом шумы и флуктуации усредняются, результатом чего становится вполне качественное изображение объекта. Это дает возможность предложить студентам, обучающимся в бакалавриате и магистратуре по соответствующим направлениям, весьма богатый выбор тем для квалификационных работ. Для реализации таких работ часто вполне достаточно небольшого телескопа или даже длиннофокусного фотообъектива, зеркального цифрового фотоаппарата или специальной астрономической видеокамеры, и необходимого программного обеспечения. Как результат, вполне закономерный в нынешнее время интерес обучающихся к информационным технологиям дает возможность решать самые разнообразные научно-практические задачи, приобретая необходимые компетенции.

В качестве примера можно привести изображение кометы C/2020 F3 (NEOWISE), полученное в пригороде Барнаула в ночь с 27 на 28 июля 2020 года с помощью зеркального цифрового фотоаппарата Canon EOS 400D со светосильным объективом Yongnuo 50/1,8. Выдержка каждого из 40 снятых кадров серии 3,2 с, ISO 1600. Обработка серии проведена в программе Deep Sky Stacker. При этом удалось убрать градиентную засветку от города в правой половине кадра, которая, однако, осталась на облаках, дрейфовавших слева направо.

На полученном изображении хорошо видна структура хвоста кометы, включая его ионную составляющую, несмотря на то, что период ее благоприятной видимости уже закончился.

Оценка уровня астероидно-кометной опасности по данным из открытых научных источников как студенческая практическая работа

Кузнецова И.В. | Прохоров М.Е. | ГАИШ МГУ

Секция: Астрономическое образование и популяризация астрономии

Одной из форм обучения физике и астрономии в ВУЗе может быть практическая работа с использованием современных открытых научных данных. Опираясь на предложенную методику, студент может сделать интересную, современную, актуальную исследовательскую работу. Возможно прямое сравнение результатов практической работы с опубликованными фундаментальными исследованиями и обсуждение полученных отличий. В качестве примера такой практической работы предлагается оценить астероидно-кометную опасность — частоту падения на Землю астероидов и крупных метеоритов (класса Тунгусского и Челябинского) с помощью подсчета кратеров на поверхности Луны и Меркурия. Данные для подобного исследования подбирались из открытых научных источников.

Издание учебно-методической литературы для учителей астрономии в Нижнем Новгороде

Фаддеев М.А. | Лапин Н.И. | ННГУ им.Н.И.Лобачевского | НГПУ им.К.Минина

Секция: Астрономическое образование и популяризация астрономии

Возвращение астрономии как учебного предмета в средние школы и средние специальные образовательные учреждения поставило, в ряду прочих, проблему обеспечения учителей современной учебно-методической литературой.

В настоящее время в качестве базовых в школах используются учебники под авторством Б.А.Воронцова- Вельяминова, Е.К.Страута и В.М. Чаругина. В дополнение к ним в последние годы были изданы задачники и научно-популярные книг, отражающие тематику всех разделов учебника. Казалось бы, это обеспечивает необходимый набор учебной литературы. Однако, учителя средних и средне-профессиональных учебных заведений, указывают на недостаток учебно-методической литературы по астрономии и астрофизике.

В докладе представляются результаты издательской деятельности инициативной группы преподавателей ННГУ им.Н.И.Лобачевского и НГПУ им.К.Минина.

Первое, что было сделано — это возобновление издания ежегодного астрономического календаря, который включает в настоящее время, как постоянную часть, так и методическую. Методическая часть содержит информацию о решении различных астрономических задач, о проведении наблюдений, о конкурсах и олимпиадах, все то, что будет полезно при организации астрономических занятий и астрономического практикума.

Следующим шагом было издание пропедевтического курса по астрономии для школьников 5 и 6 класса. Данное учебно-методическое пособие для учителей стало результатом многолетней работы авторов в базовых школах ННГУ, НГПУ и городском планетарии. Работа со школьниками 5-6 класса требует иного подхода в отличии от работы со школьниками 10-11 классов. Пособие включает разработки 32 уроков и ссылки на материалы приложений.

После введения в 2017 году предмета астрономии в ЕГЭ по физике были включены вопросы по астрономии, астрофизике и небесной динамике. Для помощи выпускникам было подготовлено и издано учебное пособие «Наш дом – Вселенная». Основным содержанием данного пособия является подробный разбор типовых задач, включенных

в программу ЕГЭ, и теоретический минимум, необходимый для решения этих задач. Разнообразие вопросов ЕГЭ привело к включению в пособие нескольких приложений, содержащих информацию, полезную для решения задач. В конце каждой главы помещены типовые задачи для самостоятельного решения. Учебное пособие завершается обширным списком ссылок на доступные сайты, содержащие актуальную информацию по астрономии, астрофизике и космонавтике.

К 100 летию Нефедьевой Антонины Ивановны

Нефедьев Ю.А. | КФУ

Секция: Женщины в астрономии

29 мая 1921 года исполнилось 100 лет со дня рождения Нефедьевой Антонины Ивановны – известного астронома - астрометриста, Заслуженного деятеля науки, Заслуженного профессора КГУ. Она прошла путь от младшего научного сотрудника до доктора физико-математических наук, профессора, заведующего астрометрическим отделом Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта. А.И.Нефедьева разработала новую теорию астрономической рефракции и составила ее таблицы, на основе аэрологических данных определила наклоны слоев воздуха одинаковой плотности на различных высотах атмосферы и для различных областей на поверхности Земли. А.И.Нефедьева открыла «неисключаемое» гнутие меридианного круга, разработала метод определения вертикального гнутия. Под руководством А.И.Нефедьевой была проведена работа по автоматизации меридианного круга и конструированию машины для измерения фотографий отсчетов меридианного круга. В результате были построены самые точные на тот момент времени таблицы астрономической рефракции. А.И.Нефедьева руководила работами по международным и отечественным программам определения координат звезд и составления звездных каталогов. Большой объем исследований был выполнен по всероссийской программе службы широты, с 1961 по 1971 год под руководством А.И.Нефедьевой было произведено 21 000 наблюдений склонений 2900 звезд широтных программ и в 1977 году был опубликован дифференциальный каталог склонений 2890 широтных звезд. В 1976 году был получен 18.6-летний широтный ряд наблюдений, равный по длительности периоду главного члена вынужденной нутации земной оси. Также в АОЭ под руководством А.И.Нефедьевой была создана рабочая группа для участия в международной программе по наблюдениям на меридианном круге двойных звезд, звезд высокой светимости и звезд вблизи квазаров. Было выполнено около 5000 наблюдений. В 1992 году были опубликованы каталоги: дифференциальный каталог склонений 788 визуальных двойных звезд и каталог – дифференциальные склонения 158 звезд высокой светимости. А.И. Нефедьева по праву является одним из лучших продолжателей и новаторов Казанской школы астрометрии, основанной еще Д.И. Дубяго.