

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 524.3 524.5 520.85

Номер государственной регистрации АААА-А18-118012290404-8

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Института космических исследований

Российской академии наук

чл.-корр. РАН

А.А. Петрукович

« 27 » декабря 2019 г.

М.П.



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследования физических процессов внутри звезд, звездоподобных объектов и их окрестностях, в экстремальных условиях нестационарности, сильной гравитации и больших магнитных полей

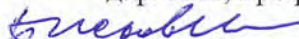
(промежуточный)

Тема ЗВЁЗДЫ

0028-2019-0001

Научный руководитель

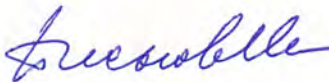







д.ф.-м.н., профессор

 Г.С. Бисноватый-Коган

« 27 » декабря 2019 г.

Москва
2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

| | | | |
|--|---|----------|----------------------------|
| Руководитель темы г.н.с., д.ф.-м.н. |  | 27.12.19 | Бисноватый-Коган Г.С. |
| Исполнители темы: | | | |
| инженер |  | 27.12.19 | Аксенова Т.М. раздел 2 |
| зав. сектором |  | 27.12.19 | Маслов И.А. раздел 3 |
| с.н.с., к.ф.-м.н. |  | 27.12.19 | Минаев П.Ю. раздел 1 |
| в.н.с., д.ф.-м.н. |  | 27.12.19 | Моисеенко С.Г. раздел 1 |
| зав. сектором к.ф.-м.н. |  | 27.12.19 | Позаненко А.С. раздел 1 |
| с.н.с., к.ф.-м.н. |  | 27.12.19 | Торопина О.Д. раздел 1 |
| с.н.с., к.ф.-м.н. |  | 27.12.19 | Цупко О.Ю. раздел 1 |

РЕФЕРАТ

Отчет – 22 с., 4 рисунка, 64 источника.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОФИЗИКА, РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ОБЪЕКТЫ, НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ, ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, СВЕРХНОВЫЕ, ГАММА-ВСПЛЕСКИ, ПЛАЗМА, ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ, МГД, РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ, ТУМАННОСТИ, АКТИВНЫЕ ЯДРА ГАЛАКТИК, МАЗЕРЫ, РСДБ, ПОЛЯРИМЕТРИЯ, МЕЗОСФЕРА

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 Раздел 1. Исследования звёзд | 7 |
| 2 Раздел 2. Радиointерферометр | 14 |
| 3 Раздел 3. Физика околоземного пространства | 15 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 16 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 17 |

ВВЕДЕНИЕ

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с государственным заданием ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ по следующим научным направлениям.

- научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно-земных связей (номер направления в Программе 16, 14)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 16, 129)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 138,137)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 21)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 16)

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03 декабря 2012 г., № 2237-р

| п/п | Направление фундаментальных исследований | Номер направления в «Программе» |
|-----|--|---------------------------------|
| 1 | Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач | 16 |
| 2 | Современные проблемы физики плазмы, включая физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы её применения в технологических процессах | 14 |
| 3 | Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов. | 129 |
| 4 | Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии. | 138 |

| | | |
|---|---|-----|
| 5 | Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества | 137 |
| 6 | Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем. | 21 |

Фундаментальные и прикладные научные исследования физических процессов внутри звезд, звездоподобных объектов и их окрестностях, в экстремальных условиях нестационарности, сильной гравитации и больших магнитных полей проводятся по теме 0028-2014-0002 ЗВЁЗДЫ.

Тема 0028-2014-0002 ЗВЁЗДЫ является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2019г. по теме ЗВЁЗДЫ Исследования физических процессов внутри звезд, звездоподобных объектов и их окрестностях, в экстремальных условиях нестационарности, сильной гравитации и больших магнитных полей.

ЗВЁЗДЫ

Исследования физических процессов внутри звезд, звездоподобных объектов и их окрестностях, в экстремальных условиях нестационарности, сильной гравитации и больших магнитных полей

Гос.рег. № АААА-А18-118012290404-8

Раздел 1 Исследования звезд.

1.1 Исследование Магнито-Дифференциально-Вращательной неустойчивости при магниторотационном взрыве сверхновой с коллапсирующим ядром. Развитие трехмерной методики расчета.

Как показали проведенные нами ранее расчеты магниторотационного взрыва сверхновой с коллапсирующим ядром, на развитой стадии эволюции магнитного поля возникает экспоненциальный рост тороидальных и полоидальных компонент магнитного поля.

Магнито-Дифференциально-Вращательная Неустойчивость возникает, когда магнитное давление, создаваемое тороидальной компонентой магнитного поля, становится сравнимым с газовым давлением. Нами ранее был сделан двухмерный расчет магниторотационного взрыва сверхновой с коллапсирующим ядром, в котором был обнаружен совместный экспоненциальный рост тороидальных и полоидальных компонент магнитного поля. Расчеты проводились при помощи специально разработанной неявной полностью консервативной операторно-разностной схемы на треугольной сетке переменной структуры.

В ходе работы продолжалось начатое в прошлом году развитие оригинальной трехмерной численной методики решения начально-краевых задач математической физики на основе метода опорных операторов. Данный метод был применен нами для решения задачи о стационарном распределении температуры во внешних слоях замагниченной нейтронной звезды, описываемом нелинейным уравнением теплопроводности с тензорным коэффициентом теплопроводности. Использовался коэффициент теплопроводности из набора кинетических коэффициентов для вырожденных электронов, полученного в серии работ Бисноватого-Когана и Глушихиной. Ввиду того, что внешние слои нейтронной звезды состоят из коры и тонкой теплоизолирующей оболочки, нами разработана одномерная локальная плоскопараллельная модель тепловой структуры тонкой замагниченной оболочки нейтронной звезды. Данная модель встроена во внешнее граничное условие излучения для уравнения теплопроводности в коре нейтронной звезды. С использованием такого подхода был написан комплекс программ, в котором реализовано численное решение полученной краевой задачи методом опорных операторов. В ходе расчетов нами получены самосогласованные распределения температуры в коре и на поверхности нейтронной звезды. В качестве первого шага в исследованиях нами была рассмотрена двумерная осесимметричная конфигурация дипольного магнитного поля в нейтронной звезде. На Рисунке 1 представлено распределение температуры коры нейтронной звезды.

