

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
г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 40/48
ИКИ-корп. РАН

А.А. Петрукович

« 18 » декабря 2020 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 Г.С. Бисноватый-Коган

« 18 » декабря 2020 г.

Москва

2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы
г.н.с., д.ф.-м.н.  18.12.20 Бисноватый-Коган Г.С.

Исполнители темы:

| | | | |
|-------------------------|---|----------|------------------------------|
| зав. сектором |  | 18.12.20 | Маслов И.А. раздел 2 |
| с.н.с., к.ф.-м.н. |  | 18.12.20 | Минаев П.Ю. раздел 1 |
| в.н.с., д.ф.-м.н. |  | 18.12.20 | Моисеенко С.Г. раздел 1 |
| зав. сектором к.ф.-м.н. |  | 18.12.20 | Позаненко А.С. раздел 1,2 |
| с.н.с., к.ф.-м.н. |  | 18.12.20 | Горопина О.Д. раздел 1 |
| с.н.с., к.ф.-м.н. |  | 18.12.20 | Цупко О.Ю. раздел 1 |

РЕФЕРАТ

Отчет – 17 с., 2 рисунка, 46 источников.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОФИЗИКА, РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ОБЪЕКТЫ, НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ, ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, СВЕРХНОВЫЕ, ГАММА-ВСПЛЕСКИ, ПЛАЗМА, ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ, МГД, ТУМАННОСТИ, ПОЛЯРИМЕТРИЯ, МЕЗОСФЕРА

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 Раздел 1. Исследования звёзд | 7 |
| 2 Раздел 2. Физика околоземного пространства | 12 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 13 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 14 |

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 2020г. 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 процессов теплопереноса во внешних слоях нейтронной звезды. Развитие трехмерной методики расчета.

В этом году было продолжено развитие оригинальной численной методики для моделирования астрофизических трехмерных начально-краевых задач магнитной гидродинамики, основанной на методе опорных операторов, на неортогональных неструктурированных тетраэдрических сетках. Данный метод был применён нами для численного решения уравнения переноса тепла во внешних слоях замагниченной нейтронной звезды с неосесимметричным магнитным полем в виде суперпозиции несоосных диполя и квадруполья. Теплопроводность — основная величина, необходимая для вычисления взаимосвязи между внутренней температурой нейтронной звезды и эффективной температурой её поверхности. Связь между этими величинами влияет на тепловую эволюцию нейтронной звезды и её радиационные спектры. Агентами переноса тепла в коре и оболочке нейтронной звезды являются, в основном, электроны, и для как можно более точного учета подавления потока тепла поперек линий магнитного поля мы использовали тензор теплопроводности сильно вырожденных электронов, полученный в цикле работ Бисноватого-Когана и Глушихиной из асимптотически точного аналитического решения уравнения Больцмана в приближении Лоренца. Внешняя тонкая теплоизолирующая оболочка (океан) нейтронной звезды рассматривалась в приближении тонкого слоя ввиду ее малой толщины при помощи разработанной нами ранее локальной модели тепловой структуры с учетом наличия магнитного поля. Данная модель встраивается в граничное условие излучения на поверхности звезды, позволяя рассчитать распределения температуры на поверхности и внутри коры нейтронной звезды согласовано. Полученные нами распределения температуры могут существенно отличаться от существующих осесимметричных моделей (в том числе рассчитанных нами ранее), расширяя семейство наблюдательных проявлений теплового излучения нейтронных звезд. На Рисунке 1 представлено распределение температуры коры (слева) и поверхности (справа) нейтронной звезды для разных значений магнитных полей и температур ядра нейтронной звезды.

