

Конференция по астрофизике

С 18 по 21 декабря 2017 г. в Институте космических исследований РАН прошла 17-я Международная конференция “**Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра**”. Она проводилась отделом Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН при финансовой поддержке Института. В программный комитет вошли доктор физико-математических наук, профессор РАН А.А. Лутовинов (председатель), академик Р.А. Сюняев, члены-корреспонденты РАН М.Р. Гильфанов и Е.М. Чуразов, доктора физико-математических наук А.А. Вихлинин, С.А. Гребенев, М.Н. Павлинский и С.Ю. Сазонов. Оргкомитет возглавили М.Н. Павлинский (председатель) и И.В. Человеков (заместитель председателя). В Конференции участвовало около 200 ведущих российских ученых, работающих в России, в европейских и американских научно-исследовательских центрах. Тематика Конференции касалась почти всех разделов астрофизики

энергий, рентгеновской, гамма- и гравитационно-волновой астрономии, наблюдательной космологии.

Конференции по этой теме проводятся ежегодно, начиная с 2001 г. (Земля и Вселенная, 2007, № 3; 2008, № 4; 2009, № 3; 2014, № 4; 2016, № 3). На этих форумах обсуждаются наиболее важ-

ные достижения и результаты в исследовании рентгеновского и гамма-излучений, которые сопровождают наиболее энергоемкие явления во Вселенной: взрывы сверхновых, ультраяркие рентгеновские источники, формирование скоплений галактик, процессы аккреции вещества на черные дыры и ней-



Постер Конференции “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра – 2017”.



Член-корреспондент РАН М.Р. Гильфанов рассказал об излучении компактного объекта – рентгеновских двойных (нейтронной звезды или черной дыры).

тронные звезды. В научную программу включены наиболее актуальные проблемы современной астрофизики и космологии, для решения которых используются самые современные наблюдательные данные, полученные космическими и наземными обсерваториями.

На Конференции 2017 г. в ходе десяти сессий прочитаны 66 докладов, в выставочном зале можно было ознакомиться с 84 стендовыми докладами. Отдельная сессия была посвящена текущему состоянию дел с подготовкой к запуску российско-немецкой астрофизической обсерватории “Спектр-Рентген-Гамма”, намеченного на весну 2019 г. (Земля и Вселенная, 1997, № 2;

2001, № 4, с. 39). Значительная часть программы Конференции была отдана представлению новых результатов, полученных российскими учеными на международной космической обсерватории “Интеграл” (Земля и Вселенная, 1997, № 3; 2003, № 2; 2010, № 1; 2015, № 5).

С приглашенными докладами выступили известные астрофизики академики Р.А. Сюняев (Институт астрофизики Общества им. Макса Планка, Германия; ИКИ РАН) и А.М. Черепашук (ГАИШ МГУ), член-корреспонденты РАН Б.М. Шустов (ИНАСАН), Д.Г. Яковлев и А.В. Иванчик (ФТИ им. Иоффе РАН), В.В. Кочаровский (ИПФ РАН), Ю.Ю. Ковалев (ФИАН), С.В. Троицкий (ИЯИ РАН), доктора Н.А. Шакура и К.А. Постнов (ГАИШ МГУ), И.В. Москаленко (Стэнфордский университет), А.М. Белобородов (Колумбийский университет), А.М. Быков (ФТИ им. Иоффе РАН), Р.Р. Рафиков (Кембриджский университет), Ю. Поутанен и С.С. Цыганков (Университет Турку), А.А. Муштуков (Университет Турку), И.Ф. Бикмаев (Казанский федеральный университет).

Первый день Конференции был посвящен теории и наблюдательным проявлениям аккреционных процессов в астрофизике.