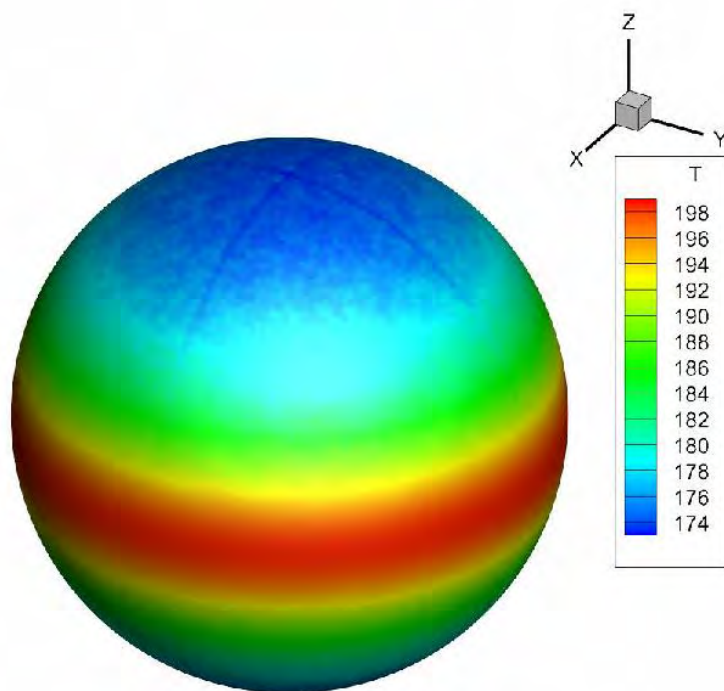


Рисунок 1. Распределение температуры в коре нейтронной звезды при наличии дипольного магнитного поля величиной $B_{\text{пол}} = 10^{13}\text{Гс}$ на магнитном полюсе при фиксированной температуре ядра нейтронной звезды $T_{\text{яд}} = 2 \cdot 10^8\text{К}$. Значения температуры представлены в единицах 10^6 К .

1.2 Сильная ударная волна в расширяющейся среде. Сферическая каверна

Рассматривается распространение сильной ударной волны в равномерно расширяющейся самогравитирующей среде, соответствующей решению Фридмана для плоской Вселенной.

Выведены автомодельные уравнения для задачи о точечном взрыве в расширяющейся плоской пылевой Фридмановской вселенной. Аналитическое решение получено приближенно, в пренебрежении обмена энергией между гравитационной и кинетической энергией. Получено точное численное решение автомодельных уравнений, которое почти во всей области слабо отличается от приближенного. Основные различия имеют место вблизи фронта ударной волны, когда в точном решении максимум плотности за фронтом достигается при малом, но конечном расстоянии от фронта, в отличие от приближенного, где они совпадают

Для различных значений показателя адиабаты решения принципиально отличаются друг от друга. Для значений показателя адиабаты, превышающих некоторое критическое значение (1.155 для численного решения и 1.1782 для аналитического), вокруг центра взрыва образуется пустое сферическое пространство, с растущим со временем радиусом, на конечном расстоянии от точки взрыва. Аналогичная каверна, при гораздо больших значениях показателя адиабаты, возникает в решении Л.И.Седова для сильной ударной волны в статическом однородном газе без учета гравитации. Все вещество внутри фронта волны вытесняется в узкий слой, расположенный у его границы. Критические значения

показателя адиабаты, при увеличении которого возникает каверна, оказываются близкими для обоих решений.

1.3 Расчет кинетических коэффициентов для вырожденных электронов в замагниченной нейтронной звезде на основе решения уравнения Больцмана.

Наблюдения в рентгеновском диапазоне за тепловым излучением одиночных, замагниченных нейтронных звезд, их ещё называют XDINS (X-ray Dim Isolated Neutron Stars), показывают периодические пульсации, связанные с вращением неоднородно нагретой звезды. Долгое время под определение XDINS попадали семь объектов, расположенных на расстоянии от 120 до 500 парсек от Земли. В 2011 году по данным наблюдений Chandra было предположено, что пульсар PSR J0726-2612 имеет тепловое рентгеновское излучение и может принадлежать к XDINS что подтвердилось наблюдениями на XMM-Newton. Возможное открытие большего количества подобных объектов делает изучение процессов переноса в веществе одиночных, замагниченных нейтронных звезд.

Для изучения процессов переноса в нейтронной звезде необходимо рассчитать кинетические коэффициенты, которые имеют тензорные свойства в достаточно сильном магнитном поле.

По современным представлениям нейтронная звезда состоит из четырех областей: внешней и внутренней коры, внешнего и внутреннего ядра. Слой внешней коры, расположенный ближе к поверхности, содержит невырожденный электронный газ. Значения для четырех тензорных коэффициентов переноса, описывающих перенос тепла и диффузию, были получены на основе решения уравнения Больцмана методом последовательных приближений Чепмена-Энскога с учётом первых трёх полиномов в разложении для невырожденных электронов с учётом магнитного поля. Полученные компоненты тензоров кинетических коэффициентов можно использовать для описания процессов происходящих в замагниченной плазме не только в астрофизических объектах, но и в земных лабораторных исследованиях. Ранее аналогичные коэффициенты переноса были рассчитаны для плазмы сильно вырожденных электронов.

1.4 Численное моделирование формирования и коллимации астрофизических джетов.

Была продолжена работа по МГД моделированию процесса формирования астрофизических джетов с учетом внешнего магнитного поля.

Мы учитывали магнитное поле в двух основных конфигурациях: внешнее постоянное полоидальное магнитное поле, направленное перпендикулярно мишени, и внешнее тороидальное магнитное поле. В каждой конфигурации была получена картина течения плазмы, найдено распределение плотности и энергии плазмы, выявлена структура джета на различных расстояниях и в различные моменты времени.

В случае внешнего полоидального магнитного поля вещество образует направленный джет и может наблюдаться на противоположной стенке камеры в виде четкого пятна либо кольцевой структуры в зависимости от величины магнитного поля. В случае тороидального магнитного поля в большинстве исследованных конфигураций вещество также коллимируется в направленный джет и может наблюдаться в виде кольцевой

структуры на противоположной стенке камеры. Размеры кольца зависят от величины магнитного поля.