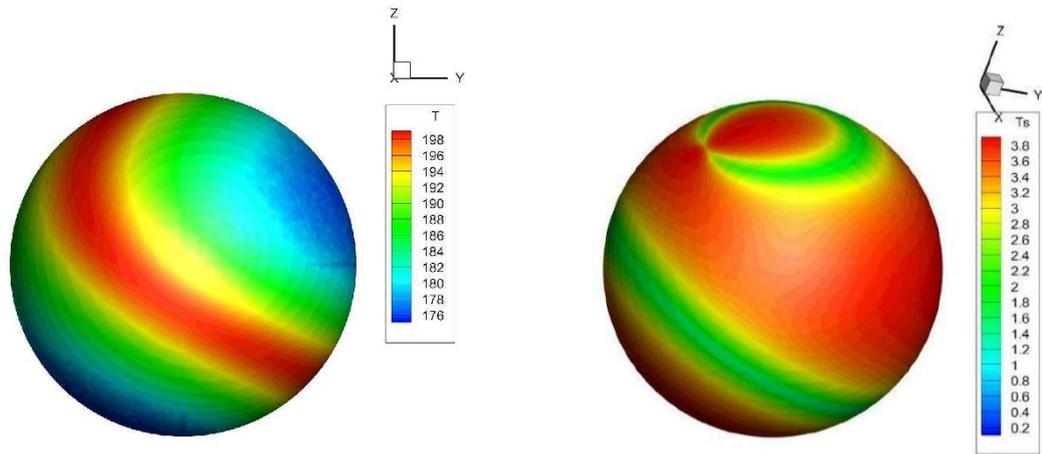


Рисунок 1 — Слева – распределение температуры в коре нейтронной звезды при наличии квадрупольного поля с индукцией на полюсе $B_k = 5 \cdot 10^{12}$ Гс при постоянной температуре ядра звезды $T_y = 2 \cdot 10^8$ К и углом между магнитными осями мультиполей $\theta = \pi/4$. Справа – распределение температуры поверхности нейтронной звезды с $B_k = 10^{13}$ Гс при $T_y = 10^9$ К и $\theta = \pi/6$. Значения температуры представлены в единицах 10^6 К. Дипольное поле составляет $B_d = 10^{13}$ Гс на полюсе.

1.2 Численное моделирование формирования и коллимации астрофизических джетов.

Было продолжено МГД моделирование процесса формирования астрофизических джетов с учетом внешнего магнитного поля и сопоставление результатов численного моделирования астрофизических джетов и джетов, получаемых в лабораторном эксперименте на установке НЕОДИМ в ЦНИИМАШ.

Ранее мы учитывали внешнее постоянное полоидальное магнитное поле, направленное перпендикулярно мишени. В текущих исследованиях мы изучаем воздействие внешнего тороидального магнитного поля. Мы выбрали способ задания тороидального магнитного поля, граничные и начальные условия и получили картину течения плазмы. Нашли распределение плотности и энергии плазмы, выявили структуру джета на различных расстояниях и в различные моменты времени. В исследованной конфигурации вещество коллимируется в направленный джет и может наблюдаться в виде кольцевой структуры на противоположной стенке камеры. Размеры кольца зависят от величины магнитного поля. При помощи выведенных критериев масштабирования результаты численного моделирования были сопоставлены с параметрами джетов, получаемых в лабораторном эксперименте на установке НЕОДИМ в ЦНИИМАШ.

1.3 Расчет движения замагниченных нейтронных звезд сквозь неоднородную межзвездную среду.

Было продолжено МГД моделирование задачи о сверхзвуковом движении нейтронных звезд и пульсарных туманностей сквозь неоднородную межзвездную среду. Мы продолжили изучение взаимодействия магнитосфер нейтронных звезд и пульсарных туманностей с крупномасштабными и мелкомасштабными неоднородностями

межзвездной среды, влияние плотности и температуры межзвездной среды на форму головной ударной волны и хвоста пульсарных туманностей. Мы исследовали поведение пульсарных туманностей при прохождении через облако с градиентом плотности. Мы исследовали, как 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