Одним из первых выступил член-корреспондент РАН **М.Р. Гильфанов** (ИКИ РАН) с докладом “Рентгеновская диагностика аккрецирующих черных дыр и нейтронных звезд”. Он сообщил, что излучение компактного объекта (нейтронной звезды или черной дыры) может производиться в непосредственной близости от него, в разреженной короне с температурой около 10^9 К. Согласно ОТО, черные дыры, в отличие от нейтронных звезд, не имеют поверхности, на которой аккрецирующее вещество могло бы затормозиться, излучив свою энергию (Земля и Вселенная, 2016, № 6). С целью поиска экспериментальных подтверждений этого предсказания проанализировано множество спектров рентгеновских двойных, полученных космической обсерваторией “RXTE”. Аккрецирующее вещество теряет примерно $1/2 - 2/3$ своей энергии через процесс комптонизации (комптоновское рассеяние определяет непрозрачность вещества для высокоэнергичных рентгеновских и гамма-лучей) в короне. В случае черных дыр, оставшаяся энергия перемещается падающим веществом внутрь горизонта событий (граница области пространства–времени, начиная с которой не поступает никакой ин-

формации из-за конечности скорости света), а при аккреции на нейтронную звезду – выделяется на ее поверхности, превращая ее в мощный источник мягкого рентгеновского излучения, что оказывает критическое влияние на свойства короны. Величина энерговыделения на поверхности нейтронной звезды зависит от периода ее вращения, что делает быстровращающиеся нейтронные звезды отчасти похожими на черные дыры. Обнаруженные различия между спектрами нейтронных звезд и черных дыр являются следствием отсутствия поверхности у черных дыр, в соответствии с предсказаниями ОТО.

Продолжил тему аккреции нейтронных звезд доктор физико-математических наук **В.Ф. Сулейманов** (Институт астрономии



Об аккреции нейтронных звезд сообщил в докладе доктор физико-математических наук В.Ф. Сулейманов.

и астрофизики Тюбингенского университета, Казанский федеральный университет). В докладе “Влияние аккреции на спектральную эволюцию излучения во время термоядерных всплесков на поверхности рентгеновских барстеров” он заявил, что тесные маломассивные двойные системы, в которых происходят вспышки на поверхности компактного объекта, представляют собой уникальные лаборатории для определения масс и радиусов нейтронных звезд. Разработанный для этой цели метод, основанный на сравнительном анализе спектральной эволюции излучения нейтронной звезды на стадии остывания сразу после вспышки (в “хвосте” вспышки), для различных теоретических моделей атмосфер нейтронных звезд, позволил получить ограничения на радиусы нейтронных звезд, что важно для определения уравнения состояния сверхплотного вещества в их ядрах. Разработчики метода также установили, что наблюдаемая спектральная эволюция вспышек при светимостях меньше половины эддингтоновской отклоняется от теоретических предсказаний, и величина отклонения тем больше, чем выше аккреционная светимость системы в спокойном состоянии. Путем прямого моделирования удалось показать, что причиной такого не-



Доктор физико-математических наук С.А. Гребенев рассказал о рентгеновских всплесках нейтронных звезд.

совпадения может быть дополнительный нагрев атмосфер нейтронных звезд быстрыми частицами аккреционного потока. Вблизи максимума вспышки такой нагрев неэффективен из-за торможения частиц давлением излучения. Примененный подход позволил описать спектральную эволюцию излучения во время вспышек в ультракомпактной маломассивной двойной системе 4U 1820-30, расположенной в шаровом скоплении NGC 6624 в созвездии Стрельца, на всех стадиях остывания и уточнить радиус нейтронной звезды в этой системе.

Об условиях возникновения взрывов на поверхности рентгеновских барстеров сообщается в докладе доктора физико-математических наук **С.А. Гребенева** (ИКИ РАН)