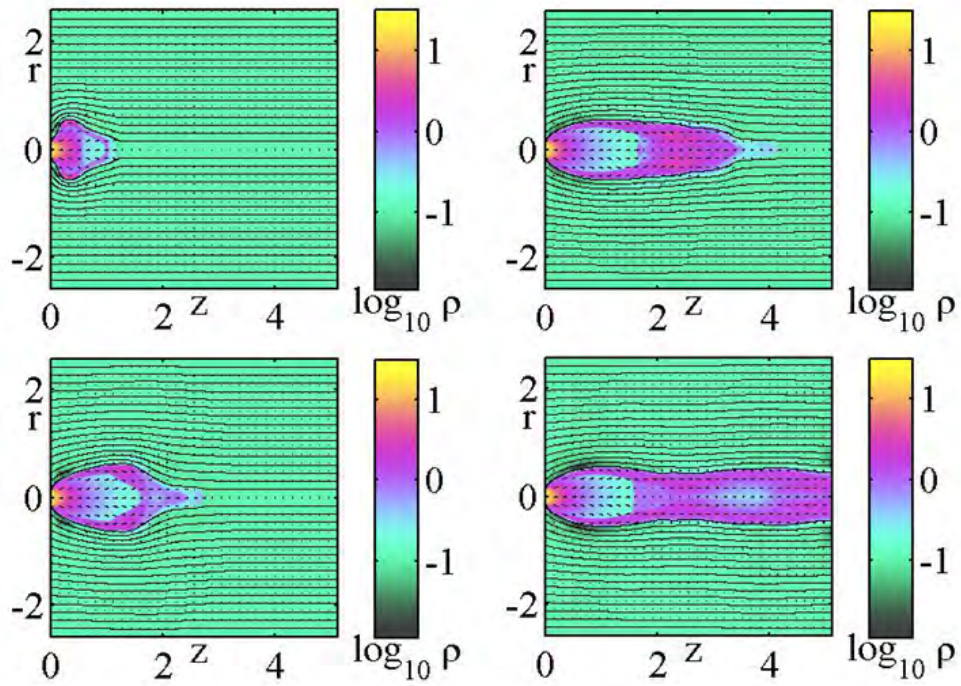


Рисунок 2. Картина течения вещества в случае полоидального магнитного поля, заливкой показан логарифм плотности

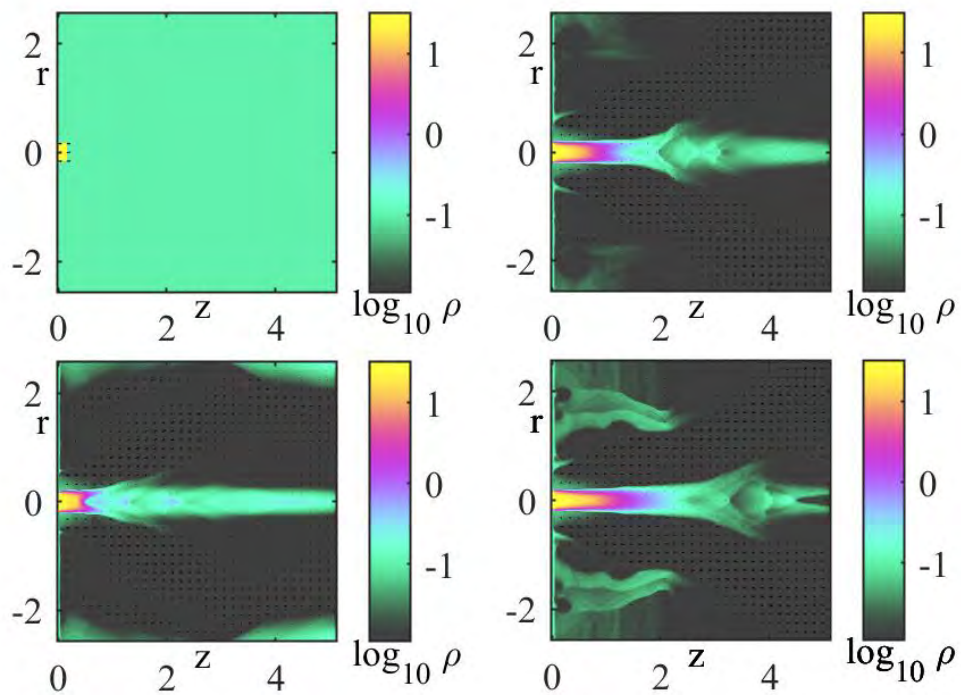


Рисунок 3. Картина течения вещества в случае тороидального магнитного поля, заливкой показан логарифм плотности

1.5 Расчет движения замагниченных нейтронных звезд сквозь неоднородную межзвездную среду.

Было проведено МГД моделирование задачи о сверхзвуковом движении пульсарных туманностей сквозь неоднородную межзвездную среду. Мы изучили взаимодействие пульсарных туманностей с крупномасштабными и мелкомасштабными неоднородностями межзвездной среды, влияние плотности и температуры межзвездной среды на форму головной ударной волны и хвоста пульсарных туманностей. Также мы исследовали поведение пульсарных туманностей при различных уровнях замагниченности пульсарного ветра (отношение магнитной энергии к энергии вещества). Показано, что неоднородности плотности межзвездной среды приводят к изменениям формы головной ударной волны и хвоста пульсарных туманностей.

Полученная картина течения соответствует наблюдениям пульсарных туманностей, в которых имеются неоднородности формы головной ударной волны и хвоста магнитосферы, в частности наблюдениям Гитарной туманности и наблюдениям пульсаров PSR J0742-2822 и PSR J1509-5850

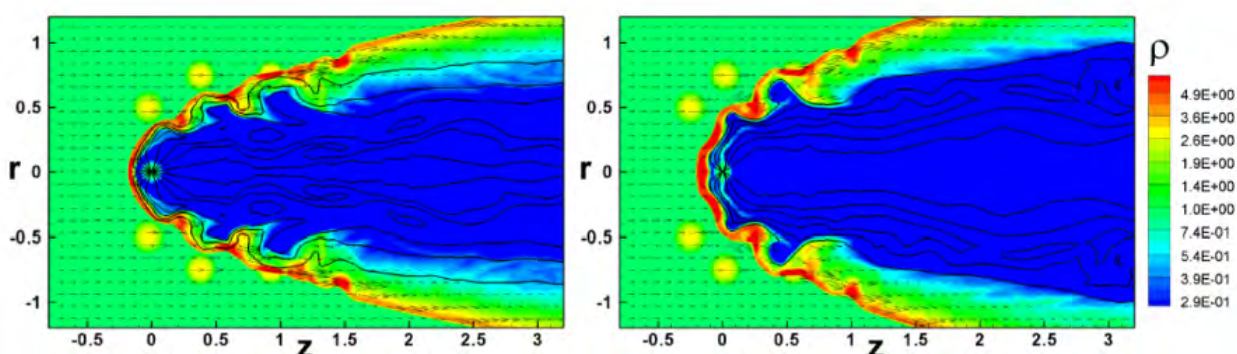


Рисунок 4. Взаимодействие головной ударной волны с мелкомасштабными неоднородностями межзвездной среды для низкого уровня замагниченности (слева) и среднего уровня замагниченности пульсарного ветра.