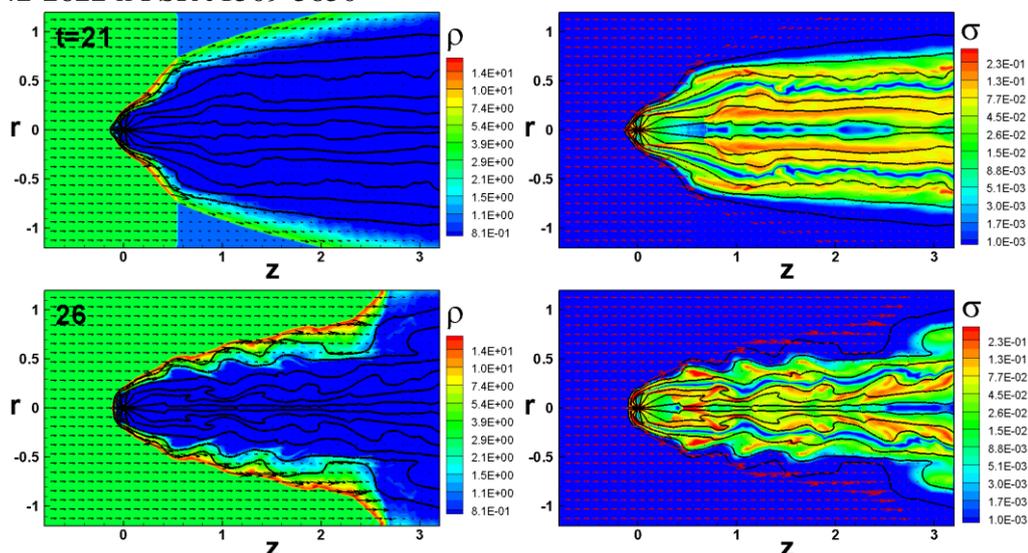


Рисунок 2 — Моделирование движения пульсарной туманности с низким уровнем замагниченности (модель $B1_3M20w50$) через облако межзвездной среды с плотностью $\rho_{\text{cloud}} = 3\rho_0$ для двух моментов времени. Число Маха $M = 20$. На левом рисунке заливкой показан логарифм плотности. На правом рисунке заливкой показан уровень замагниченности σ .

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

Были продолжены исследования возможности использования теней сверхмассивных черных дыр в качестве стандартной линейки (standard ruler) в космологии. Метод основан на использовании ранее полученного приближенного решения для углового размера черной дыры, находящейся на космологическом расстоянии. Тень черной дыры с известной массой имеет известный эффективный линейный размер. Зная линейный размер тени и наблюдая ее угловой размер, можно получить расстояние до черной дыры (angular diameter distance). Полученное расстояние в совокупности с красным смещением дает возможность изучить космологические параметры, например, независимо получить постоянную Хаббла.

Были исследованы особенности и сложности наблюдательного использования этого метода. Угловое разрешение может быть увеличено за счет перехода к более коротким длинам волн (оптический диапазон). Рассмотрены различные способы независимой оценки массы далекой сверхмассивной черной дыры: прямые динамические методы, мазерные наблюдения, метод «reverberation mapping». Отмечено, что метод стандартной линейки может быть использован и в обратную сторону: при хорошо известных

космологических параметрах, возможно определять массу очень далеких черных дыр. Такой подход может дать более высокую точность, чем стандартные методы. Была исследована геометрическая временная задержка, возникающая в гравитационном линзировании за счет изменения траектории луча. Проведено сравнение различных методов вывода временной задержки, состоящей из потенциальной и геометрической частей. Было показано, что в случае, когда источник, линза и наблюдатель лежат близко к одной прямой, геометрическая задержка становится величиной первого порядка, т.е. такого же порядка, как потенциальная временная задержка. Найден простой аналитический критерий такой ситуации: угол, задающий положение источника относительно прямой, соединяющей наблюдателя и линзу, должен быть много меньше, чем угловой эйнштейновский радиус линзы.

1.5 Вычисление четырех тензоров, определяющих тепло- и электропроводность электронов в замагниченной плазме с неквантующим магнитным полем.

Получены формулы для компонентов четырех тензоров, определяющих тепловые потоки и электрические токи (диффузию) электронов в присутствии неквантующего магнитного поля. Расчеты сделаны для плазмы с произвольной степенью вырождения электронов. В отличие от большинства работ других авторов, при вычислении тензоров переноса использовался кинетический подход. Было получено решение уравнения Больцмана, методом Чепмена–Энскога, с использованием трех ортогональных полиномов в разложении.

1.6. Решение задачи о распространении сильной ударной волны в расширяющейся вселенной с образованием пустот.

Получено автомодельное решение для распространения сильной ударной волны от взрыва в расширяющейся вселенной, на ранних стадиях ее формирования. Свойства полученного решения существенным образом зависят от показателя адиабаты расширяющегося газа. При значениях показателя гамма, не превышающего ~ 1.16 , все пространство за ударной волной остается заполненным разреженным веществом. При увеличении показателя адиабаты за ударным фронтом образуется пустая каверна (void), радиус которой приближается к радиусу ударного фронта с ростом гамма. При этом вещество за фронтом собирается в тонкий расширяющийся слой, распределение плотности в котором сильно меняется с изменением гамма. Данное решение применимо также для описания движения газа при взрыве сверхновой в расширяющейся среде звездного ветра от предсверхновой звезды.