«Кратные рентгеновские всплески и модель “слоя растекания” аккрецирующего вещества по поверхности нейтронной звезды». В 2017 г. с помощью телескопа JEM-X космической обсерватории “Интеграл” были зарегистрированы серии всплесков I-го рода, состоящих из 2–3 событий, с временем рекуррентности, много меньшим характерного времени накопления на поверхности нейтронной звезды слоя вещества, необходимого для инициирования термоядерного взрыва. Такие серии всплесков находят естественное объяснение в так называемой модели “слоя растекания” аккрецирующего вещества по поверхности звезды в случае высокого темпа аккреции $10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$, что соответствует светимости $L > 10^{37}$ эрг/с. В этой модели вещество накапливается на поверхности звезды в двух высокоширотных кольцевых зонах. После того, как в одной зоне произошел взрыв, термоядерное горение со скоростью волны дефлаграции (процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающийся фронт химических превращений) распространяется по менее плотному веществу до другой зоны и инициирует там взрыв. Существование тройных всплесков подтверждает важность центральной

кольцевой зоны. В стандартной модели “слоя растекания” считается, что вещество не выпадает в этой области барстера. Модель объясняет также наблюдаемое превышение темпа генерации всплесков барстерами со светимостью $L > 10^{37}$ эрг/с над темпом, ожидаемом при полном сгорании при взрыве вещества, выпавшего на звезду между всплесками.

Доктор **С.С. Цыганков** (Университет Турку) в докладе “Рентгеновские пульсары при низких темпах аккреции” представил обзор наблюдательных проявлений взаимодействия вещества со сверхсильными магнитными полями транзитных (появляются на небе на короткое время и потом исчезают) рентгеновских пульсаров. Особое внимание было уделено рассмотрению

конечных стадий вспышек, когда из-за низкого темпа аккреции размер магнитосферы нейтронной звезды, а точнее радиус, на котором давление магнитного поля и аккрецируемого вещества сравниваются, становится достаточно большим. Одним из наиболее ярких результатов такого увеличения является “эффект пропеллера”, связанный с прекращением аккреции из-за центробежного барьера, создаваемого быстровращающейся магнитосферой нейтронной звезды. Однако при определенной комбинации основных параметров нейтронной звезды “эффект пропеллера” наблюдаться не будет. Вместо этого пульсар перейдет в состояние, когда стабильно будет “питаться” веществом из “холодного” (слабоионизованного) диска в результате аккреции.

Среди докладов, посвященных аккреционным дискам вокруг релятивистских компактных объектов, выделяется доклад профессора **Р.Р. Раффикова** (Кембриджский университет) “Спиральные ударные волны в астрофизических дисках”. Он отметил, что ударные волны являются весьма распространенным явлением, проявляющимся в виде протяженных спиральных рукавов в протопланетных дисках (наблю-



*Выступает профессор
С.С.Цыганков.*



Профессор Р.Р. Рафиков выступает с докладом о спиральных ударных волнах в астрофизических дисках.

даются в ИК-диапазоне с применением адаптивной оптики и в субмиллиметровом диапазоне с помощью комплекса радиотелескопов ALMA), в дисках катаклизмических переменных (наблюдаются с помощью доплеровской томографии) и аккреционных дисках других типов. Они подвержены внешним возмущениям гравитацией массивной планеты или компаньона, неустойчивостям в пограничном слое между аккреционным диском и поверхностью релятивистского объекта, являющимся неизбежным следствием нелинейной эволюции волн плотности. Эти спиральные ударные волны представляют собой важный фактор, определяющий эволюцию диска.

19 декабря на секции “Ультраяркие рентгеновские источники” прозвучали пять докладов. Одним из наиболее интересных был доклад доктора **А.А. Муштукова** (Амстердамский университет, ГАО РАН), в котором рассказывалось о физических механизмах формирования излучения ультраярких рентгеновских пульсаров, светимость которых превышает $10^{39} - 10^{40}$ эрг/с, то есть почти на два порядка превышает эддингтоновский предел для нейтронной звезды. Долгое время ультраяркие рентгеновские источники (ULX) рассматривались как аккрецирующие черные дыры звездных или промежуточных масс. Три года назад с помощью космической обсерватории “NuSTAR” был открыт первый пульсирующий ULX. Это означает, что центральным источником в данном случае является не черная дыра, а нейтронная звезда, и мы имеем дело с рентгеновским пульсаром, светимость которого значительно превосходит эддингтоновский предел. К настоящему моменту известно четыре таких пульсирующих объекта. Пока нет общепринятого понимания того, как именно функционируют подобные объекты. Докладчик представил известные на данный момент сведения о пульсирующих ULX и

теоретические модели, описывающие наблюдательные данные.