1.6. Движение фотонов и тел со спином в гравитационном поле релятивистских объектов. Исследование влияния плазмы на эффекты гравитационного линзирования.

Были исследованы тени черных дыр на космологических расстояниях. Было предложено использовать тень сверхмассивной черной дыры в качестве стандартной линейки (standard ruler) в космологии. Под стандартной линейкой подразумевается объект с известным физическим размером. Для черной дыры с известной массой, ее тень имеет известный эффективный линейный размер. Зная этот линейный размер и измеряя угловой размер тени в наблюдениях, мы можем получить расстояние (angular diameter distance) до черной дыры. Необходимым условием применимости метода является возможность независимого измерения массы черной дыры.

Предложено использование этого метода в двух режимах красного смещения: при малых красных смещениях и при больших красных смещениях. При небольших красных смещениях ($z < 0.1$) ожидаемый размер тени составляет около 1 угловой микросекунды для черной дыры массой в миллиард масс Солнца. Измерение размера тени таких черных дыр может позволить получить значение постоянной Хаббла. Таким образом, нами предложен

новый независимый метод определения постоянной Хаббла, что особенно важно в силу существующего разброса наблюдательных данных (т.н. Hubble tension).

Из наблюдений известно, что на больших красных смещениях существуют сверхмассивные черные дыры больших масс. При больших красных смещениях ($z >$ нескольких единиц) размер тени увеличивается за счет расширения Вселенной и также может быть доступен для будущих наблюдений. Это позволит исследовать космологию на больших красных смещениях, которые могут быть недоступны для других космологических методов.

1.7 Наблюдение оптических проявлений космических гамма-всплесков. Феноменологическое исследование и моделирование излучения гамма-всплесков в активной фазе и фазе послесвечения.

Продолжалась работа по увеличению статистики наблюдений различных проявлений космических гамма-всплесков, в том числе с помощью собственных наблюдений гамма-всплесков в оптическом и радио-диапазонах и поиском в публичных данных экспериментов GBM/Fermi, BAT/Swift, IBIS-ISGRI, SPI-ACS/INTEGRAL.

Проведены наблюдения оптического компонента гамма-всплеска GRB 190114C. Наблюдения проведены для фазы послесвечения, фазы сверхновой и родительской галактики в оптическом диапазоне, и в фазе послесвечения – в радио-диапазоне на частоте 38.6 ГГц. Построена кривая блеска в оптическом диапазоне, открыта Сверхновая, ассоциированная с этим всплеском. Сверхновая подтверждена спектроскопическими наблюдениями, проведенными на телескопах SALT (10m) и GTC (10m). Проведено комплексное исследование гамма-всплеска GRB 190114C в гамма-, рентгеновском и оптическом диапазонах. В данных экспериментов GBM/Fermi и BAT/Swift обнаружен и исследован прекурсор. В данных GBM/Fermi, LAT/Fermi, BAT/Swift и SPI-ACS/INTEGRAL обнаружено и детально исследовано продленное излучение в эксперименте SPI-ACS/INTEGRAL. С помощью спектрально-временного анализа показано, что оно является дополнительным компонентом всплеска и связано с компонентой пассивно моды (послесвечением). GRB 190114C является первым гамма-всплеском, в котором обнаружено ТэВное гамма-излучение (1 ТэВ). Используя собственные наблюдения в радио и оптическом диапазоне, собственную обработку и выделение кривых блеска и спектральных данных из публичных архивов GBM, LAT/Fermi, XRT/Swift, были поострены многоволновые кривые блеска.

Проведены наблюдения GRB 190311A, для которого были получены ранние фотометрические данные (спустя 31 минуту от начала гамма-всплеска) телескопом АЗТ-33ИК (Монды), объект наблюдался в течение пяти суток, пока его блеск не стал слабее 22.7 зв.вел. в фильтре R.

Проведены наблюдения и оперативная обработка фотометрия текущих оптических наблюдений гамма-всплесков (190106A, 190114A, 190114C, 191016A, 190311A), полученных на телескопах стран СНГ, а также Испании и Чили. Сделана фотометрия оптических наблюдений в фильтрах В и R рентгеновского транзиента MAXI J1807+132, зарегистрированного Swift/BAT и MAXI/GSC. Построена кривая блеска. Продолжен мониторинг в оптическом диапазоне кандидата в черную дыру MAXI J1820+070, в том числе второго периода активности источника (лето 2019 года).

Для гамма-всплеска GRB 160629A проведено исследование свойств галактики, обнаруженной в кружке ошибок телескопа XRT. Эта галактика считалась родительской галактикой данного гамма-всплеска, что в дальнейшем не подтвердилось. Сделано предположение о действии этой галактики, как гравитационной линзы. Однако,

статистическая значимость исходных данных не позволяет пока сказать с уверенностью, что в наших наблюдениях впервые было найдено гравитационное линзирование источника гамма-всплеска.

Раздел 2 Радиointерферометр

2.1 Сверхтокая структура сейфертовской галактики NGC 1275

По данным наблюдений на VLBA (архив НРАО), $\lambda = 2$ см, построены радиокарты сейфертовской галактики NGC 1275 с разрешением 25 мкс, эпохи 1995–2015 и $\lambda = 7$ мм (архив Бостонского университета) эпохи 2000–2015 гг. с разрешением 20 мкс. Выделена кольцевая структура диаметром $\phi \approx 2$ мс (1 пк), наклоненная под углом 60° к картинной плоскости, включающая три центра активности — вихря. Окружающая релятивистская плазма поступает по двум рукавам в основной северный центр и эжектируется в южном направлении $X \approx -10^\circ$ пустотелой трубки—джета диаметром $\phi \approx 0.12$ мс. В удаленной части джета на расстоянии $\rho \approx 2.5$ мс расположен второй центр активности — вихрь, плоскость которого ориентирована параллельно джету. Избыточный угловой момент уносится коаксиальным потоком, $\phi_{21} \approx 0.8$ и $\phi_{22} \approx 0.3$ мс, в восточном направлении $X \approx -90^\circ$, где формируется третий центр активности. Эжекция коаксиального потока $\phi_{31} \approx 0.7$ и $\phi_{32} \approx 0.35$ мс происходит в северном направлении. Проекция обоих коаксиальных потоков образуют на картинной плоскости узлы сетки. Раздвоение сопла в первой системе наблюдается при разрешении 3 мкс. Размеры двух последующих центров активности соответствуют 80×40 и 80×120 мкс.