1.7 Движение пары гравитирующих тел в присутствии фона темной энергии: малые отклонения от Кеплеровского движения,

Исследовано движение пары гравитирующих тел в присутствии фона темной энергии. Наличие такого фона приводит к отклонениям от Кеплеровского движения, которые остаются малыми для достаточно тесных пар. В линейном приближении вычислены поправки к Кеплеровскому периоду вращения, а также период прецессии орбиты, связанный с действием темной материи. Оценки показали, что для движения планет солнечной системы эти поправки незначительны, при существующей плотности темной энергии, однако они могут сильно влиять на взаимное движение пар галактик, или их скоплений.

1.8 Построение физической модели излучения космических гамма-всплесков и выяснение причины их происхождения

Продолжалась работа по увеличению статистики наблюдений различных проявлений космических гамма-всплесков, в том числе с помощью собственных наблюдений гамма-всплесков в оптическом и радиодиапазонах (опубликовано более 70 циркуляров GCN) и поиском в публичных данных экспериментов GBM/Fermi, BAT/Swift, SPI-ACS/INTEGRAL (3 циркуляра GCN).

В частности, проведены дополнительные наблюдения родительской галактики GRB 181201A, позволившие провести моделирование свойств галактики. Проведены наблюдения раннего послесвечения двух близко расположенных (к Земле) гамма-всплесков GRB 200829A и GRB 201015A, получены их кривые блеска.

Проводилась фотометрическая обработка многоцветных оптических наблюдений (полученных за отчетный период) родительских галактик темных гамма-всплесков GRB 13112A, GRB 151205A, GRB 180720B. Проведено моделирование широкополосного спектра родительской галактики гамма-всплеска GRB 200325B с целью определения его фотометрического красного смещения и расстояния до источника всплеска. Таким же образом фотометрическое красное смещение было найдено для родительских галактик гамма-всплесков GRB 200219C, GRB 200613A.

Проведены работы по исследованию и классификации нескольких гамма-всплесков (GRB 200228B, GRB 200922A, GRB 201011A, GRB 201013A, GRB 201014A) на основе наблюдаемых в гамма-диапазоне параметров полного интегрального потока, спектра и длительности. В частности, показано что событие, начально классифицированное как GRB 200415A, не является гамма-всплеском, а наиболее вероятно, вызвано гигантской вспышкой источника мягких повторных всплесков (SGR) в галактике Скульптор.

Продолжены исследования эффекта продлённого излучения (излучения после активной фазы гамма-всплеска). Исследовано более 700 наиболее ярких длинных гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте SPI-ACS/INTEGRAL. Продлённое излучение обнаружено примерно в 25% случаев. Максимальная длительность продлённого излучения достигает 10 тысяч секунд. Систематическое исследование продлённого излучения длинных гамма-всплесков проведено впервые с 2003 г.

Продолжены работы по оценке возможности реализации интерферометра космического базирования для регистрации гравитационно волнового излучения в диапазоне 10^{-7} – 10^{-4} Гц. В частности, получены оценки на стабильность расстояния между базами интерферометра за счет возмущения орбит баз интерферометра за счет флуктуаций межпланетного магнитного поля.

Продолжены работы по созданию и отработке конвейера для поиска оптических транзиентов сопровождающих гамма-всплески и гравитационно-волновые события в больших полях локализации (например, в полях локализации экспериментов GBM/Fermi и LIGO/Virgo/KAGRA).

Раздел 2 Физика околоземного пространства.

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

В июле и сентябре 2020 г. на 1-м телескопе ЦКП ИНАСАН (п. Симеиз) были проведены поляризационные наблюдения комет C/2017 T2 (PanSTARRS) и C/2020 F3 (NEOWISE). Обработка наблюдений кометы 21P/Джакобини–Ценнера, проведенных в 2018 г., показала наличие резкого уменьшения степени поляризации на расстоянии, примерно, 10 тыс. км от ее ядра. Мы связываем это с испарением льдов связывающих пылинки покинувших комету фрагментов и разделением их на пыль и газ с другими свойствами по поляризации. Это явление наблюдалось нами ранее по наблюдениям кометы C/2004 Q2 (Мачхольца) в инфракрасной области спектра в виде появления горячей пыли, примерно на таких же расстояниях, с задержкой на сутки или более после увеличения яркости центральной области.