В двух сессиях секции “Галактики, скопления галактик” 19 и 21 декабря выступили несколько докладчиков. Кандидат физико-математических наук **Н.С. Лыскова** (ИКИ РАН) с соавторами на основе данных рентгеновских наблюдений космической обсерватории “XMM-Newton” исследовала свойства массивной группы галактик NGC 4839, которая находится на стадии взаимодействия со скоплением галактик в созвездии Волосы Вероники. Получена детальная информация о распределении плотности и температуры горячего газа в сливающихся компонентах,



Кандидат физико-математических наук Н.С. Лыскова делает доклад “Слияние группы галактик NGC 4839 со скоплением галактик в созвездии Волосы Вероники”.

оценена масса газового “хвоста” NGC 4839. На основании сравнения с результатами космологического моделирования получены ограничения на геометрию слияния, а также на скорость движения группы галактик NGC 4839 относительно основного скопления.

Изображения в оптических эмиссионных линиях – важный источник информации о физическом состоянии ионизованного газа в галактических и внегалактических туманностях. Доктор физико-математических наук **А.С. Моисеев** (САО РАН) с соавторами в докладе “Ионизованный газ в галактиках: наблюдения с перестраиваемым фильтром на российских телескопах” рассказал об одном из возможных решений проблемы получения изображений газа в достаточно узком (шириной 1–2 нм) диапазоне. С этой целью применяется сканирующий интерферометр Фабри–Перо в режиме перестраиваемого фильтра. На основе этой методики, применяющейся в САО РАН, изготовлен прибор – картировщик узких галактических линий. Ученый сообщил результаты первых наблюдений, полученных с его помощью на телескопах сотрудниками САО РАН и ГАИШ МГУ; рассказал о перспективах метода для изучения ионизованного газа в различных внега-

лактических объектах – галактиках с мощным звездообразованием и с активным ядром, скоплениях галактик.

19 декабря состоялось заседание секции “Космология, ранняя Вселенная”. Нейтрино – одна из загадочных частиц стандартной модели. Ее свойства столь удивительны и уникальны, что их проявления затрагивают различные аспекты физики элементарных частиц, астрофизики и космологии. Член-корреспондент РАН **А.В. Иванчик** (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН) в докладе “Нейтринная астрофизика. Космологические нейтрино” рассмотрел вопросы открытия нейтрино и развития нейтринной астрономии, уделив особое внимание космологическим нейтрино. В обзорном докладе член-корреспондента РАН **В.В. Кочаровского** (Институт прикладной физики РАН) были рассмотрены некоторые физические задачи, связанные с первичными черными дырами. В частности, по наблюдаемому астрофизическим эффектам в них можно судить, как возникает вращательное движение этих объектов в галактиках. Рассматриваются различные сценарии захвата черной дыры компактным барионным объектом или ее слияния с ним, в том числе с уче-

том возможного вращения обоих, а также современные представления о процессах, связанных со сверхрассеянием на первичных черных дырах и их испарением. Профессор **Д.В. Малышев** (Эрлаген-Нюрнбергский университет) с соавторами в докладе отметил, что реликтовые черные дыры (РЧД) с массой меньше примерно 10^9 т излучают гамма-лучи с энергиями выше десятков МэВ, они могут быть зарегистрированы с помощью телескопа LAT космической обсерватории “Ферми” (Земля и Вселенная, 2015, № 3). Предыдущие поиски РЧД в гамма-диапазоне заключались либо в поиске коротких всплесков, либо в вычислении вклада РЧД в гамма-фон. В случае индивидуальных РЧД телескоп LAT может регистрировать излучение черных дыр с температурой около 16 ГэВ, которые он может обнаружить на расстоянии до 0,03 пк. РЧД на изображениях выглядят как движущиеся точечные источники с типичным смещением на несколько градусов в течение нескольких лет. Автором был предложен новый алгоритм для обнаружения движущихся точечных гамма-источников, у которых отсутствуют звездные ассоциации и которые вошли в третий каталог “Ферми”. Используя тот факт, что кандидаты РЧД не были

обнаружены, установлен 99% предел на испарение этих объектов.