Раздел 3 Физика околоземного пространства.

3.1 Наблюдение излучения и рассеивания света пылью около звезд и других астрономических объектов

Обработаны данные наблюдений линейной поляризации комы кометы 21P/Джакобини-Циннера, полученные в июле и сентябре 2018 г. в спектральной области 600 – 700 нм с использованием узкополосных светофильтров. Степень поляризации при фазовом угле солнечного освещения 53° (июль) была близка к 14%, а при фазовом угле 77° (сентябрь) составляла примерно 22%. Полученные значения поляризации близки к степени поляризации для некоторых других комет, например, 1P/Halley. Значимых отличий поляризации для спектральной полосы 662 нм соответствующей линии излучения NH_2 , по сравнению с пылевым континуумом не наблюдалось. В 2019 г. проведены сходные наблюдения нескольких других комет.

3.2 Проведение систематических поляризационных измерений фона рассеянной радиации в мезосфере Земли. Оценка поляризационных свойств, размеров пылевых частиц в мезосфере, и измерение температуры в верхней мезосфере и мезопаузе.

В летний период продолжались поляризационные трехцветные измерения фона неба в Подмоскowie, направленные на изучения твердых и жидких частиц в стратосфере и мезосфере, восстановление их микрофизических характеристик. В частности, проведены измерения серебристых облаков в июне 2019 года. В августе и сентябре отмечено существенное изменение характеристик среды, связанное с вероятным появлением аэрозоля в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Аэрозоль может иметь вулканическую природу и быть связан с извержением вулкана Райкоке на Курильских островах в июне 2019 года. Данные измерений обрабатываются в настоящее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2019 г. по теме «Звёзды: физических процессов внутри звезд, звездоподобных объектов и их окрестностях, в экстремальных условиях нестационарности, сильной гравитации и больших магнитных полей». По результатам этих исследований сотрудниками ИКИ РАН в 2019 г. было опубликовано 64 научные публикации. Из них опубликовано:

- статьи в зарубежных изданиях - 12
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 6
- монография - 0
- статьи в сборниках материалов конференций - 6
- доклады, тезисы, циркуляры - 40
- статьи в научно-популярных изданиях - 0
- публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными – 10
- число публикаций работников научной организации в базах Web of Science и Scopus 17 из них входят в **Q1** - 4, входят в **Q2** - 2
- статьи со ссылками на РФФ: 6
- статьи по теме (без РФФ): 18

Наиболее важные результаты, полученные по теме «Звёзды»:

1. Развитие трехмерной методики расчета в МГД с переносом тепла. Получение самосогласованных распределений температуры в коре и на поверхности нейтронной звезды, на основе написанной программы, и использовании полученных нами тензорных коэффициентов переноса.
2. Численное моделирование формирования и коллимации астрофизических джетов.
3. Получено решение для искажений спектра реликтового излучения в направлении формирования блинов в модели Я.Б. Зельдовича, при рассеивании фотонов на электронах в быстро сжимающемся блине.

В заключение отметим, что работы по теме «Звёзды» проводились в соответствии с утвержденным планом и полностью выполнены.

Список опубликованных работ в 2019 по теме «ЗВЕЗДЫ»:

Статьи в зарубежных изданиях

1. Bisnovatyi-Kogan, G. S. Mechanisms of astrophysical jet formation, and comparison with laboratory experiments, 2019, Proceedings of Science, PoS(FRAPWS2018)061
2. Bisnovatyi-Kogan, G. S.; Merafina, M. Two-body problem in presence of cosmological constant, International Journal of Modern Physics D v. 28, p. 1950155 (2019/12) DOI: 10.1142/S0218271819501554 **Q2**
3. Bisnovatyi-Kogan, Gennady S. Accretion into Black Hole, and Formation of Magnetically Arrested Accretion Disks, Universe 2019, 5, 146 doi:10.3390/universe5060146 **(PHΦ)**
4. Giovannelli F., Bisnovatyi-Kogan G.S. Time lag in transient galactic and extragalactic accreting sources, Proceedings of Science(APCS2018)036 Published 07.2019
5. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G. Application of Basic operators method to astrophysical problems, Journal of Physics: Conference Series, 1163 (2019) 012069 doi:10.1088/1742-6596/1163/1/012069 **Q3 (PHΦ)**
6. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G., Bisnovatyi-Kogan G.S., Glushikhina M.V. 3D numerical study of an anisotropic heat transfer in outer layers of magnetized neutron stars, Journal of Physics: Conference Series, 1336 (2019) 012006 doi:10.1088/1742-6596/1336/1/012006 **Q3**
7. Rybakin B.P., Moiseenko S.G. Formation of filaments and dense cores during molecular clouds collision, Journal of Physics: Conference Series, 1336 (2019) 012009 doi:10.1088/1742-6596/1336/1/012009 **Q3**
8. Pruzhinskaya, M. V.; Malanchev, K. L.; Kornilov, M. V.; Ishida, E. E.O.; Mondon, F.; Volnova, A. A.; Korolev, V. S. Anomaly detection in the Open Supernova Catalog, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2019, v. 489. p. 3591 **Q1 (PHΦ)**
9. Pandey, S. B.; Hu, Y.; Castro-Tirado, A. J.; Pozanenko, A. S.; Sánchez-Ramírez, R.; Gorosabel, J.; Guziy, S.; Jelinek, M.; Tello, J.C.; Jeong, S.; Oates, S. R.; Zhang, B. -B.; Mazaeva, E. D.; Volnova, A.A.; Minaev, P. Yu; van Eerten, H. J.; Caballero-García, M. D.; Pérez-Ramírez, D.; Bremer, M.; Winters, J. -M. Park, I. H.; Guelbenzu, A. Nicuesa; Klose, S.; Moskvitin, A.; Sokolov, V. V.; Sonbas, E.; Ayala, A.; Cepa, J.; Butler, N.; Troja, E.; Chernenko, A. M.; Molkov, S. V.; Volvach, A. E.; Inasaridze, R. Ya; Egamberdiyev, Sh A.; Burkhonov, O.; Reva, I. V.; Polyakov, K. A.; Matkin, A. A.; Ivanov, A. L.; Molotov, I.; Guver, T.; Watson, A. M.; Kuttyrev, A.; Lee, W. H.; Fox, O.; Littlejohns, O.; Cucchiara, A.; Gonzalez, J.; Richer, M. G.; Román-Zúñiga, C. G.; Tanvir, N. R.; Bloom, J. S.; Prochaska, J. X.; Gehrels, N.; Moseley, H.; de Diego, J. A.; Ramírez-Ruiz, E.; Klunko, E. V.; Fan, Y.; Zhao, X.; Bai, J.; Wang, Ch; Xin, Y.; Cui, Ch; Tungalag, N.; Peng, Z. -K.; Kumar, Amit; Gupta, Rahul; Aryan, Amar; Kumar, Brajesh; Volvach, L. N.; Lamb, G. P.; Valeev, A. F. A multiwavelength analysis of a collection of short-duration GRBs observed between 2012 and 2015, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2019, v. 485, p. 5294 **Q1**
10. Panasyuk, M.; Klimov, P.; Svertilov, S.; Belov, A.; Bogomolov, V.; Bogomolov, A.; Garipov, G.; Iyudin, A.; Kaznacheeva, M.; Maksimov, I.; Minaev, A.; Novikov, A.; Minaev, P.; Petrov, V.; Pozanenko, A.; Shtunder, Y.; Yashin, I. Universat-SOCRAT multi-satellite project to study TLEs and TGFs, Progress in Earth and Planetary Science, 2019, Volume 6, Issue 1, article id. 35, 19 pp. **Q1**
11. O.D. Toropina, M.M. Romanova, R.V.E. Lovelace Modelling the bow shock Pulsar Wind Nebulae propagating through a non-uniform ISM, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2019, Volume 484, Issue 2, Pages 1475–1486 doi:10.1093/mnras/stz034 **Q1**