На 1.25-м телескопе КАС ГАИШ МГУ были проведены фотометрические наблюдения в астрономических полосах JHKLM звезд AB Aur, HD141569, HD200775, IL Cep, ϵ Aur, ζ Aur, BD+1°3694. Для ϵ Aur наблюдаются цветовые эффекты скорее всего связанные с рассеянием света сверхгиганта на пылевом диске окружающем более массивный компонент системы. Это открывает возможность оценить параметры пылевых частиц диска.

2.2 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.

Продолжены поляризационные многоцветные измерения фона сумеречного неба с помощью оригинальной камеры всего неба. Методика, разработанная авторами проекта, позволяет выделять компоненту стратосферного аэрозоля, определять ее высотный профиль с разрешением 5 км и общую вертикальную оптическую толщину. Многолетние измерения показали негативный тренд общего содержания стратосферного аэрозоля во втором десятилетии XXI века, что согласуется с мировыми лидарными и спутниковыми измерениями. Во второй половине 2019 г. появилась компонента аэрозоля на высотах 10-15 км, связанная с извержением вулкана Райкоке на Курильских островах и последующим распространением серосодержащих соединений в нижней стратосфере. Определен средний радиус частиц стратосферного аэрозоля.

2.3 Исследование гамма-вспышек земного происхождения.

Исследованы гамма-вспышки Земного происхождения (TGF), зарегистрированные экспериментом GBM космической обсерватории Fermi с 2008 по 2016 год. Непараметрическими методами определены длительности индивидуальных событий гамма-вспышек и проведены оценки потерь в детекторе за счет эффектов мертвого времени. Характерная длительность события TGF в эксперименте GBM составляет 150 мкс, а потери в детекторе GBM для наиболее интенсивных событий TGF составляют от 50 до 90%. Результаты использованы для оценок темпа регистрации TGF в планируемых экспериментах Конвергенция-ГДМ, Чибис-М.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2020 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 2020 г. были опубликованы 46 научные публикации. Из них опубликовано:

- статьи в зарубежных изданиях - 15
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 7
- монография - 0
- статьи в сборниках материалов конференций - 2
- доклады, тезисы, циркуляры - 22
- статьи в научно-популярных изданиях - 0
- публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными – 7
- число публикаций работников научной организации в базах Web of Science и Scopus 21 из них входят в **Q1** - 6, входят в **Q2** - 4
- статьи со ссылками на РНФ: 6
- статьи по теме (без РНФ): 15

Наиболее важные результаты, полученные по теме «Звёзды»:

1. Численное моделирование процессов теплопереноса во внешних слоях нейтронных звезд в трехмерной постановке
2. Вычисление четырех тензоров, определяющих тепло- и электропроводность электронов в замагниченной плазме с неквантующим магнитным полем.
3. Решение задачи о распространении сильной ударной волны в расширяющейся вселенной с образованием войдов.

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

Список опубликованных работ в 2020 по теме «ЗВЕЗДЫ»:

Статьи в зарубежных изданиях

1. Oleg Yu. Tsupko, Zuhui Fan and Gennady S. Bisnovatyi-Kogan, Black hole shadow as a standard ruler in cosmology, *Classical and Quantum Gravity*, 37, 065016 (2020); DOI:10.1088/1361-6382/ab6f7d (Q1)
2. Oleg Yu. Tsupko, Gennady S. Bisnovatyi-Kogan, Adam Rogers, and Xinzhong Er, An examination of geometrical and potential time delays in gravitational lensing, *Classical and Quantum Gravity*, 37, 205017 (2020); DOI:10.1088/1361-6382/abae86 (Q1)
3. Oleg Yu. Tsupko and Gennady S. Bisnovatyi-Kogan, Hills and holes in the microlensing light curve due to plasma environment around gravitational lens, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 491, 5636-5649 (2020); doi:10.1093/mnras/stz3365 (Q1)
4. Oleg Yu. Tsupko and Gennady S. Bisnovatyi-Kogan, First analytical calculation of black hole shadow in McVittie metric, *International Journal of Modern Physics D*, Vol. 29, No. 9, 2050062 (2020); doi: 10.1142/S0218271820500625 (Q2) (PHФ)
5. Kondratyev I.A., Moiseenko S.G., Bisnovatyi-Kogan G.S., Glushikhina M.V. Three-dimensional heat transfer effects in external layers of a magnetized neutron star, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, V. 497, P. 2883–2892 (2020) doi: 10.1093/mnras/staa2154 (Q1)
6. Moiseenko S.G.; Bisnovatyi-Kogan G.S. Gravitational waves and core-collapse supernovae, *Proceedings of Science (PoS) PoS(MULTIF2019)022* (2020)
7. G.S. Bisnovatyi-Kogan, Concluding remarks I, *Proceedings of Science (PoS) PoS(MULTIF2019)077* (2020)
8. Minaev, P. Yu; Pozanenko, A. S, The $E_{\text{p,i}}$ – Eiso correlation: type I gamma-ray bursts and the new classification method. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 492, p.1919-1936 (2020).doi: 10.1093/mnras/stz3611(Q1) (PHФ)
9. Li, Long; Wang, Xiang-Gao; Zheng, WeiKang; Pozanenko, Alexei S.; Filippenko, Alexei V.; Qin, Songmei; Wang, Shan-Qin; Jiang, Lu-Yao; Li, Jing; Lin, Da-Bin; Liang, En-Wei; Volnova, Alina A.; Elenin, Leonid; Klunko, Evgeny; Inasaridze, Raguli Ya.; Kusakin, Anatoly; Lu, Rui-Jing GRB 140423A: A Case of Stellar Wind to Interstellar Medium Transition in the Afterglow. *The Astrophysical Journal*, Volume 900, Issue 2, id.176, 11 pp. (2020) DOI: 10.3847/1538-4357/aba757 (Q1) (PHФ)
10. Mazaeva E., Pozanenko A., Volnova A., Minaev P., Belkin S., Inasaridze R., Klunko E., Kusakin A., Reva I., Rumyantsev V., Novichonok A., Moskvitin A., Paronyan G., Schmalz S., and Tungalag N. Searching for Optical Counterparts of LIGO/Virgo Events in O2 Run DAMDID/RCDL 2019, CCIS 1223, pp. 1–20 (2020) doi: 10.1007/978-3-030-51913-1_9 (Q3)
11. Konstantin Malanchev, Vladimir Korolev, Matwey Kornilov, Emille E. O. Ishida, Anastasia Malancheva, Florian Mondon, Maria Pruzhinskaya, Sreevarsha Sreejith, Alina Volnova. Realization of Different Techniques for Anomaly Detection in Astronomical Databases. In: Elizarov A., Novikov B., Stupnikov S. (eds) *Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. DAMDID/RCDL 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1223 (2020), Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-51913-1_7 (Q3)
12. Toropina, O.; Bisnovatyi-Kogan, G.; Moiseenko, S. MHD Simulation of Laboratory Jets, *Proceedings of Science (PoS) PoS(HEPRO VII)083* (2020)
13. I. Kondratyev, S. Moiseenko, G. Bisnovatyi-Kogan and M. Glushikhina, 3D Numerical Study Of An Anisotropic Heat Transfer In Outer Layers Of Magnetized Neutron Stars, *Proceedings of Science (PoS) PoS(HEPRO VII)059* (2020)
14. G. Bisnovatyi-Kogan, Magnetically arrested disk around a black hole, and jet formation, *Proceedings of Science (PoS) PoS(HEPRO VII)010* (2020)

15. M. Glushikhina and G. Bisnovaty-Kogan, Four tensors determining the heat and electro-conductivities of degenerate electrons in the dense magnetized matter, *Proceedings of Science (PoS) PoS(HEPRO VII)079* (2020)