20 декабря на секции “Обзоры и многоволновые наблюдения” обсуждались достижения, полученные в ходе обзоров неба в разных диапазонах длин волн. Профессор **И.В. Москаленко** (Стэнфордский университет, США) в докладе «Космический гамма-телескоп “Ферми”: 28 тысяч обзоров неба» рассказал, что продолжается исследование гамма-излучения Вселенной с помощью обсерватории “Ферми”. За это время обсерватория зарегистрировала более 5×10^{11} фотонов с энергией более 20 МэВ. В результате работы обсерватории число известных источников гамма-излучения увеличилось в 10 раз – почти до 2 тысяч, открыты новые типы источников. Благодаря особому режиму работы обсерватория каждые три часа обзорекает все небо. Накопленными данными будет пользоваться еще не одно поколение астрофизиков. Наблюдения астрофизических источников и космологических процессов во Вселенной с помощью обсерватории “Ферми” продолжились до 2019 г.

Кандидат физико-математических наук **Р.А. Кривонос** (ИКИ РАН) в докладе «15 лет рентгеновских обзоров обсерватории “Интеграл”»



С обзором о работе космической обсерватории “Ферми” выступает профессор И.В. Москаленко.

представил обзор важнейших результатов, полученных по данным обсерватории “Интеграл” (работает на орбите с 2002 г.) в результате обзоров неба в рентгеновском диапазоне. Используя огромный массив данных удалось построить наиболее чувствительные из существующих на данный момент карты галактической плоскости в жестких рентгеновских лучах, что позволяет обнаружить источники низкой светимости или объекты в наиболее удаленных частях нашей Галактики, недоступных для систематического поиска в предыдущих обзорах.

Профессор **И.Ф. Бикмаев** (Казанский федеральный университет) с соавторами в докладе “Исследования рентге-

новских источников по наблюдениям на РТТ-150” рассказал о результатах фотометрических и спектральных наблюдений на российско-турецком телескопе (РТТ-150) и представил оценки физических параметров рентгеновских источников излучения – как ранее классифицированных и исследуемых в течение ряда лет, так и вновь обнаруженных и отождествленных в 2017 г.

Академик **А.М. Черепашук** (ГАИШ МГУ) в докладе “Первые результаты наблюдений на 2,5-м телескопе ГАИШ МГУ” дал краткое описание новой Кавказской горной обсерватории и привел первые результаты наблюдений.

Доктор **Л.М. Оскинова** (Подсдамский университет) в докладе “Массивные черные дыры в контексте звездной эволюции” рассказала, что наблюдения в гравита-



Профессор И.Ф. Бикмаев.

ционных волнах выявили существование черных дыр с довольно высокими массами. Среди наиболее часто предлагаемых сценариев, объясняющих происхождение этих объектов, рассматривается эволюция массивных звезд с малой металличностью. Однако свойства таких звезд известны довольно плохо. В кратком обзоре она обобщила современные представления об очень массивных звездах и сообщила о наиболее эффективных методах анализа звездных ветров, подчеркнув, что современные эволюционные модели массивных двойных систем нуждаются в доработке, так как в настоящий момент они не включают реалистичные описания массивных звезд. Помимо гравитационно-волновой астрономии, изучение гамма-всплесков также помогает лучше понять свойства и эволюцию массивных звезд.

20 декабря на секции “Нейтронные звезды” поднимались проблемы изучения свойств сверхплотного вещества в ядрах нейтронных звезд и эволюции нейтронных звезд, космологически быстрых радиовсплесков с энергией $10^{38} - 10^{40}$ эрг (например, в удаленной галактике с красным смещением 0,193) – одно из самых загадочных астрофизических явлений, скорее всего это из-



Доктор физико-математических наук А.А. Лутовинов сделал сообщение о слиянии нейтронных звезд.