12. O.S. Ugolnikov, I.A. Maslov. Optical depth and altitude profiles of stratospheric aerosol based on multi-year polarization measurements of the twilight sky, *Journal of Aerosol Science*, 2019, V.127, P.93-101 **Q2**

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

1. Человеков, И.В.; Гребенев, С.А.; Позаненко, А.С.; Минаев, П.Ю. Новые гамма-всплески, найденные в архивных данных телескопа IBIS/ISGRI обсерватории INTEGRAL, Письма в *Астрономический журнал*, 2019, том 45, № 10, с. 683-705. **Q3 (РНФ)**
2. Bisnovatyı-Kogan, G. S.; Panafidina, S. A. Strong Shock in a Uniform Expanding Universe. Approximate and Exact Solutions of Self-Similar Equations, 2019, *Astronomy Reports*, V.63, p. 263 DOI:10.1134/S1063772919040012 **Q3**
3. Bisnovatyı-Kogan, G. S. Spectral Distortions in CMB by the Bulk Comptonization Due to Zeldovich Pancakes, *Astronomy Reports*, 2019, Vol. 63, No. 7, pp. 527–533 DOI:10.1134/S1063772919070011 **Q3**
4. Позаненко А.С., Минаев П.Ю., Гребенев С.А., Человеков И.В. Наблюдение в гамма-диапазоне второго связанного со слиянием нейтронных звезд события LIGO/VIRGO S190425Z, Письма в *Астрономический журнал*, 2019, том 45, № 11, с. 768-786. **Q3 (РНФ)**
5. Маслов И.А., Николенко И.В., Угольников О.С. Поляризация кометы 21P/Джакобини-Циннера в 2018 году. *Астрономический Циркуляр* № 1645, 2019 май 14
6. Матвеев Л.И., Сиваконь С.С. Сейфертовская галактика NGC 1275—сверхтонкая структура, Письма в *Астрономический журнал*, 2019, том 45, №8, с. 531–546 **Q3**

Статьи в сборниках материалов конференций

1. Георгий Юрьевич Мозгунов, Павел Юрьевич Минаев, Алексей Степанович Позаненко, Продлённое излучение космических гамма-всплесков, зарегистрированных экспериментом SPI-ACS/INTEGRAL, Труды 62-й Всероссийской научной конференции МФТИ (2019)
2. С. О. Белкин, А. С. Позаненко, Е. Д. Мазаева, А. А. Вольнова, Н. Тунгалаг, П. Ю. Минаев; Многоцветные наблюдения гамма-всплеска GRB 181201A и обнаружение сверхновой, ассоциированной с ним; 62-ая Всероссийская научная конференция МФТИ, 18-23 ноября, 2019, ИКИ РАН, Москва;
3. A. Belkin, A. Pozanenko, E. Mazaeva, A. Volnova, P. Minaev, N. Tominaga, S. Blinnikov, D. Chestnov, E. Klunko, I. Reva, V. Rummyantsev, D. Buckley, R. Ya. Inasaridze; Multi-frequency Observations and Discovery of a Supernova Associated with GRB181201A; *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains: XXI International Conference DAMDID/RCDL' 2019 (October 15–18, 2019, Kazan, Russia): Conference Proceedings*. Edited by Alexander Elizarov, Boris Novikov, Sergey Stupnikov. – Kazan: Kazan Federal University; 2019.- pp. 273-283, ISBN 978-5-00130-214-8
4. Elena Mazaeva, Alexei Pozanenko, Alina Volnova, Pavel Minaev, Sergey Belkin, Raguli Inasaridze, Evgeny Klunko, Anatoly Kusakin, Inna Reva, Vasily Rummyantsev, Artem Novichonok, Alexander Moskvitin, Gurgen Paronyan, Sergey Schmalz, Namkhai Tungalag Search and observations of optical counterparts for events registered by LIGO/Virgo gravitational wave detectors; *Data*

Analytics and Management in Data Intensive Domains: XXI International Conference DAMDID/RCDL' 2019 (October 15–18, 2019, Kazan, Russia): Conference Proceedings. Edited by Alexander Elizarov, Boris Novikov, Sergey Stupnikov. – Kazan: Kazan Federal University 2019.- pp. 258-272, ISBN 978-5-00130-214-8