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

1. И.А. Маслов // Распределение поляризации в коме кометы 21P/Джакобини-Циннера. *Астрономический Циркуляр* № 1646, 2020 19 октября.
2. Кондратьев И. А., Моисеенко С. Г., Бисноватый-Коган Г. С., Глушихина М. В. 3D моделирование анизотропной теплопроводности во внешних слоях замагниченных нейтронных звезд, *Астрономический Журнал*, 2020, том 97, № 3, с. 206–224 DOI: 10.31857/S0004629920020036 (Q3)
3. Минаев, П. Ю., Позаненко А. С., GRB 200415A: гигантская вспышка магнетара или короткий гамма-всплеск? *Письма в Астрономический журнал*, 46, 611 (2020).doi: 10.31857/S0320010820090041 (Q2) (РНФ)
4. С.О. Белкин, А.С. Позаненко, Е.Д. Мазаева, А.А. Вольнова, П.Ю. Минаев, Н. Томинага, С. А. Гребенев, И. В. Человеков, М. В. Пружинская, Д. Бакли, С. И. Блинные, А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, Р. Я. Инасаридзе, Е. В. Клуноко, И. Е. Молотов, И. В. Рева, В. В. Румянцев, И. Д. Честнов, Многоволновые наблюдения гамма-всплеска GRB 181201A и обнаружение связанной с ним сверхновой, *Письма в астрономический журнал*, 46, 12, 839-868 (2020) (Q2) (РНФ)
5. Глушихина М.В. Четыре тензора, определяющие тепло- и электропроводность невырожденных электронов в замагниченной плазме, *Физика Плазмы*, 2020, том 46, № 2, с. 121–138 DOI: 10.31857/S0367292120020043 (Q2) (РНФ)
6. А. И. Нейштадт, Г. С. Бисноватый-Коган, Движение пары гравитирующих тел в присутствии темной энергии: малые отклонения от Кеплеровского движения, *Астрономический журнал*, том 97, № 9, с. 707–713 (2020) DOI: 10.31857/S0004629920100060 (Q3)
7. G. S. Bisnovaty-Kogana, and S. A. Panafidina, Strong Shock in the Uniformly Expanding Universe with a Spherical Void, *Astronomy Reports*, Vol. 64, No. 12, pp. 1–16. (2020) (Q3)

Статьи в сборниках материалов конференций

1. Aleo, Patrick D.; Ishida, Emille E. O.; Kornilov, Matwey; Korolev, Vladimir; Malanchev, Konstantin; Mondon, Florian; Pruzhinskaya, Maria; Sreejith, Sreevarsha; Volnova, Alina; Antipin, Sergey. The Most Interesting Anomalies Discovered in ZTF DR3 from the SNAD-III Workshop. *Research Notes of the AAS*, Volume 4, Issue 7, id.112 (2020) doi: 10.3847/2515-5172/aba6e8
2. Дзюба Е.С., Позаненко А.С., Минаев П.Ю., Выборнов В.И., Исследование гамма-вспышек Земного происхождения, зарегистрированных экспериментом GBM космической обсерватории Fermi. Сборник трудов XVII Конференции молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 2020 г. DOI: 10.21046/KMU-2020-21-44

Доклады, тезисы, циркуляры

1. Г.С. Бисноватый-Коган, Phenomenological model explaining Hubble Tension origin, «Успехи Российской Астрофизики 2020: теория и эксперимент», 18 декабря 2020, Москва, МГУ им М.В. Ломоносова (онлайн-формат) (приглашенный доклад)
2. G.S. Bisnovatyι-Kogan, S.A. Panafidina, Formation of voids in the universe by strong shock waves. Challenges and innovations in computational astrophysics II, IAU CB1, Zoom meeting 18-21 November 2020 (устный доклад)
3. S.G.Moiseenko, N.V.Ardelyan, Conservative grid remapping for triangular Lagrangian grid for astrophysical MHD problems. Third Virtual Workshop on Numerical Modelling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes. Honor of Academician Guri I. Marchuk 95th Birthday, October 12-16, 2020 Novosibirsk, Russia (приглашенный доклад)
4. S.G.Moiseenko, Conservative grid functions remapping for completely conservative Lagrangian operator-difference scheme for astrophysical MHD problems. Challenges and innovations in computational astrophysics II, IAU CB1, Zoom meeting 18-21 November 2020 (устный доклад)
5. И.А. Кондратьев, С.Г. Моисеенко, Г.С. Бисноватый-Коган, М.В. Глушихина «Трехмерное моделирование анизотропной теплопроводности и ее наблюдательных проявлений в замагниченных нейтронных звездах», 17-я конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Институт космических исследований РАН, Москва, 30 сентября-2 октября 2020 года. (устный доклад)
6. Дзюба Е.С., Позаненко А.С., Минаев П.Ю., Выборнов В.И. Исследование гамма-вспышек Земного происхождения, зарегистрированных экспериментом GBM космической обсерватории Fermi. XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования" 30 сентября - 2 октября 2020 г., ИКИ РАН (Устный доклад)
7. Дзюба Е.С., Позаненко А.С., Минаев П.Ю. Исследование гамма-вспышек Земного происхождения, зарегистрированных экспериментом GBM/Fermi 63-я Всероссийская научная конференция МФТИ (Устный доклад)
8. Минаев П. Ю., Гамма-всплески, ассоциированные с гравитационно-волновыми событиями LIGO/Virgo, XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования" 30 сентября - 2 октября 2020 г., ИКИ РАН (Приглашенный доклад)
9. Минаев П. Ю., Позаненко А. С., Classification problem and parameter estimating of gamma-ray bursts, Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID) 13 – 16 октября 2020 г., Воронеж. (Устный доклад)
10. Alina Volnova, Alexei Pozanenko, Elena Mazaeva, Sergei Belkin, and Pavel Minaev, Databases of Gamma-Ray Bursts' Optical Observations. Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. DAMDID/RCDL 2020, 13-16 October 2020, Воронежский государственный университет, Воронеж (онлайн-формат) (Устный доклад)
11. A. Volnova et al, The First Anomalies Discovered in ZTF DR3. Supernova Anomaly Detection SNAD-III workshop, 6-10 July 2020, Кавказская горная обсерватория МГУ имени М.В. Ломоносова, online-формат (устный доклад)
12. Белкин С.О., Позаненко А.С., Мазаева Е.Д., Вольнова А.А., Минаев П.Ю. Многоволновые наблюдения гамма-всплеска GRB181201A и открытие сверхновой, ассоциированной с ним, XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 30 сентября - 2 октября 2020, ИКИ РАН, г. Москва (устный доклад)