лучаются взрывные волны от магнетаров.

На секции “Гравитационно-волновая астрономия” выступил доктор физико-математических наук **К.А. Постнов** (ГАИШ МГУ) с докладом “Моменты импульса сливающихся двойных черных дыр”, в котором рассмотрел ограничения, полученные из анализа четырех надежно зарегистрированных детекторами LIGO/VIRGO гравитационно-волновых событий GW150914, GW151226, GW170104 и GW170814, произошедших в 2015 и 2017 гг. (см. статью К.А. Постнова в этом номере журнала).

Профессор РАН **А.А. Лутовинов** (ИКИ РАН) в докладе “Обнаружение электромагнитного сигнала от слияния нейтронных звезд” представил краткий обзор наблюдательных проявлений и физических характеристик гравитаци-

онно-волнового события GW170817, являющегося первой регистрацией слияния нейтронных звезд.

В заключительный день работы Конференции прошло заседание двух секций. **На секции “Высокоэнергичные процессы и перспективы наблюдения”** были затронуты вопросы нетепловых процессов в релятивистских течениях остатков сверхновых, перенос межзвездного газа в галактическом диске вспышками сверхновых; представлены результаты новых исследований гамма-излучения от блазаров.

Большой интерес вызвал доклад профессора **Ю.Поутанена** (Университет Турку) о задачах и перспективах рентгеновской поляриметрии. Были обсуждены механизмы образования поляризованного излучения в различных космических источниках и дан обзор инструментов и методов, предназначенных для наблюдения поляризации в рентгеновском диапазоне.

На секции **“Активные ядра галактик”** выступил член-корреспондент РАН **Ю.Ю. Ковалёв** (ФИАН, МФТИ) с докладом «Новые результаты проекта “Радиоастрон”». Обсуждалось техническое состояние космической радиообсерватории “Радиоастрон” (Земля и Вселенная, 2011, № 6,



Выступает доктор физико-математических наук Ю.Н.Гнедин.

с. 17–18; 2015, № 6, с. 88; 2016, № 3, с. 49), которая 7-й год выполняет исследование релятивистских выбросов и магнитных полей в центрах активных галактик, пульсаров, мазеров и межзвездной среды с участием до 40 наземных радиотелескопов; были представлены новые результаты.

Доктор физико-математических наук **Ю.Н.Гнедин** (ГАО РАН) в докладе “Определение структуры

области широких эмиссионных линий в активных ядрах галактик” напомнил о наиболее популярном методе измерения масс сверхмассивных черных дыр в активных ядрах галактик. На телескопе БТА-6м (САО РАН) выполнены поляриметрические наблюдения, на основе которых была определена геометрическая толщина области широких эмиссионных линий водорода для активных ядер галактик из каталога Паломар–Грина. Для ряда объектов из этого каталога установлена кривизна аккреционного потока в окрестности сверхмассивной черной дыры.

Аспирант **А.В. Плавин** (Астрокосмический центр ФИАН, МФТИ) рассказал об изучении центральных областей квазаров путем сопоставления их положений, измеренных РСДБ и космической обсерваторией “Гайя” (“Gaia”; Земля и Вселенная, 2014, № 3). В 2016 г. были опу-

бликованы первые данные обсерватории “Гайя”, содержащие положения 1,14 млрд звезд и галактик с точностью до миллисекунд дуги. Авторы исследования сопоставили эти положения с результатами высокоточной системы координат на основе РСДБ наблюдений 11,4 тыс. активных ядер галактик и нашли около 7% объектов, координаты которых в радио- и оптическом диапазоне сдвинуты относительно друг друга. Возможным объяснением этого факта является наличие ярких протяженных оптических джетов длиной в парсек. Данный эффект открывает новые уникальные возможности по массовому установлению и изучению свойств центральных областей квазаров (аккреционного диска и джета) на расстоянии парсека.

*По материалам
Конференции,
опубликованным на сайте
ИКИ РАН*