5. Konstantin Malanchev, Alina Volnova, Matwey Kornilov, Maria Pruzhinskaya, Emille Ishida, Florian Mondon, Vladimir Korolev Use of Machine Learning for Anomaly Detection Problem in Large Astronomical Databases, Data Analytics and Management in Data Intensive Domains: XXI International Conference DAMDID/RCDL' 2019 (October 15–18, 2019, Kazan,Russia):Conference Proceedings. Edited by Alexander Elizarov, Boris Novikov, Sergey Stupnikov. – Kazan: Kazan Federal University, 2019,p.238 **(РНФ)**
6. Boris Rybakin, Sergey Moiseenko, Grigorie Secieru Modelling of the formation of protostellar cores in the cloud-cloud collision Proceedings of the Fifth Conference of Mathematical society of Moldova IMCS-55, September 28-October 1, 2019, Chishinau, Republic of Moldova ISBN 978-9975-68-378-4, pp229-232

Доклады, тезисы, циркуляры

1. Tsupko O., Bisnovatyι-Kogan G.S., Perlick V. "Shadow of black holes at cosmological distances", 22nd International Conference on General Relativity and Gravitation & 13th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (GR22 - Amaldi13), Valencia, Spain, July 7-12, 2019 (устный доклад)
2. Tsupko O., Bisnovatyι-Kogan G.S., Perlick V., "Gravitational lensing in plasma", выступление на коллоквиуме, May 7, 2019, South-Western Institute for Astronomy Research (SWIFAR) at Yunnan University, Kunming, China
3. Tsupko O., Bisnovatyι-Kogan G.S., Perlick V. "Shadow of black holes at cosmological distances", Conference 'CosmoCruise2019', Venice, Italy, August 18-25, 2019 (устный доклад)
4. Moiseenko S.G., Bisnovatyι-Kogan G.S. Gravitational waves and core-collapsed supernovae, Многоволновое поведение высокоэнергичных космических источников XIII, Палермо, Италия 3-8 июня 2019, (устный доклад)
5. Moiseenko S.G., Bisnovatyι-Kogan G.S. Гравитационные волны от коллапсирующих сверхновых. Высокоэнергичные явления в релятивистских истечениях VII, Барселона, Испания, 9-12 июня, 2019г (устный доклад)
6. Moiseenko S.G., Kondratyev I.A., Bisnovatyι-Kogan G.S., Glushikhina M.V. Численное моделирование трехмерного переноса тепла во внешних слоях нейтронных звезд, 18-й Международный Междисциплинарный Семинар «Математические Модели & Моделирование в Лазерно-Плазменных процессах и современных научных технологиях», Г.Петровац, Черногория 29 сентября – 5 октября 2019г (устный доклад).
7. Рыбакин Б.П., Моисеенко С.Г. Formation of filaments and dense cores during molecular clouds collision, Международное рабочее совещание по численному моделированию в МГД и физике плазмы: методы инструменты результаты Москва, Россия, 10-11 октября 2019г. (приглашенный доклад)
8. Моисеенко С.Г., Бисноватый-Коган Г.С. Магниторотационные сверхновые, магниторотационная неустойчивость и гравитационные волны школа-семинар «Магнитоплазменные процессы в релятивистской астрофизике» г.Таруса, Калужская область (представительство «Интеркосмос») с 17 июня по 21 июня 2019 г. (устный доклад)

9. Glushikhina M. V., Bisnovatyι-Kogan G.S., “Four tensors determining the heat and electro-conductivities of degenerate electrons in the dense magnetized matter”, High Energy Processes in Astrophysics - HEPRO VII, University of Barcelona, Barcelona, Spain, July 8-13, 2019 (стендовый доклад)
10. Кондратьев И. А., Моисеенко С. Г. «Метод опорных операторов в 3D и моделирование теплопроводности в коре нейтронных звезд», 48-я студенческая научная конференция "Физика Космоса", Коуровская Астрономическая обсерватория УрФУ, Екатеринбург, 28 января – 1 февраля 2019 года. (устный доклад)
11. И.А. Кондратьев, С.Г. Моисеенко, Г.С. Бисноватый-Коган, М.В. Глушихина «3D моделирование анизотропной теплопроводности во внешних слоях нейтронных звезд», 16-я конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Институт космических исследований РАН, Москва, 15-17 апреля 2019 года. (устный доклад)
12. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G., Bisnovatyι-Kogan G.S., Glushikhina M.V. “3D numerical study of an anisotropic heat transfer in outer layers of magnetized neutron stars”, High Energy Phenomena in Relativistic Outflows VII (HEPRO7), Facultat de Física, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain, July 9-12, 2019. (постерный доклад)
13. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G., Bisnovatyι-Kogan G.S., Glushikhina M.V. “Anisotropic heat transfer simulation in outer layers of magnetized neutron stars”, Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment, September 9–13, 2019, St.Petersburg, Russia. (устный доклад)
14. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G., Bisnovatyι-Kogan G.S., Glushikhina M.V. “3D anisotropic heat transfer simulations in outer layers of neutron stars”, Challenges and Innovations in computational Astrophysics, Saint Petersburg, Russian Federation, 16-20 September 2019. (устный доклад)
15. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G., Bisnovatyι-Kogan G.S., Glushikhina M.V. “3D numerical simulation of an anisotropic heat transfer in magnetized neutron stars with a basic operators method”, Second Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, October 10-11, 2019, Moscow, Russia. (приглашенный доклад)
16. G. Bisnovatyι-Kogan, Magnetically arrested disk around a black hole, Международное Рабочее совещание на тему «Высокоэнергичные явления в окрестности сверхмассивных черных дыр» в Ереване, Армения, 8-12 Апреля 2019. (приглашенный доклад)
17. G.S., Bisnovatyι-Kogan O. Tsupko, and V. Perlick "Black Hole shadows from nearby and cosmological objects", 6 th Gamow International Conference in Odessa: “New Trends in Astrophysics, Cosmology and Radioastronomy after Gamow” and 19th Gamow Summer School: “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology, Radioastronomy and Astrobiology” 11 – 21 August, 2019 на базе отдыха Одесского национального университета им. И.И. Мечникова “Черноморка” (приглашенный доклад)
18. G. S. Bisnovatyι-Kogan "Magnetically arrested disks around black hole, and jet formation", High Energy Phenomena In Relativistic Outflows VII (HEPRO VII) which will be held from 9 to 12 July 2019 in Faculty of Physics, University of Barcelona. (устный доклад)
19. G.S.Bisnovatyι-Kogan and S.A. Panafidina, «Strong shock in a uniformly expanding universe. Approximate analytic, and exact numerical solutions of self-similar equations», International scientific conference Challenges and Innovations in Computational Astrophysics. Saint Petersburg, Russian Federation, 16-20 September 2019 (приглашенный доклад)