13. Белкин С. О., Позаненко А. С. Наблюдения сверхновых сетью GRB IKI Follow-up Network II ежегодный семинар, посвященный теме «Сверхновые и другие взрывные явления в астрофизике», 18-22 августа, Г-17, Крым, п. Витино (устный доклад)
14. Белкин С. О. Направления в астрофизических исследованиях в ИКИ и не только, Обзорная презентация студентам бакалавриата/магистратуры астрономического направления Северо-Казахстанского Государственного Университета, 27 октября, СКГУ, г. Петропавловск (устный доклад)
15. Белкин С.О., Позаненко А.С., Мазаева Е.Д., Вольнова А.А., Минаев П.Ю. Multifrequency Observations and Discovery of the Supernova associated with GRB 181201A, ANITA (Australian National Institute for Theoretical Astrophysics) workshop and school 2020, 3-7 февраля, г. Канберра, Австралия (устный доклад)
16. Мозгунов Г.Ю., Минаев П.Ю., Позаненко А.С. Статистическое исследование продлённого излучения космических гамма-всплесков в эксперименте SPI-ACS /INTEGRAL, XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования" 30 сентября - 2 октября 2020 г., ИКИ РАН (устный доклад)
17. Г.Ю. Мозгунов, А.С. Позаненко, П.Ю. Минаев Исследование фона в гамма-диапазоне по данным SPI-ACS/INTEGRAL на основе большой выборки гамма-всплесков, 63-я Всероссийская научная конференция МФТИ (устный доклад)
18. Камышников К.В., Панков Н.С. Разработка и реализация алгоритма потоковой обработки для поиска оптических транзиентов в больших полях локализации, XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 30 сентября - 2 октября 2020 г., ИКИ РАН (устный доклад)
19. Красиков А.С., Моисеенко С.Г. Адаптивное перестроение неструктурированной лагранжевой сетки в трехмерном случае. XVII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН, 30 сентября - 2 октября 2020 (устный доклад)
20. Красиков А.С., Моисеенко С.Г. Адаптивное перестроение неструктурированной лагранжевой сетки в трехмерном случае на границе расчетной области. 63-я Всероссийская научная конференция МФТИ 23 - 29 ноября 2020 (устный доклад)
21. А.Ю. Игнатовский, Г.С. Бисноватый-Коган К вопросу о нуклеосинтезе нейтронных звезд. 17-я конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», ИКИ РАН, 30 сентября - 2 октября 2020 г. (устный доклад),
22. А.Ю. Игнатовский К вопросу о нуклеосинтезе нейтронных звезд. 63-я научная конференция Московского физико-технического института, 23-29 ноября 2020 (устный доклад)