20. G. S. Bisnovatyi-Kogan and S.G. Moiseenko. Gravitational waves from core-collapse Supernovae. Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment (KW25). Saint Petersburg 9-13 September 2019 (приглашенный доклад)
21. Г. С. Бисноватый-Коган. Магнитная аккреция, и формирование аккреционного диска, уравновешенного крупномасштабным магнитным полем. Школа-семинар «Магнитоплазменные процессы в релятивистской астрофизике» Таруса, 17 - 21 июня 2019 года (приглашенный доклад)
22. G.S., Bisnovatyi-Kogan O. Tsupko, and V. Perlick. Shadow of a black hole at local, and cosmological distances, Frascati Workshop 2019 Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources –XIII (Palermo, Italy, 3-8 June 2019) (приглашенный доклад)
23. A. Pozanenko, “Observations of phenomena associated with Gamma-ray Bursts”, Workshop “Observations of cosmic Gamma-ray Burst and Terrestrial Gamma-ray Flashes”, National Central University, Chung-Li, Taiwan, April 9-13, 2019, (устный доклад)
24. A. Pozanenko, “The GDM experiment for GRB and TGF investigations onboard the ISS”, Workshop “Observations of cosmic Gamma-ray Burst and Terrestrial Gamma-ray Flashes”, National Central University, Chung-Li, Taiwan, April 9-13, 2019, (устный доклад)
25. A. Pozanenko, “Observations of transients and related phenomena in a joint program with Fesenkov Astrophysical Institute”, Exploring the Energetic Universe 2019 (E2U19), Nazarbaev University, Nur-sultan, Kazakhstan, June 16-20, 2019, (приглашенный доклад)
26. I. Chelovekov, S. Grebenev, A. Pozanenko, P. Minaev, “Known and unknown GRBs registered by IBIS/ISGRI of INTEGRAL”, “Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment”. Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, сентябрь 8 – 16, 2019, (устный доклад)
27. A. Pozanenko, Pavel Minaev, Maxim Barkov, Alina Volnova, Elena Mazaeva, “Strange short burst(s) associated with LIGO/Virgo Gravitational wave events”, “Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment”. Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, сентябрь 8 – 16, 2019, (устный доклад)
28. A. Pozanenko, “Observations and investigation of transients in Space Research Institute (toward BRICS transient network)”, Multi messenger and multiwavelength astronomy, BRICS Astronomy Workshop, CBPF, Rio de Janeiro, Brazil, 29 Sep. - 2 Oct., (устный доклад)
29. Минаев П., Позаненко А., “Eр,i - Eiso correlation and the new criterion for the blind classification of short and long GRBs”, Международная конференция «Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment», Санкт-Петербург, 9-13 сентября 2019 г., (устный доклад)
30. Мозгунов, Г.Ю., Минаев, П.Ю., Позаненко, А.С., «Продлённое излучение космических гамма-всплесков, зарегистрированных экспериментом SPI-ACS/INTEGRAL», 62-ая Всероссийская научная конференция МФТИ, Россия, Москва, 18-23 ноября 2019 г., (устный доклад)
31. Мозгунов, Г.Ю., Минаев, П.Ю., Позаненко, А.С., «Продлённое излучение в кривых блеска космических гамма-всплесков, зарегистрированных экспериментом SPI-ACS INTEGRAL», XVI Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», Россия, Москва, 15-17 апреля 2019 г., (устный доклад)
32. Мазаева Е.Д., Вольнова А.А., Позаненко А.С., Минаев П.Ю., «Поиск и наблюдения кандидатов в оптические компоненты гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo», XVI Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные

- космические исследования", Россия, Москва, 15-17 апреля 2019 г., (устный доклад)
33. Mazaeva E., Pozanenko A., Minaev P., "Inhomogeneities in GRB afterglow light curves and their models", Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment, Россия, Санкт-Петербург, 9–13 сентября 2019 г., (устный доклад)
 34. Mazaeva E., Pozanenko A., Volnova A., Minaev P., Belkin S., Inasaridze R., Klunko E., Kusakin A., Reva I., Rummyantsev V., Novichonok A., Moskvitin A., Paronyan G., Schmalz S., Tungalag N., "Search and observations of optical counterparts for events registered by LIGO/Virgo gravitational wave detectors", Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID-2019), Россия, Казань, 15-18 октября 2019 г., (устный доклад)
 35. Volnova Alina, «Анализ экстраполяции многоцветных кривых блеска сверхновых в Open Supernova Catalog», «Supernova Anomaly Detection - II» Франция, г. Клермон-Ферран, Лаборатория физики Клермона, 11 - 18 мая 2019 г., (устный доклад)
 36. Volnova Alina, Pozanenko Alexei, Pruzhinskaya Maria, Blinnikov Sergei, Minaev Pavel, Mazaeva Elena, Belkin Sergei, «Observations and modeling SNs associated with GRBs», «Ioffe Workshop on GRBs and other transient sources: 25 Years of Konus-Wind Experiment», Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Россия, Санкт-Петербург, 8 - 16 сентября 2019 г., (устный доклад)
 37. Alina Volnova, Konstantin Malanchev, Matwey Kornilov, Maria Pruzhinskaya, Emille Ishida, Florian Mondon, Vladimir Korolev, «Use of Machine Learning for Anomaly Detection Problem in Large Astronomical Databases», «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains – 2019», Россия, Казань, Казанский федеральный университет, 15 - 18 октября 2019 г., (устный доклад)
 38. С. О. Белкин, А. С. Позаненко, «Наблюдение и исследование гамма-всплеска GRB181201A», XVI Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», Россия, Москва, 15-17 апреля 2019 г., (устный доклад)
 39. A. Belkin, A. Pozanenko, E. Mazaeva, A. Volnova, P. Minaev, N. Tominaga, S. Blinnikov, D. Chestnov, E. Klunko, I. Reva, V. Rummyantsev, D. Buckley, R. Ya. Inasaridze, "Multi-frequency Observations and Discovery of a Supernova Associated with GRB181201A", XXI International Conference "Data Analytics and Management in Data Intensive Domains", Россия, Казань, 15-18 октября 2019 г., (устный доклад)
 40. С. О. Белкин, А. С. Позаненко, Е. Д. Мазаева, А. А. Вольнова, Н. Тунгалаг, П. Ю. Минаев, "Многоцветные наблюдения гамма-всплеска GRB181201A и обнаружение сверхновой, ассоциированной с ним", 62-я Всероссийская научная конференция МФТИ, 18-23 ноября 2019 г., Россия, Москва, (устный доклад)